



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ
ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΤΟΜΕΑΣ ΘΕΡΜΟΤΗΤΑΣ

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΜΕΛΕΤΗ ΣΥΝΔΥΑΣΜΟΥ ΔΟΜΙΚΩΝ ΠΑΡΑΜΕΤΡΩΝ ΚΑΙ ΧΡΗΣΗΣ
ΥΛΙΚΩΝ ΑΛΛΑΓΗΣ ΦΑΣΗΣ (PCM) ΓΙΑ ΤΗΝ ΕΠΙΤΕΥΞΗ
ΨΕΥΔΟΔΙΑΒΑΤΙΚΟΥ ΤΟΙΧΟΥ

ΡΕΣΤΑ ΑΝΑΣΤΑΣΙΑ

Επιβλέπων καθηγητής: ΚΙΜΩΝ Α. ΑΝΤΩΝΟΠΟΥΛΟΣ

ΑΘΗΝΑ 2015

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Με την ολοκλήρωση της παρούσας διπλωματικής εργασίας θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά τον επιβλέποντα καθηγητή κ. Κίμων Αντωνόπουλο για την πολύτιμη βοήθεια του, την καθοδήγηση και τις χρήσιμες συμβουλές του κατά την εκπόνηση αυτής αλλά και τον χρόνο που μου παρείχε για την ολοκλήρωση της.

Ακόμη, θα ήθελα να ευχαριστήσω τους φίλους μου και συμφοιτητές μου για την συνεχή στήριξη, συνεργασία και βοήθεια όλα αυτά τα χρόνια.

Τέλος, ευχαριστώ από καρδιάς τους γονείς μου για όλα αυτά που μου προσέφεραν από την αρχή της εκπαιδευτικής μου πορείας έως και σήμερα, όπως και την αδερφή μου για την παροχή υλικής αλλά και ψυχολογικής υποστήριξης για την ολοκλήρωση αυτής της διπλωματικής εργασίας.

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ
Α' ΜΕΡΟΣ – ΘΕΩΡΗΤΙΚΗ ΑΝΑΣΚΟΠΗΣΗ

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1: Κτιριακό κέλυφος	11
1.1 Ορισμός.....	11
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2: Τοιχοποιία.....	15
2.1. Εισαγωγή και είδη τοιχοποιίας.....	15
2.2 Επίχρισμα.....	17
2.3 Κατηγορίες και περιγραφή τυπικών εξωτερικών τοίχων στην Ελλάδα	19
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3 : Οροφές	23
3.1 Εισαγωγή.....	23
3.2 Κατηγορίες και περιγραφή τυπικών εξωτερικών οροφών στην Ελλάδα.....	23
3.3 Οροφές στα πλαίσια του βιοκλιματικού σχεδιασμού	25
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4: Δαπέδα	29
4.1 Εισαγωγή.....	29
4.2 Τυπικές κατασκευές δαπέδου.....	29
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5: Υαλοπίνακες	31
5.1 Βασικές ιδιότητες υαλοπινάκων	31
5.3 Πλαίσια –Κουφώματα	40
5.4 Σκίαστρα	41
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6: Θερμομόνωση	44
6.1 Θερμομονωτικά υλικά	44
6.2 Ιδιότητες θερμομονωτικών υλικών	44
6.3 Είδη θερμομονωτικών υλικών.....	46
6.4 Τα πιο εξελιγμένα θερμομονωτικά υλικά σήμερα.....	51

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7: Θερμικά χαρακτηριστικά δομικών στοιχείων κτιριακού κελύφους	57
7.1 Βασικές έννοιες.....	57
7.2 Βασικά χαρακτηριστικά των δομικών στοιχείων του κελύφους	64
7.3 Επίδραση των παραμέτρων των αδιαφανών στοιχείων κτιριακού κελύφους στη θερμική συμπεριφορά του κτιρίου	67
7.4 Επίδραση των παραμέτρων διάφανων δομικών στοιχείων κτιριακού κελύφους στη θερμική συμπεριφορά του κτιρίου	72
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 8: Κύριες παράμετροι κελύφους	80
8.1 Επίδραση σημαντικότερων παραμέτρων κτιριακού κελύφους	80
8.2 Ο κανονισμός ενεργειακής απόδοσης κτιρίων (Κ.Εν.Α.Κ.)	83
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 9: PCM	90
9.1 Ορισμός	90
9.2 Κατηγοριοποίηση των PCMs	93
1) Οργανικά PCMs.....	93
2) Ανόργανα PCMs.....	98
3) Εύτηκτα μίγματα	101
4) Πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα των κατηγοριών	103
9.3 Κριτήρια – Απαιτήσεις επιλογής PCM	105
9.4 Συσκευασία PCM και Αγορα	108
1) Μακροενσωμάτωση (macro encapsulation):	108
2) Μικροενσωμάτωση (micro encapsulation).....	109
9.5 Ιδιότητες.....	114
9.6 Μέθοδοι μέτρησης ιδιοτήτων	119
9.6.1 Διαφορική Θερμική Ανάλυση (DTA)	119
9.6.2 Διαφορική Θερμιδομετρία Σάρωσης (DSC)	121
9.6.3 Μέθοδος T-history	124
9.6.4 Μέθοδος διπλού κελιού (double cell)	128
9.7 Μέθοδοι προσομοίωσης αλλαγής φάσης	130
9.7.1 Μέθοδος ενθαλπίας.....	130

9.7.2 Μέθοδος ενεργούς θερμοχωρητικότητας.....	133
9.8 Εφαρμογές PCM	137
9.8.1 Φωτοβολταϊκά πλαίσια	137
9.8.2 Ηλιακό Θερμοκήπιο	138
9.8.3 Ηλεκτρονικά εξαρτήματα	139
9.8.4 Μεταφορά ευαίσθητων προϊόντων	140
9.8.5 Ιατρικά προϊόντα.....	142
9.8.6 Θερμική ένδυση.....	143
9.8.7 Οχήματα	145
9.8.8 Τηλεπικοινωνίες	147
9.9 Αναδρομή των εφαρμογών των PCMs σε κτιριακές εγκαταστάσεις.....	149
9.9.1 Ιστορική ανασκόπηση της χρήσης των PCMs	149
9.9.2 Ερευνητική Δραστηριότητα.....	151
9.10 Εφαρμογές των PCMs σε παθητικά συστήματα κτιρίων	152
9.10.1 Τοίχος Trombe με ενσωματωμένο PCM.....	152
9.10.2 Τοίχος συλλογής θερμότητας για αερισμό κτιρίου με ενσωματωμένο PCM	154
9.10.3 Γυψοσανίδα με ενσωματωμένο PCM	156
9.10.4 Σκίαστρα με ενσωματωμένο PCM	158
9.10.5 Κουρτίνες με ενσωματωμένο PCM.....	159
9.10.6 Πάνελ οροφής με ενσωματωμένο PCM.....	160
9.10.7 Ενδοδαπέδια θέρμανση με ενσωματωμένο PCM.....	161
9.11 Εφαρμογές των PCMs σε ενεργητικά συστήματα κτιρίων	162
9.11.1 Σύστημα θέρμανσης χώρου ενσωματωμένο στην οροφή	163
9.11.2 Ενεργητικό πάνελ οροφής με ενσωματωμένο PCM	164
9.11.3 Ενδοδαπέδια θέρμανση με ενσωματωμένο PCM	165
9.11.4 Free Cooling.....	166
9.11.5 PCM σε συνδυασμένο σύστημα θέρμανσης-ψύξης	168
9.11.6 Διάφορα ενεργητικά συστήματα σε κτίρια	170

Β' ΜΕΡΟΣ: ΘΕΩΡΗΤΙΚΗ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗ

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 10: Θερμική συμπεριφορά τοίχου αναφοράς στην περιοχή της Αθήνας 173

10.1 Υπολογισμός προσπίπτουσας στιγμιαίας ηλιακής ακτινοβολίας κεκλιμένου επιπέδου, G_t	173
10.1.1 Υπολογισμός της στιγμιαίας άμεσου και διάχυτης ακτινοβολίας 173	
οριζοντίου επιπέδου G_b και G_d	173
10.1.2 Υπολογισμός του λόγου της άμεσου ακτινοβολίας κεκλιμένου επιπέδου προς την άμεσο οριζοντίου επιπέδου (R_b)	183
10.2 Υπολογισμός φορτίων	192
10.2.1 Περιγραφή τοίχου ανάλυσης.....	192
10.2.2 Υπολογισμός θερμικού ηλιακού κέρδους υαλοπινάκων	193
10.3 Υπολογισμός θερμικού φορτίου υαλοπινάκων δι' αγωγής.....	202
10.3.1. Υπολογισμός θερμοκρασίας περιβάλλοντος.....	202
10.4 Υπολογισμός φορτίου εξωτερικού τοίχου	212
10.4.1 Υπολογισμός συντελεστή θερμοπερατότητας τοίχου	212
10.5 Συνολικό φορτίο τοίχου.....	222

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 11: Εύρεση ψευδοαδιαβατικού τοίχου 230

11.1 Εισαγωγή στο ψευδοαδιαβατικό τοίχο	230
11.2 Εύρεση ψευδοαδιαβατικού τοίχου για σταθερές τιμές των d_{ins} , k_{ins}	240
11.3 Εύρεση ψευδοαδιαβατικού τοίχου για σταθερές τιμές των U_f , k_{ins}	243
11.4 Συνδυασμένη επίδραση των παραμέτρων μόνωσης και υαλοπινάκων στην προσέγγιση ψευδοαδιαβατικού τοίχου για την 21 ^η Ιανουαρίου.....	247

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 12: Ενσωμάτωση PCM στον εξωτερικό τοίχο και διαγραμματική ανάλυση συνολικού φορτίου. 255

12.1 Επιλογή υλικού αλλαγής φάσης.....	256
12.2 Ισολογισμός ενέργειας στο στρώμα PCM.....	258
12.3 Φορτίο στρώματος PCM στον εξωτερικό τοίχο.....	269
12.4 Συνολικό φορτίο τοίχου με ενσωματωμένο PCM	278

12.5 Εύρεση συνδυασμού χαρακτηριστικών για την επιτευξη ψευδοαδιαβατικού τοίχου	287
Γ' ΜΕΡΟΣ: ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....	286

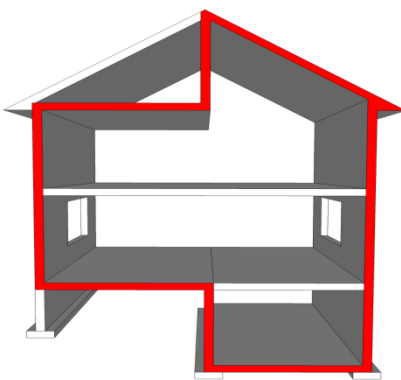
Α' ΜΕΡΟΣ – ΘΕΩΡΗΤΙΚΗ ΑΝΑΣΚΟΠΗΣΗ

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1: Κτιριακό κέλυφος

1.1 Ορισμός

Το κτιριακό κέλυφος, γνωστό και ως περίβλημα κτιρίου, είναι το φυσικό διαχωριστικό μεταξύ του εσωτερικού χώρου όπου οι άνθρωποι περνούν τον περισσότερο χρόνο της ζωής τους και του εξωτερικού περιβάλλοντος. Στην ουσία, στο κτιριακό κέλυφος περιλαμβάνονται τα τμήματα του κτιρίου που παρεμβάλλονται μεταξύ ενός κλιματιζόμενου και ενός μη κλιματιζόμενου χώρου ή του εξωτερικού περιβάλλοντος. Σκοπός του είναι σε συνεργασία με τα μηχανικά συστήματα κλιματισμού να διευκολύνει τον έλεγχο του εσωτερικού κλίματος έτσι ώστε να δημιουργείται ένα άνετο και ευχάριστο εσωτερικό κλίμα για του κατοίκους σε όλες τις εποχές του χρόνου. [1,2] Ενεργώντας ως ένα θερμικό φράγμα, το κέλυφος του κτιρίου παίζει σημαντικό ρόλο στη ρύθμιση της εσωτερικής θερμοκρασίας και βοηθά στο να καθοριστεί το ποσό της ενέργειας που απαιτείται για να διατηρηθεί η θερμική άνεση. [3]

Τα δομικά στοιχεία του κτιρίου που ορίζουν το κτιριακό κέλυφος είναι τα θεμέλια ή τα δάπεδα, η οροφή, οι εξωτερικοί τοίχοι, οι πόρτες και τα παράθυρα. Οι διαστάσεις των δομικών στοιχείων και υλικών, η απόδοση και συμβατότητα των υλικών, η διαδικασία κατασκευής, οι συνδέσεις των δομικών στοιχείων και οι αλληλεπιδράσεις των υλικών είναι οι κύριοι παράγοντες που καθορίζουν την αποτελεσματικότητα και την αντοχή του κτιριακού κελύφους. [1]



Εικόνα 1.1 Το κτιριακό κέλυφος [4]

Η σχεδίαση του κτιριακού κελύφους αποτελεί ένα εξειδικευμένο τομέα της αρχιτεκτονικής και της μηχανικής και η μελέτη του περιλαμβάνει τον έλεγχο του εσωτερικού κλίματος όσο και τους διάφορους τομείς της επιστήμης των κτιρίων. Το κτιριακό κέλυφος παρουσιάζει τρεις βασικές λειτουργίες:

- Μεταφέρει τα μηχανικά φορτία του
- Ελέγχει τη ροή της ύλης και της ενέργειας από και προς το εσωτερικό περιβάλλον
- Καλύπτει τις επιθυμίες των ανθρώπων όσον αφορά την αισθητική διαμόρφωση των εσωτερικών χώρων και του εξωτερικού του κτιρίου

Η λειτουργία του κτιριακού κελύφους όσον αφορά τον έλεγχο της ροής της ύλης και της ενέργειας αποτελεί τη σημαντικότερη λειτουργία αυτού καθώς βάσει αυτής εξαρτάται η καλή απόδοση του κτιρίου και στην ουσία, επικεντρώνεται, κατά σειρά σπουδαιότητας, στον έλεγχο :

- Της προστασίας από τη βροχή
- Της κυκλοφορίας του αέρα
- Της μεταφερόμενης θερμότητας από και προς το εσωτερικό περιβάλλον
- Των αναπτυσσόμενων ή διαχεόμενων υδρατμών

Η προστασία του κελύφους από τη βροχή μπορεί να επιτευχθεί με κατάλληλες αρχιτεκτονικές και κατασκευαστικές λύσεις. Ο έλεγχος της ροής του αέρα είναι σημαντικός έτσι ώστε να εξασφαλίζεται η κατάλληλη ποιότητα του εσωτερικού αέρα, να ελέγχεται η κατανάλωση ενέργειας, να αποφευχθεί η πιθανότητα συμπύκνωσης των διαχεόμενων υδρατμών ώστε να διασφαλιστεί η ανθεκτικότητα του κελύφους, καθώς και να ικανοποιούνται οι απαιτήσεις άνεσης των χρηστών του κτιρίου. [1] Η πιθανότητα συμπύκνωσης των διαχεόμενων υδρατμών στο εσωτερικό των δομικών στοιχείων εξαρτάται από τις συνθήκες του εσωτερικού και εξωτερικού περιβάλλοντος και από τις θερμοφυσικές ιδιότητες των υλικών και ο έλεγχος της γίνεται από κατάλληλη μελέτη.[5]

Η μεταφερόμενη θερμότητα μέσω του κελύφους επηρεάζεται από διάφορους παράγοντες όπως από τα θερμικά χαρακτηριστικά των δομικών στοιχείων του κελύφους, από τον προσανατολισμό του κτιρίου, από το εξωτερικό φυσικό περιβάλλον και από τα κλιματικά δεδομένα. Ο έλεγχος της μεταφερόμενης θερμότητας από και προς το εξωτερικό περιβάλλον αποτελεί καθοριστικό παράγοντα για τον σχεδιασμό του κελύφους. Βάσει αυτού, το κέλυφος πρέπει να κατασκευάζεται έτσι ώστε να

ελαχιστοποιεί τη μετάδοση θερμότητας από τον εσωτερικό στον εξωτερικό χώρο και αντιστρόφως.[2] Η ελαχιστοποίηση της μεταφοράς θερμότητας μέσω του κελύφους του κτιρίου είναι ζωτικής σημασίας για τη μείωση της ανάγκης για θέρμανση και ψύξη χώρων. Σε ψυχρά κλίματα, το κέλυφος του κτιρίου μπορεί να μειώσει την ποσότητα της ενέργειας που απαιτείται για τη θέρμανση, ενώ σε ζεστά κλίματα, μπορεί να μειώσει την ποσότητα της ενέργειας που απαιτείται για την ψύξη. [3]

Γενικά, τα μέτρα που πρέπει να λαμβάνονται σε κάθε περίπτωση για την εξασφάλιση της αποτελεσματικότητας του κτιριακού κελύφους στοχεύουν στη φυσική προστασία του κελύφους από τις καιρικές και κλιματικές συνθήκες, στην καλή ποιότητα του εσωτερικού αέρα για τη διασφάλιση της προσωπικής και δημόσιας υγείας, στην ανθεκτικότητα και στην ενεργειακή απόδοση του κτιρίου.[1]

Αποθήκευση θερμότητας

Πολλοί παράγοντες συνηγορούν στην εξεύρεση λύσεων για την ορθολογικότερη κατανάλωση ενέργειας στα κτίρια και στην αξιοποίηση των ήπιων μορφών ενέργειας. Η οικονομική και τεχνολογική ανάπτυξη έχει ως αποτέλεσμα τον πολλαπλασιασμό των ενεργειακών αναγκών. Ιδίως με τη διαρκή βελτίωση του βιοτικού επιπέδου η κατανάλωση ενέργειας για τη λειτουργία των κτιρίων συνεχώς αυξάνει. Η αύξηση είναι τόσο ποσοτική, καθώς καταναλώνουμε περισσότερη ενέργεια σε απόλυτο μέγεθος, όσο και ποιοτική, επειδή χρησιμοποιούμε όλο και περισσότερο τον ηλεκτρισμό στα κτίρια μας. [6]

Στην Ελλάδα τα κτίρια αντιπροσωπεύουν το 36% της συνολικής ζήτησης ενέργειας και πρόκειται για ένα ποσοστό το οποίο έχει αυξητικές τάσεις. Ωστόσο, φαίνεται αισιόδοξο το ποσοστό μείωσης της σημερινής κατανάλωσης μελλοντικά (περίπου 30%) αξιοποιώντας τις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας καθώς και τον βιοκλιματικό σχεδιασμό των κτιρίων.

Βάσει λοιπόν, της μεγάλης κατανάλωσης ενέργειας που παρουσιάζουν τα κτίρια αλλά και του ποσοστού συμμετοχής τους στις συνολικές εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα καθίσταται φανερή η ανάγκη εξοικονόμησης ενέργειας στα κτίρια. Για το λόγο αυτό θεσπίστηκαν πρότυπα και κανονισμοί στη χώρα μας, όπως κυριότερο τον Κανονισμό ενεργειακής απόδοσης των κτιρίων (Κ.Εν.Α.Κ.), με στόχο τη βελτίωση της ενεργειακής απόδοσης των κτιρίων. Οι κανονισμοί αυτοί καθόρισαν όρια και έθεσαν νέα πρότυπα για τον συνολικό σχεδιασμό των κτιρίων και των επί μέρους συστημάτων που τα

απαρτίζουν, ενώ άλλαξαν τον τρόπο αντιμετώπισης του κτιριακού κελύφους. Έτσι, η μέχρι πρότινος τακτική, το κέλυφος των κτιρίων να σχεδιάζεται από τους αρχιτέκτονες μηχανικούς με τέτοιο τρόπο ώστε να ανταποκρίνεται στην ικανοποίηση πολλών παραγόντων, κατασκευαστικών και αισθητικών, διαμορφώθηκε εκ νέου με τη βελτίωση της ενεργειακής συμπεριφοράς του. Η στροφή που παρατηρήθηκε στο σχεδιασμό των κτιρίων με την εστίαση της προσοχής και στο κέλυφός τους έλαβε χώρα και μετά την συνειδητοποίηση του αδιαμφισβήτητου πλέον γεγονότος ότι για τα περισσότερα κτίρια το κέλυφός τους διαδραματίζει σημαίνοντα ρόλο στην ενέργεια που καταναλώνεται για τον κλιματισμό τους. [8]

Τέλος, πρέπει να αναφερθεί ότι η εξοικονόμηση ενέργειας σε ένα κτίριο εξασφαλίζεται εν μέρει με τον κατάλληλο σχεδιασμό του κτιρίου και τη χρήση ενεργειακά αποδοτικών δομικών στοιχείων και συστημάτων και εν μέρει μέσω της υψηλής αποδοτικότητας των εγκατεστημένων ενεργειακών συστημάτων η οποία προϋποθέτει την άριστη ποιότητα του σχετικού εξοπλισμού και της εγκατάστασής του καθώς και των σχετικών τεχνικών μελετών που τον προδιαγράφουν. Οι επεμβάσεις εξοικονόμησης ενέργειας σε ένα κτίριο μπορεί να αφορούν:

- Το κτιριακό κέλυφος (π.χ. θερμομόνωση, κατάλληλα συστήματα ανοιγμάτων, παθητικά ηλιακά συστήματα)
- Τον περιβάλλοντα χώρο του κτιρίου (π.χ. χρήση βλάστησης)
- Τις εγκαταστάσεις θέρμανσης, ψύξης, φωτισμού, ζεστού νερού και τις ηλεκτρικές συσκευές
- Την ορθολογική χρήση του κτιρίου και την αξιοποίηση των δομικών του στοιχείων (π.χ. ενεργειακή διαχείριση, φυσικός αερισμός, αξιοποίηση της θερμικής μάζας)

[7]

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2: Τοιχοποιία

2.1. Εισαγωγή και είδη τοιχοποιίας

Τοιχοποιίες ονομάζονται 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 [12].

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 [6].

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 [11].

Η τοιχοποιία κατηγοριοποιείται ανάλογα με το είδος των πλίνθων ή τον τύπο δόμησης. Παρακάτω ακολουθεί η κατάταξη της τοιχοποιίας με βάση τα προαναφερθέντα κριτήρια [12]:

A) Κατάταξη τοιχοποιιών 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
- Ξυλόπηκτες 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
- Έμπλεκτες 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

2.2 Επίχρισμα

Το επίχρισμα σε μια τοιχοποιία προσφέρει την αναγκαία προστασία για την αντιμετώπιση 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 [11].

Ειδικότερα στην περίπτωση των τοιχοποιιών, η επίχριση είναι ο καλύτερος τρόπος για να προστατευθεί αυτή έναντι της βροχής, αλλά και 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 σύνθεση 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) [11].

2.3 Κατηγορίες και περιγραφή τυπικών εξωτερικών τοίχων στην Ελλάδα [10]

Πίνακας 2.3.1 Ονόματα και η περιγραφή των τυπικών εξωτερικών τοίχων για την Ελλάδα και ολικός συντελεστής θερμοπερατότητας για τις κατασκευές αυτές.

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 1,4456cm 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 Επίχρισμα 2cm	1,445
G10	Τοίχος συρόμενων με μόνωση 5cm	Επίχρισμα 2cm Ορθοδομικός 9cm Κενό 13cm Μόνωση 5cm Ορθοδομικός 9cm Επίχρισμα 2cm	0,546

G11	Τοίχος συρόμενων χωρίς μόνωση	Επίχρισμα 2cm Ορθοδομικός 6cm Κενό 13 cm Ορθοδομικός 6cm Επίχρισμα 2 cm	1,657
G12	Τοίχος συρόμενων με γυψοσανίδες και μόνωση 5cm	Επίχρισμα 2cm Ορθοδομικός 6cm Κενό 13 cm Γυψοσανίδα 1cm Μόνωση 2 cm Γυψοσανίδα 1,25cm	0,577
G13	Δοκός 19cm με μόνωση 5cm	Επίχρισμα 2cm Δοκός 19cm Μόνωση 5cm Επίχρισμα 2 cm	0,653
G14	Δοκός 19cm χωρίς μόνωση	Επίχρισμα 2cm Δοκός 19cm Επίχρισμα 2cm	0,306
G15	Δοκός 25cm με μόνωση 5cm και γυψοσανίδες	Επίχρισμα 2cm Δοκός 25 cm Μόνωση 5cm Γυψοσανίδα 1,25cm	0,641
G16	Δοκός 19cm με μόνωση 5cm και ορθοδομικό	Επίχρισμα 2cm Δοκός 19cm Μόνωση 5cm Ορθοδομικός 6cm Επίχρισμα 2cm	0,607

G17	Δοκός 19cm ορθοδομικό	Επίχρισμα 2cm Δοκός 19cm Ορθοδομικός 6cm Επίχρισμα 2cm	2,393
G18	Λιθοδομή 60cm	Επίχρισμα 2cm Λιθοδομή 60cm Επίχρισμα 2cm	2,338

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3 : Οροφές

3.1 Εισαγωγή

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 [13].

Οι οροφές απαιτούν αυξημένη προστασία σύγκρινόμενες με τα υπόλοιπα μέρη του κτιρίου. Και αυτό συμβαίνει επειδή είναι περισσότερο εκτεθειμένες 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 [14]. 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 [13]

3.2 Κατηγορίες και περιγραφή τυπικών εξωτερικών οροφών στην Ελλάδα [10]

Στον Πίνακα 3.2.1 δίνονται τα τυπικά είδη οροφών στη χώρα μας, η περιγραφή τους και οι τιμές των ολικών συντελεστών θερμοπερατότητας τους.

Πίνακας 3.2.1: 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	0,446

		Επίχρισμα 1,5cm	
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 ταρατσας	Πλάκες ταρατσας 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 ταρατσας 4cm Ασβεστοτσιμεντοκ.2cm Στεγανοποίηση 1cm Κισσηρόδεμα 10cm Οπλ.σκυρόδεμα 14cm	1,401

		Επίχρισμα 1,5cm	
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

3.3 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 [13].

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 επιφάνειας [15].

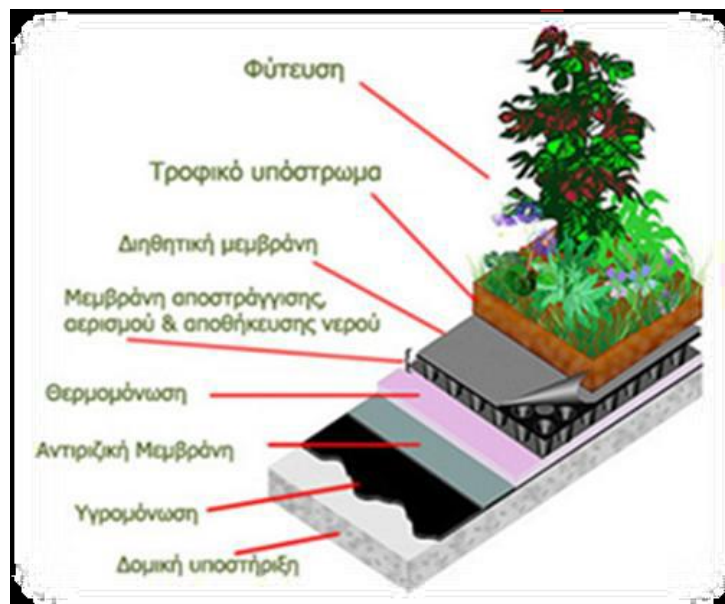
- **Οροφές με ακτινοβολητή νερού ή αέρα:**

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 [9].

- **Φυτεμένο δώμα:**

Το φυτεμένο δώμα (Σχήμα 3.3.1) 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 υγρομονωμένη 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 [14].


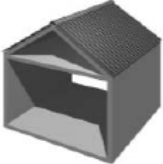
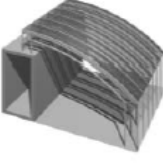
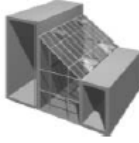



Εικόνα 3.3.1: Φυτεμένο δώμα [15]

- **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 3.3.2) 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
				

Εικόνα 3.3.2: Οφέλη ενσωμάτωσης φωτοβολταϊκών σε οροφές κτιρίων [16].

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4: Δαπέδα

4.1 Εισαγωγή

Το δάπεδο αποτελεί το μόνο δομικό στοιχείο το οποίο βρίσκεται 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, αντιολισθητικότητα, διάρκεια, συντήρηση κτλ.) και των αισθήσεων των χρηστών (αισθητική, αίσθηση ασφάλειας, άνεση, ακουστική, θερμότητα κτλ.) [17].

4.2 Τυπικές κατασκευές δαπέδου

Λόγω της θερμικής μάζας και της ικανότητάς της να διατηρεί τη θερμότητα, 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 [18, 19].

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 [20].

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5: Υαλοπίνακες

5.1 Βασικές ιδιότητες υαλοπινάκων

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

- **Γυαλί και οπτική άνεση**

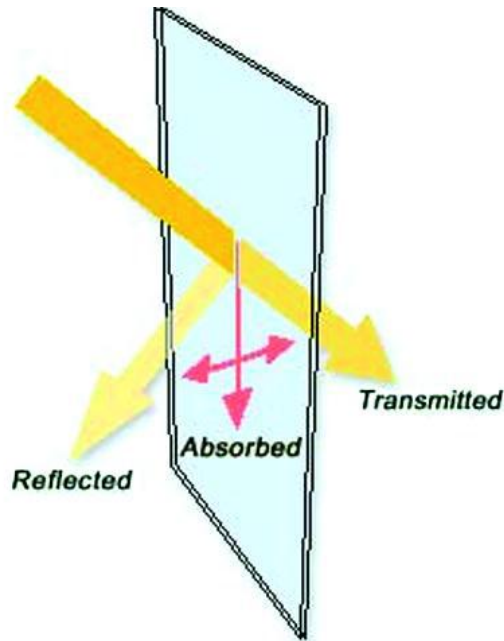
Το γυαλί μας δίνει την δυνατότητα να ελέγχουμε και να χειριζόμαστε το φως προς όφελός μας. Η χρήση υαλοπινάκων θα πρέπει να μας εξασφαλίζει πιστή οπτική επαφή μεταξύ εσωτερικού χώρου και εξωτερικού περιβάλλοντος, να ενισχύει το φυσικό φωτισμό και αερισμό αλλά ταυτόχρονα να περιορίζει τον υπερβολικό φωτισμό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

- **Γυαλί και θερμική άνεση**

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

Η ιδιότητα αυτή των υαλοπινάκων εξαρτάται από το μήκος κύματος της ακτινοβολίας και τη γωνία πρόσπτωσης της, τη χημική σύσταση και το πάχος του υλικού. Τα περισσότερα είδη υαλοπινάκων που χρησιμοποιούνται στις μέρες μας είναι αδιαπέραστα από την ακτινοβολία μεγάλου μήκους κύματος ενώ όσο πιο μικρό είναι το πάχος του υλικού τόσο μεγαλύτερο ποσοστό της ολικής προσπίπτουσας ηλιακής ακτινοβολίας διαπερνά των υαλοπίνακα. Επίσης προσμίξεις υλικών μειώνουν τη διαπερατότητα του υαλοπίνακα [10].

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



Εικόνα 5.1.1 Διαχωρισμός ολικής προσπίπτουσας ακτινοβολίας σε υαλοπίνακα

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

Το μεγαλύτερο μέρος, τώρα, της ποσότητας της ακτινοβολίας που εισέρχεται στο χώρο και μετατρέπεται σε θερμότητα απορροφάται από το δάπεδο και εναποδίδεται σταδιακά στο χώρο ενώ το υπόλοιπο ανακλάται και κατευθύνεται προς τον τοίχο. Στον τοίχο, ένα μέρος αυτής της θερμότητας αποθηκεύεται σε αυτόν, ένα άλλο ανακλάται από αυτόν και το υπόλοιπο απορροφάται από αυτόν. Στη συνέχεια ένα μέρος αυτής της θερμότητας που απορροφάται από τον τοίχο μεταβιβάζεται προς άλλη κατεύθυνση με χαμηλότερη θερμοκρασία ενώ το υπόλοιπο εισέρχεται στο χώρο [9].

Από τη συνολική ποσότητα θερμότητας που συγκεντρώνεται τελικά στο χώρο, ένα τμήμα χάνεται μέσω του υαλοπίνακα (θερμικές απώλειες) ενώ το υπόλοιπο παραμένει μέσα στο χώρο και αποτελεί το πραγματικό ηλιακό κέρδος του υαλοπίνακα [9].

Οι κύριες παράμετροι για την επιλογή κατάλληλων υαλοπινάκων, είναι:

- **Συντελεστής Θερμοπερατότητας U**

Η θερμική ισχύς ανά μονάδα επιφάνειας, η οποία μεταδίδεται εντός / εκτός του κτιρίου και οφείλεται στη θερμοκρασιακή διαφορά ανά βαθμό (W/m²K). Χαμηλές τιμές U εξασφαλίζουν σημαντική μείωση των θερμικών απωλειών κατά τη χειμερινή περίοδο [22].

- **Συντελεστής ηλιακής ενέργειας g**

Ο λόγος της προσπίπτουσας ηλιακής ενέργειας προς την ενέργεια που μεταδίδεται στο εσωτερικό του κτιρίου. Χαμηλές τιμές g εξασφαλίζουν μείωση των ηλιακών κερδών [22].

- **Συντελεστής Φωτοδιαπερατότητας Tv**

Το ποσοστό της προσπίπτουσας φωτεινής ακτινοβολίας που εισέρχεται στο κτίριο [22]. Υψηλές τιμές εξασφαλίζουν υψηλές στάθμες φυσικού φωτισμού στους εσωτερικούς χώρους.

5.2. Είδη υαλοπινάκων και νέες τεχνολογίες

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

- **Απλός μονός υαλοπίνακας [9]**

Είναι το είδος υαλοπίνακα που χρησιμοποιούταν παλιότερα στις κατασκευές όμως πια οι περισσότεροι έχουν αντικατασταθεί με διπλούς. Έχει το μεγαλύτερο συντελεστή θερμοπερατότητας ο οποίος βέβαια μπορεί να μειωθεί με το πάχος του γυαλιού , παρέχει μειωμένη προστασία από εξωτερικούς θορύβους και λόγω της υψηλής αγωγιμότητας του δε συμβάλει στη σωστή θερμομόνωση του κτιρίου.

- **Απλός διπλός ή τριπλός υαλοπίνακας [9]**

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

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

- **Δίδυμος υαλοπίνακας**

Δίδυμος υαλοπίνακας είναι η διάταξη εκείνη στην οποία στο ίδιο πλαίσιο στερεώνονται δύο υαλοπίνακες και ο αέρας που υπάρχει στο διάκενο που σχηματίζεται μεταξύ τους δεν είναι ξηρος. Αυτό αποτελεί και το βασικό μειονέκτημά τους καθώς ο αέρας αυτός υγροποιείται εύκολα και προκαλεί θάμβωση. Γενικά έχουν καλύτερες θερμομονωτικές ιδιότητες από τους μονούς ,χειρότερες από τους διπλούς αν και υπερτερούν ως προς το κόστος [9].

- **Διπλός υαλοπίνακας με επίστρωση**

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

- ανακλαστικές επιστρώσεις, που ελαττώνουν τα θερμικά κέρδη και τη θάμβωση,
- επιστρώσεις χαμηλού συντελεστή εκπομπής θερμικής ακτινοβολίας που δεν επιτρέπουν τη διέλευση των υπέρυθρων ακτινών και
- επιστρώσεις με φασματική επιλεκτικότητα που έχουν μεγάλη διαπερατότητα στο οπτικό φάσμα και μικρή στο θερμικό
- συνδυασμός των παραπάνω επιστρώσεων.

- **Διπλός υαλοπίνακας ελέγχου ηλιακής ακτινοβολίας (solar control) [9,23]**

Η θερμότητα που εισέρχεται σε ένα κτίριο (άμεσα ή έμμεσα), προέρχεται στο σύνολό της από την ηλιακή ακτινοβολία (ορατό φως, υπεριώδης ακτινοβολία και υπέρυθρες ακτίνες). Οι υαλοπίνακες ηλιακού ελέγχου είναι προϊόντα υψηλής τεχνολογίας που αναπτύχθηκαν από την υαλοβιομηχανία ώστε να επιτρέπουν στο ηλιακό φως να διαπερνά ένα παράθυρο ή μια πρόσοψη ενώ ταυτόχρονα να διαχέουν και να αντανακλούν ένα μεγάλο

μέρος της ηλιακής θερμότητας. Ο εσωτερικός χώρος παραμένει φωτεινός και κατά πολύ δροσερότερος από ότι θα ήταν αν είχε χρησιμοποιηθεί κανονικό γυαλί.

Με τη μέθοδο αυτή επιτρέπεται η είσοδος του ορατού φωτός ,αποτρέπεται όμως η είσοδος της υπεριώδους και υπέρυθρης ακτινοβολίας. Οι υαλοπίνακες αυτοί διατίθενται σε δύο τύπους:

- απορροφητικοί υαλοπίνακες και
- επιστρωμένοι (coated) υαλοπίνακες.

- **Απορροφητικοί υαλοπίνακες**

Απορροφούν σημαντικό μέρος της ηλιακής ακτινοβολίας (περιορίζουν τη θερμοπερατότητα χωρίς να μειώνουν σημαντικά τη φωτοδιαπερατότητα) και συνιστώνται για τη μείωση των ηλιακών κερδών ενός χώρου. Έχουν το πλεονέκτημα, σε σχέση με τους ανακλαστικούς, ότι δεν δημιουργούν θάμβωση στον περιβάλλοντα χώρο του κτιρίου [29] .

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

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

- **Θερμοανακλαστικοί υαλοπίνακες**

Οι διπλοί ανακλαστικοί υαλοπίνακες συνήθως αποτελούνται από ένα εξωτερικό διαφανές φύλλο υαλοπίνακα και ένα εσωτερικό φύλλο που φέρει ειδική επικάλυψη με αόρατα στρώματα μεταλλικών οξειδίων, ικανά να ανακλούν μεγάλο μέρος της προσπίπτουσας ηλιακής ακτινοβολίας μειώνοντας δραστικά το θερμικό κέρδος με την επιφάνεια που φέρει την επικάλυψη τοποθετημένη προς το διάκενο μεταξύ των υαλοπινάκων (οι επικαλύψεις απαιτούν προστασία και πρέπει να τοποθετούνται πάντοτε προς το διάκενο). Οι επικαλυπτικές στρώσεις μειώνουν τη θερμική ανταλλαγή δια ακτινοβολίας μεταξύ των φύλλων των υαλοπινάκων και έτσι επιτυγχάνεται μείωση της θερμοπερατότητας κατά περίπου 40%. Πρόσθετη μείωση της τάξης του περίπου 20% μπορεί να επιτευχθεί με πλήρωση του διακένου με μείγμα αέρα και ευγενών αερίων, όπως αργό ή κρυπτό, τα οποία έχουν χαμηλότερη αγωγιμότητα από τον αέρα [9]. Ανακλούν σημαντικό μέρος της ηλιακής ακτινοβολίας και συνιστώνται για τη μείωση των ηλιακών κερδών, αλλά μπορεί να προκαλέσουν θάμβωση στον περιβάλλοντα χώρο και στα γύρω κτίρια.

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

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

Η επίστρωση γίνεται υπό θερμοκρασίες της τάξεως των 500C, κατά την διάρκεια της παραγωγής τους, εν σειρά, γι' αυτό και αποκαλούνται επίσης *on line*. Το βασικό πλεονέκτημα της μεθόδου είναι το ότι η ενσωματωμένη στην επιφάνεια του γυαλιού επίστρωση, είναι ανθεκτική σε μηχανικές καταπονήσεις, πράγμα το οποίο μας παρέχει την δυνατότητα να τοποθετούμε τα γυαλιά με την επιστρωμένη επιφάνεια στην θέση 1 (εξωτερική επιφάνεια του υαλοπίνακα που έρχεται άμεσα σε επαφή με το εξωτερικό περιβάλλον) στην οποία το γυαλί αποδίδει τις χρωματικές του ιδιότητες για τις οποίες το έχουμε άλλωστε επιλέξει [24].

- Σε υαλοπίνακες *εν κενώ* επίστρωσης (ή μαλακής επίστρωσης)

Η επίστρωση γίνεται σε χωριστή φάση από την παραγωγή, γι' αυτό και αποκαλούνται *off line*. Μειονέκτημα της μεθόδου είναι η παραγωγή επιστρώσεων μη ανθεκτικών σε μηχανικές καταπονήσεις, κάτι που απαιτεί προσεκτικό χειρισμό των γυαλιών καθ' όλα τα

στάδια της περαιτέρω επεξεργασίας των, την χρήση τους μόνο σε διπλές υαλώσεις και την τοποθέτηση της επιστρωμένης επιφάνειάς τους μόνο στις θέσεις 2 και 3 [24].

Μεγαλύτερη αποδοτικότητα επιτυγχάνεται με επικάλυψη με λεπτή στρώση από ψήγματα μετάλλων, η οποία συνδυάζεται με χαμηλή εκπομπή ($low\ e$) στην υπέρυθρη ακτινοβολία. Οι υαλοπίνακες αυτοί είναι οικονομικά αποδοτικοί ακόμη και στα ψυχρά κλίματα. Αντιθέτως, οι ανακλαστικοί υαλοπίνακες δεν συνιστάται να χρησιμοποιούνται σε κτίρια που παρουσιάζουν μόνο ανάγκες θέρμανσης [24,9].

- **Διπλός υαλοπίνακας με $low -e$ επίστρωση [22,24]**

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

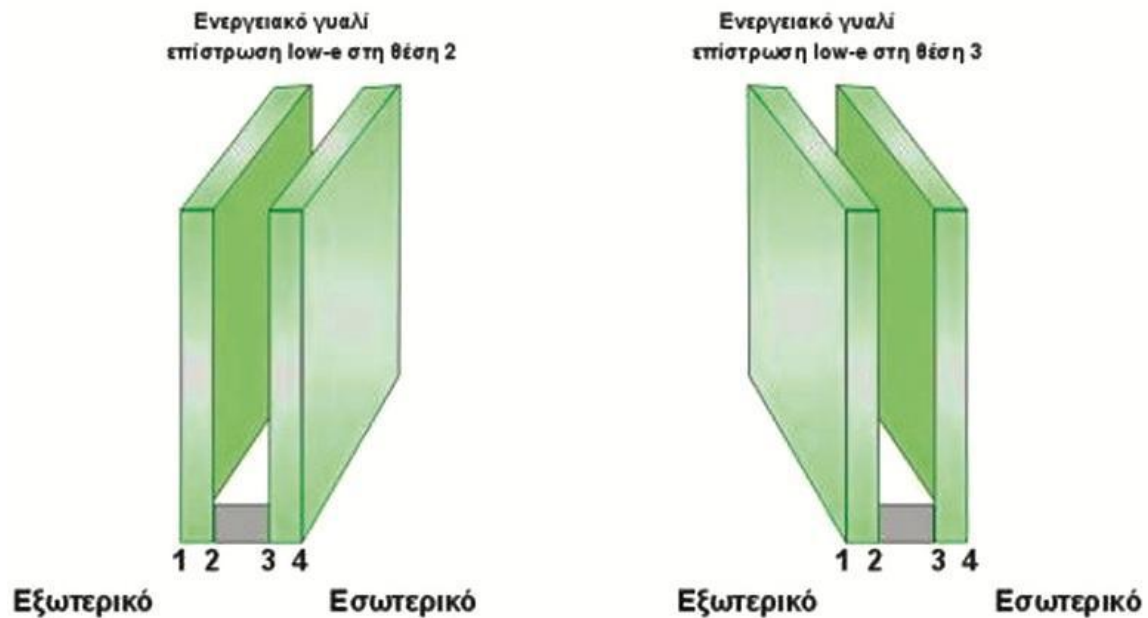
Η ιδιότητα αυτή λέγεται ικανότητα εκπομπής ($emissivity$) και εκφράζεται από τον συντελεστή εκπομπής e ο οποίος δηλώνει το ποσοστό (%) της επανεκπεμπόμενης ενέργειας. Όσο μικρότερος είναι ο συντελεστής αυτός τόσο πιο αποδοτικός είναι ο υαλοπίνακας.

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

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

Τους κρύους μήνες αντίστοιχα, το ίδιο συμβαίνει με τη θερμότητα που μεταδίδεται από το εσωτερικό του κτιρίου. Ο υαλοπίνακας $low\ e$ απορροφά λιγότερη από αυτήν και

εκπέμπει λιγότερη προς τον δεύτερο υαλοπίνακα και κατά συνέπεια το εξωτερικό του κτιρίου.



Εικόνα 5.2.1 Υαλοπίνακες low e

- **Έγχρωμοι υαλοπίνακες**

Με τη βοήθεια χημικής επεξεργασίας παρουσιάζουν χαμηλή θερμοπερατότητα, αλλά και μειωμένη φωτοδιαπερατότητα και συνιστώνται για τη μείωση των ηλιακών κερδών ενός χώρου [30].

- **Υαλοπίνακες μεταβλητών ιδιοτήτων [9]**

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

✓ **Ηλεκτροχρωμικοί**

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

✓ **Φωτοχρωμικοί**

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

✓ **Θερμοχρωμικοί**

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

• **Αντιθαμβωτικοί υαλοπίνακες**

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

• **Διπλοί υαλοπίνακες με εσωτερικά σκίαστρα**

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

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

• **Πρισματικός υαλοπίνακας**

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

- **Διπλός υαλοπίνακας με ολογραφικό υμένιο στο εσωτερικό του**

Επιτρέπει στο διάχυτο φως να εισέλθει στο χώρο και ανακλά τη θερμική ακτινοβολία μειώνοντας τα θερμικά κέρδη [9].

- **Triplex (laminated)**

Triplex ή αλλιώς laminated υαλοπίνακες είναι αυτοί οι οποίοι δημιουργούνται από την συνένωση δυο ή περισσότερων γυαλιών με διάφανη ή έγχρωμη ζελατίνη-μεμβράνη (συνήθως με πολυβινυλοβουτυρικές μεμβράνες – PVB). Η συγκόλληση των υαλοπινάκων πραγματοποιείται με θέρμανση και μετέπειτα πίεση. Η συγκόλληση αυτή έχει ως αποτέλεσμα την μεγάλη ανθεκτικότητα του υαλοπίνακα στα χτυπήματα καθώς ακόμα και όταν προκληθεί θραύση σε έναν triplex υαλοπίνακα, δεν καταρρέει γιατί συγκρατείται από την εσωτερική μεμβράνη [25]. Το τελικό αποτέλεσμα μοιάζει με ένα μονό υαλοπίνακα ο οποίος όταν κολληθεί με έναν ακόμα έχοντας ενδιάμεσα την απαραίτητη μόνωση με αέρα ή κάποιο ευγενές αέριο, γίνεται ένας διπλός triplex υαλοπίνακας. Συνήθως τοποθετούνται στην εξωτερική πλευρά του διπλού υαλοπίνακα

5.3 Πλαίσια –Κουφώματα [9,26]

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

Πίνακας 5.3.1 Τυπικές τιμές συντελεστή θερμοπερατότητας πλαισίου [21]

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

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

Το αλουμίνιο έχει εξαιρετική αντοχή στις καιρικές συνθήκες, προσφέρει επιπλέον αντοχή στην οξείδωση κι έτσι το υλικό γίνεται ακόμη πιο ανθεκτικό στην ατμοσφαιρική διάβρωση. Δεν απορροφά υγρασία, δεν διαστέλλεται, παραμένει άκαυστο σε υψηλές θερμοκρασίες, εάν καεί δεν παράγεται καπνός, έχει χαμηλό ειδικό βάρος συγκριτικά με άλλα μέταλλα και επιπλέον είναι εύπλαστο. Επίσης βρίσκεται σε αφθονία και είναι ανακυκλώσιμο (έχει χαρακτηριστεί «πράσινο» μέταλλο) [26]. Σε γενικές γραμμές ικανοποιεί ταυτόχρονα τις τεχνολογικές αλλά και οικολογικές απαιτήσεις .

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

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

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

5.4 Σκίαστρα [22]

Τα σκίαστρα συμβάλλουν αρκετά στη προστασία του κτιρίου από την ηλιακή ακτινοβολία. Τα σκίαστρα πρέπει να τοποθετούνται με κατάλληλο προσανατολισμό, σωστή διαστασιολόγηση και χωροθέτηση και συνδυάζοντας τα με υποστυλώματα,

εξώστες και προβόλους μπορούν να παρέχουν προστασία σε όλη την εξωτερική τοιχοποιία . Η απόδοση ενός σκιάστρου εκφράζεται με τον συντελεστή σκίασης.

Οι πιο κοινοί τύποι σκιάστρων είναι οι εξής:

- **Κινητές διατάξεις**

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

- **Εσωτερικά σκίαστρα**

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

- **Εξωτερικά σκίαστρα**

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

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

- **Σκίαστρα ενδιάμεσης τοποθέτησης**

Είναι διατάξεις που επιτρέπουν την τοποθέτηση των σκιάστρων μεταξύ των δύο φύλλων των διπλών υαλοπινάκων. Αποτρέπουν την είσοδο της άμεσης και της διάχυτης

ακτινοβολίας, αλλά επιτρέπουν επίσης της είσοδο ακτινοβολίας κατά τη χειμερινή περίοδο, με κατάλληλη κλίση. Ένα πιθανό μειονέκτημα είναι η δημιουργία υδρατμών μεταξύ των δύο υαλοπινάκων κατά τη διάρκεια του χειμώνα.

- **Τέντες**

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

- **Σταθερές διατάξεις**

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

- **Προεξοχές - Πρόβολοι**

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

- **Ανακλαστικές διατάξεις (ράφια) φωτισμού**

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

- **Περσίδες**

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

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6: Θερμομόνωση[8,11,21]

6.1 Θερμομονωτικά υλικά

Θερμομονωτικά υλικά είναι τα υλικά εκείνα, που έχουν μικρό συντελεστή θερμικής αγωγιμότητας k . Συνήθως $k < 0,1 \text{ w/mK}$

Τα θερμομονωτικά υλικά διακρίνονται σε δύο κατηγορίες:

- **Ανόργανα υλικά**

Διογκωμένος περλίτης, υαλοβάμβακας, πετροβάμβακας, ορυκτοβάμβακας, θερμομονωτικά τούβλα, μονωτικά σκυροδέματα ,διογκωμένη άργιλος, κ.α.

- **Οργανικά υλικά**

Ξυλόμαλλο, γη διατόμων, πολυουρεθάνη, διογκωμένη πολυστερίνη, εξηλασμένη πολυστερίνη, πολυστυρόλη, φαινολική ρητίνη, διογκωμένος φελλός, κ.α.

6.2 Ιδιότητες θερμομονωτικών υλικών

Οι βασικές ιδιότητες των θερμομονωτικών υλικών είναι οι ακόλουθες:

- **Θερμοκρασία**

Ο συντελεστής θερμικής αγωγιμότητας αυξάνεται με τη θερμοκρασία, οπότε μειώνεται η θερμομονωτική ικανότητα του υλικού . Για θερμοκρασίες μέχρι $100 \text{ }^\circ\text{C}$ χρησιμοποιούνται

συνήθως οργανικά υλικά. Από 100-500 °C χρησιμοποιούνται ανόργανα υλικά και από 500-800 °C χρησιμοποιούνται, κατά προτίμηση, μονωτικά υλικά από γη διατόμων. Τέλος, κατάλληλα υλικά για ψυκτικές εγκαταστάσεις είναι ο εμποτισμένος φελλός, οι αφρώδεις ρητίνες και ο πετροβάμβακας.

- **Υγρασία**

Ο συντελεστής θερμικής αγωγιμότητας αυξάνεται με την υγρασία, οπότε μειώνεται η θερμομονωτική ικανότητα του υλικού. Το φαινόμενο αυτό εξηγείται εύκολα αν σκεφτούμε ότι η θερμική αγωγιμότητα του νερού ($k= 0,57 \text{ w/m}^2$) είναι 24 φορές μεγαλύτερη από αυτήν του ακίνητου αέρα ($k= 0,024 \text{ w/m}^2$). Τα ανόργανα ινώδη μονωτικά υλικά (υαλοβάμβακας, πετροβάμβακας, σκωριοβάμβακας) επηρεάζονται από την υγρασία, ενώ τα οργανικά αφρώδη μονωτικά υλικά είναι αδιάβροχα.

- **Ηλιακή ακτινοβολία**

Τα αφρώδη οργανικά μονωτικά υλικά κινδυνεύουν άμεσα από την επίδραση της ηλιακής ακτινοβολίας, όταν παραμένουν επί μακρόν εκτεθειμένα σε αυτήν. Έχουμε σταδιακή αλλοίωση του υλικού, μείωση της αντοχής του και απώλεια των θερμομονωτικών ιδιοτήτων.

- **Μηχανική αντοχή**

Η αντοχή των μονωτικών υλικών σε θλιπτικά ή εφελκυστικά φορτία είναι πολύ σημαντική όταν:

- Η τοιχοποιία είναι φέρουσα και το μονωτικό υλικό ανήκει στα φέροντα στοιχεία της (π.χ. θερμομονωτικά τούβλα).
- Το μονωτικό υλικό τοποθετηθεί σε ψευδοροφές με μεγάλα ανοίγματα. Τα οργανικά αφρώδη μονωτικά υλικά έχουν μεγαλύτερη μηχανική αντοχή από τα ανόργανα ινώδη.

6.3 Είδη θερμομονωτικών υλικών

Τα σπουδαιότερα θερμομονωτικά υλικά είναι:

- **Διογκωμένος περλίτης**

Παράγεται από τον περλίτη (ορυκτό ηφαιστειακής προέλευσης) με κατάλληλη θερμική επεξεργασία στους 900 °C, ο οποίος διογκώνεται κατά 10 – 25 φορές και θραύεται σε μικρούς κόκκους, που περιέχουν αέρα στο εσωτερικό τους. Δεν προσβάλλει τα μέταλλα, αντέχει σε υψηλές θερμοκρασίες, δεν προσβάλλεται από την υγρασία και τους μύκητες και χρησιμοποιείται στην παρασκευή μονωτικών επιχρισμάτων (περλιτικά επιχρίσματα). Ο φυσικός περλίτης χρησιμοποιείται σαν αδρανές υλικό ή υλικό πλήρωσης για την κατασκευή θερμομονωτικών τοιχωμάτων, δαπέδων και ταρατσών. Η εμπορική του ονομασία είναι Perlomin.

- **Υαλοβάμβακας**

Παράγεται από την ινοποίηση ρευστού πυριτικού γυαλιού και είναι ινώδης μονωτικό υλικό. Προσβάλλεται από την υγρασία και το υδροχλωρικό οξύ και είναι άκαυστος. Έχει πολύ καλές ηχομονωτικές ιδιότητες και στο εμπόριο υπάρχει σε διάφορες μορφές (πάπλωμα με ή χωρίς επικάλυψη, πλάκες κοινές, πλάκες ενισχυμένες, πλάκες σκληρές, κ.τ.λ.). Χρησιμοποιείται στις οροφές, τα δάπεδα και τους τοίχους, καθώς και στη θερμομόνωση θερμοσίφωνων και ηλεκτρικών οικιακών συσκευών. Στους τοίχους τοποθετείται ανάμεσα σε δύο σειρές τούβλων, εξωτερικά (καλύπτεται με μάρμαρο ή άλλο οικοδομικό υλικό) ή εσωτερικά (καλύπτεται με ξύλο ή γυψοσανίδα).

- **Πετροβάμβακας**

Παράγεται από μίγμα ασβεστόλιθων, δολομιτών και βωξιτών και είναι ινώδης μονωτικό υλικό. Προσβάλλεται από την υγρασία, είναι άκαυστος και έχει ηχομονωτικές ιδιότητες. Στο εμπόριο υπάρχει σε διάφορες μορφές και χρησιμοποιείται σε μονώσεις σωληνώσεων, δοχείων και βιομηχανικών εγκαταστάσεων, με θερμοκρασία έως 1100 °C.

- **Ορυκτοβάμβακας**

Παράγεται από ίνες ορυκτών υλικών και διατίθεται σε πλάκες απλές, πλάκες επενδεδυμένες με φύλλο αλουμινίου ή υαλοϋφασμα και χύμα. Χρησιμοποιείται σε οικοδομικές μονώσεις (θερμικές και ακουστικές), καθώς και σε μονώσεις σωληνώσεων, αεραγωγών και βιομηχανικών εγκαταστάσεων με θερμοκρασία έως 750 °C.

- **Θερμομονωτικά τούβλα**

Τα θερμομονωτικά τούβλα είναι τούβλα στη μάζα των οποίων έχουν δημιουργηθεί μικρές σφαιρικές κοιλότητες με αέρα. Αυτό επιτυγχάνεται με την πρόσμιξη στην άργιλο, πριν ακόμα ψηθεί, κόκκων διογκωμένης πολυστερίνης. Κατά το ψήσιμο η πολυστερίνη καίγεται και αφήνει κυψέλες με αέρα στη μάζα της αργίλου. Κατασκευάζονται σε πολλές διαστάσεις, έχουν το χρώμα και τη μορφή των κοινών τούβλων και είναι ελαφρύτερα από τα κοινά διάτρητα τούβλα κατά 25 – 40%. Αντέχουν στον παγετό και στις πολύ υψηλές θερμοκρασίες και παρά το γεγονός ότι απορροφούν υγρασία, έχουν τη δυνατότητα να την επαναποδώσουν εύκολα στην ατμόσφαιρα και να στεγνώσουν. Χρησιμοποιούνται για την κατασκευή εξωτερικών τοίχων χωρίς τη χρήση άλλου θερμομονωτικού υλικού και επιχρίονται (εσωτερικά – εξωτερικά) με όλα τα επιχρίσματα που εφαρμόζονται στα κοινά τούβλα.

- **Τούβλα με ενσωματωμένη μόνωση**

Τα τούβλα με ενσωματωμένη μόνωση είναι κοινά τούβλα σχεδιασμένα έτσι, ώστε στη διατομή τους να αφήνεται χώρος για την τοποθέτηση ενός θερμομονωτικού υλικού (κυρίως πολυουρεθάνης) μετά το ψήσιμο. Είναι άκαυστα, το βάρος τους διαφέρει ελάχιστα από αυτό των κοινών τούβλων και η συμπεριφορά τους στην υγρασία μοιάζει με εκείνη των θερμομονωτικών τούβλων.

- **Μονωτικά σκυροδέματα**

Τα μονωτικά σκυροδέματα έχουν σαν συνδετική ύλη το τσιμέντο και ως αδρανή ειδικά υλικά, που εξασφαλίζουν την παρουσία φυσαλίδων αέρα και έτσι εμφανίζουν θερμομονωτικές ιδιότητες. Τα σπουδαιότερα μονωτικά σκυροδέματα είναι το κυψελωτό μπετόν ή ελαφρομπετόν, το περλομπετόν και το κισσηρομπετόν.

- **Ξυλόμαλλο**

Το ξυλόμαλλο παράγεται από την ανάμειξη ινών ξύλου ή ροκανιδιών με τσιμέντο ή μαγνησίτη και το τελικό προϊόν είναι απλές συμπαγείς πλάκες ή πλάκες τύπου σάντουιτς, με εκατέρωθεν εξωτερικές στρώσεις ξυλόμαλλου και ενδιάμεση στρώση διογκωμένης πολυστερίνης, εξηλασμένης πολυστερίνης ή πετροβάμβακα. Οι πλάκες δεν κινδυνεύουν από σάπισμα, μύκητες ή άλλους μικροοργανισμούς, καίγονται δύσκολα, είναι εύκολες στη χρήση τους και συναντώνται στη θερμομόνωση μεγάλων οριζόντιων

και κατακόρυφων επιφανειών, που πρέπει να σοβατιστούν και στη θερμομόνωση πλακών οροφής και δαπέδων. Η εμπορική ονομασία του είναι Heraklith.

- **Γη διατόμων**

Παράγεται από το πέτρωμα που σχηματίζεται από τα κελύφη των διατομών (μονοκύτταρα φύκη), τα οποία καθιζάνουν στον πυθμένα των θαλασσών και των λιμνών. Έχει τη μορφή σκόνης, αντέχει σε θερμοκρασίες μέχρι 800 °C και χρησιμοποιείται για την παραγωγή πυρίμαχων τούβλων και την επένδυση σωληνώσεων στη βιομηχανία, αφού πρώτα αναμειχθεί με κατάλληλο συνδετικό υλικό.

- **Πολυουρεθάνη**

Η πολυουρεθάνη είναι σκληρό αφρώδες μονωτικό υλικό και παράγεται από την ανάμειξη του ισοκυανικού και της πολυόλης. Με τη βοήθεια αντλιών τα δύο στοιχεία οδηγούνται με υψηλή πίεση και ταχύτητα σε ένα μικρό θάλαμο, όπου αναμειγνύονται και, στη συνέχεια, εκτοξεύονται στην προς μόνωση επιφάνεια. Εκεί, σε πολύ μικρό χρονικό διάστημα, αρχίζει η χημική αντίδραση μεταξύ των στοιχείων και η μαλακή μάζα σκληρύνεται και γίνεται στερεά και ελαφρά. Στο εμπόριο βρίσκεται υπό μορφή πλακών και χρησιμοποιείται για τη θερμομόνωση κεκλιμένων δωματίων από μπετόν, οροφών pilotis, εξωτερικών τοίχων, σωληνώσεων, αεραγωγών, δεξαμενών κ.τ.λ.

- **Διογκωμένη πολυστερίνη (εμπορική ονομασία: Felizol)**

Είναι αφρώδες μονωτικό υλικό και παράγεται από μονομερές στυρένιο με πολυμερισμό. Αποτελείται από μεγάλο αριθμό, ομοιόμορφα κατανεμημένων, κλειστών κυψελίδων και στην τελική της μορφή, η πολυστερίνη, αποτελεί μόνο το 2 – 5% του συνολικού όγκου, ενώ ο υπόλοιπος όγκος καλύπτεται από αέρα. Δεν απορροφά υγρασία, αλλοιώνεται από οργανικούς διαλύτες, δεν έχει ηχομονωτικές ιδιότητες και δεν αντέχει σε θερμοκρασία μεγαλύτερη των 100 °C. Είναι φθηνό υλικό και χρησιμοποιείται υπό μορφή πλακών για τη μόνωση τοίχων, δαπέδων, ταρασών κ.τ.λ.

- **Εξηλασμένη πολυστερίνη**

Είναι αφρώδες μονωτικό υλικό, συγγενές με τη διογκωμένη πολυστερίνη, αλλά με πολύ καλύτερες ιδιότητες από αυτήν. Οι κρύσταλλοι της πολυστερίνης αναμειγνύονται με ειδικά βελτιωμένα πρόσθετα και διογκωτικά αέρια, δημιουργώντας ένα παχύρρευστο μίγμα. Το μίγμα ομογενοποιείται υπό αυτόματες και απόλυτα ελεγχόμενες συνθήκες

θερμοκρασίας και πίεσης και διαμορφώνεται τελικά σε πλάκες επιθυμητών διαστάσεων, που χρησιμοποιούνται για τη μόνωση τοίχων, δαπέδων, δωματίων και ψυκτικών θαλάμων.

Έχει δομή μικρών κλειστών κυψελίδων διαμέτρου 0,05 – 0,5 mm και στην τελική της μορφή η πολυστερίνη αποτελεί μόνο το 3 – 4% του συνολικού όγκου, ενώ ο υπόλοιπος όγκος καλύπτεται από αέρα. Δεν επηρεάζεται από βροχή, χιόνι ή παγωνιά, δεν απορροφά υγρασία και δεν πρέπει να εκτίθεται σε θερμοκρασίες μεγαλύτερες από 75°C.

- **Πολυστυρόλη**

Η πολυστυρόλη είναι ένα μονωτικό υλικό που αποτελείται από πολύ μικρές ισομεγέθεις και ομοιόμορφα κατανεμημένες κυψελίδες, το οποίο παρουσιάζει μεγάλη αντίσταση στην απορρόφηση υγρασίας και έχει μικρό συντελεστή θερμικής αγωγιμότητας ($\lambda = 0,027 - 0,038 \text{ W/mK}$). Παράγεται σε σκληρές πλάκες γαλάζιου χρώματος και χρησιμοποιείται στις οικοδομές (οροφές, τοίχοι, δάπεδα), τις αγροτικές εγκαταστάσεις και τη βιομηχανία.

- **Φαινολική ρητίνη**

Η φαινολική ρητίνη είναι αφρώδες μονωτικό υλικό, που παράγεται με ειδικά μηχανήματα στην οικοδομή και μεταφέρεται με σωλήνες σε υγρή μορφή μέχρι το σημείο τοποθέτησης, όπου αφροποιείται και στερεοποιείται σε χρόνο 60sec. Χρησιμοποιείται μεταξύ δομικών στοιχείων που παρουσιάζουν διάκενα και μπορεί να τοποθετηθεί ακόμα και σε κτίρια που κατοικούνται. Για την πλήρωση του διακένου ανοίγονται τρύπες διαμέτρου 2 cm σε απόσταση 1 m μεταξύ τους, στις οποίες διοχετεύεται το αφρώδες υλικό μέχρι να εμφανιστεί ο αφρός στις παραπλήσιες τρύπες.

- **Armaflex**

Είναι εύκαμπτο μονωτικό υλικό, που χρησιμοποιείται στις σωληνώσεις των θερμοϋδραυλικών εγκαταστάσεων και του κλιματισμού. Διατηρεί σταθερή τη θερμοκρασία του κυκλοφορούντος υγρού, μειώνει τους θορύβους από τη ροή του νερού στις υδραυλικές εγκαταστάσεις και δεν επιτρέπει το σχηματισμό συμπυκνώσεων στην επιφάνεια των σωλήνων κρύου νερού και κλιματισμού.

Τέλος, υπάρχει μία ομάδα θερμομονωτικών υλικών, που ονομάζονται *οικολογικά* γιατί καλύπτουν τα παρακάτω κριτήρια:

- Δεν απαιτούν μεγάλη ενέργεια για την παραγωγή τους.
- Δε μολύνουν το περιβάλλον κατά την παραγωγή τους.
- Είναι ανακυκλώσιμα.
- Δεν περιέχουν τοξικούς ή καρκινογόνους ρύπους.

Τα σπουδαιότερα οικολογικά υλικά είναι τα ακόλουθα:

- **Διογκωμένη άργιλος (εμπορική ονομασία: Lega)**

Είναι ένα αδρανές υλικό, που παράγεται από την πύρωση της φτωχής σε ασβέστιο αργίλου. Η πύρωση γίνεται σε φυγοκεντρικούς φούρνους και σε πολύ υψηλές θερμοκρασίες, οπότε το υλικό διογκώνεται και σκάει. Χρησιμοποιείται για την παρασκευή μονωτικού σκυροδέματος (αργιλομπετόν), τσιμεντόλιθων και ελαφρών προκατασκευασμένων στοιχείων.

- **Διογκωμένος φελλός**

Ο φυσικός φελλός παράγεται από το φλοιό του φελλοδρύ (φελλόδεντρο). Ο φελλός χρησιμοποιείται με τρεις τρόπους :

α) Με τη μορφή φελλοψηφίδας (τρίμματα φελλού),

β) Με τη μορφή φελλάλευρου (άλεσμα τριμμάτων φελλού),

γ) Με τη μορφή πλακών, που προκύπτουν από τη συμπίεση διογκωμένων τριμμάτων φελλού ή από την ανάμειξή τους με κατάλληλη συνδετική ύλη (π.χ. άργιλος, ρυτίνη). Η διόγκωση των τριμμάτων γίνεται με θέρμανσή τους στους 400 °C. Οι πλάκες διογκωμένου φελλού χρησιμοποιούνται για τη θερμομόνωση τοίχων, δαπέδων και ταρατσών, αλλά έχουν επίσης και εξαιρετικές ηχομονωτικές ικανότητες. Τέλος, χρησιμοποιούνται ακόμη στις ψυκτικές εγκαταστάσεις της βιομηχανίας και σε ψυκτικούς θαλάμους επαγγελματικής ή οικιακής χρήσης.

- **Λιναρόμαλλο**

Παράγεται από λινάρι.

- **Ρολό από υπολείμματα βαμβακιού**

- **Ρολό από ίνες κοκοφοίνικα**

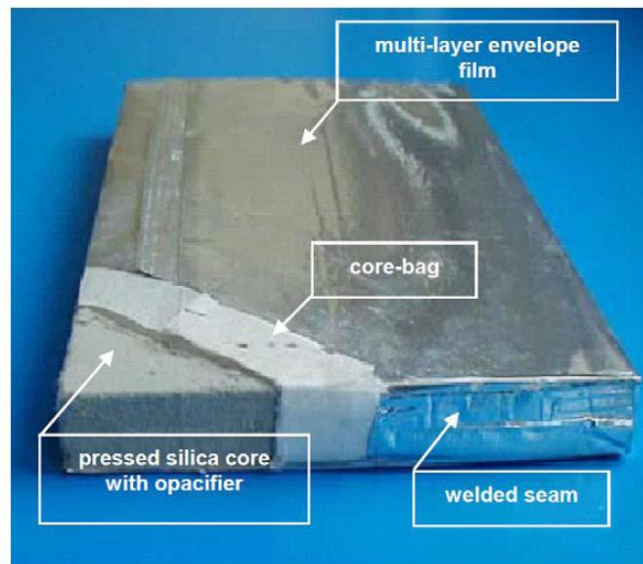
Θα πρέπει να σημειωθεί ότι όλα τα μονωτικά υλικά γερνάνε, χωρίς να γνωρίζουμε με ακρίβεια τους μηχανισμούς γήρανσης. Σίγουρο όμως είναι ότι υπάρχει συνεχής μεταβολή της αρχικής ισορροπίας των στερεών και αέριων συστατικών τους, που σημαίνει ότι ο συντελεστής θερμικής αγωγιμότητας k αυξάνεται συνεχώς.

6.4 Τα πιο εξελιγμένα θερμομονωτικά υλικά σήμερα [27,31,32]

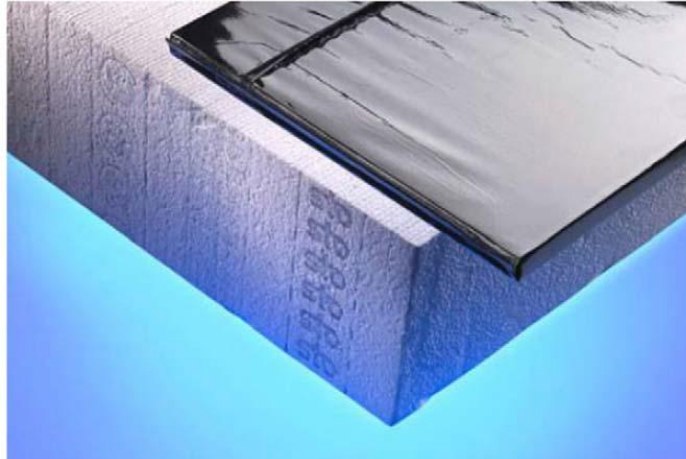
Σε αυτό το κεφάλαιο θα κάνουμε μια σύντομη περιγραφή των πιο πρόσφατων θερμομονωτικών υλικών που χρησιμοποιούνται στην κατασκευή σήμερα.

- **Vacuum insulation panel (VIP)**

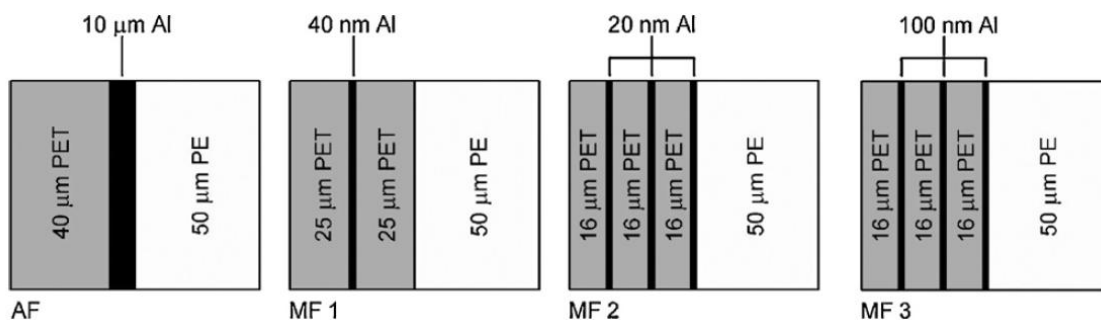
Το Vacuum insulation panel (VIP) αποτελείται από ένα ανοικτό πορώδη πυρήνα πυρογενούς πυριτίου, περικλειόμενο από πολλαπλά επίπεδα επιμεταλλωμένης πολυμερούς μεμβράνης (εικόνες 6.4.1, 6.4.2 και 6.4.3). Τα VIPs αντιπροσωπεύουν τα σημερινά πιο εξελιγμένα υλικά θερμομόνωσης, με την τιμή της θερμικής τους διαπερατότητας να κυμαίνεται μεταξύ 3 και 4 mW/mK), όταν είναι σε καλή κατάσταση και περίπου 8 mW/mK) μετά από 25 χρόνια χρησιμοποίησης. Η πτώση αυτή στην απόδοση οφείλεται σε υδρατμούς και διείσδυση του αέρα μέσω του πορώδους πυρήνα του.



Εικόνα 6.4.1 Τυπική VIP δομή όπου φαίνονται τα κύρια συστατικά του.

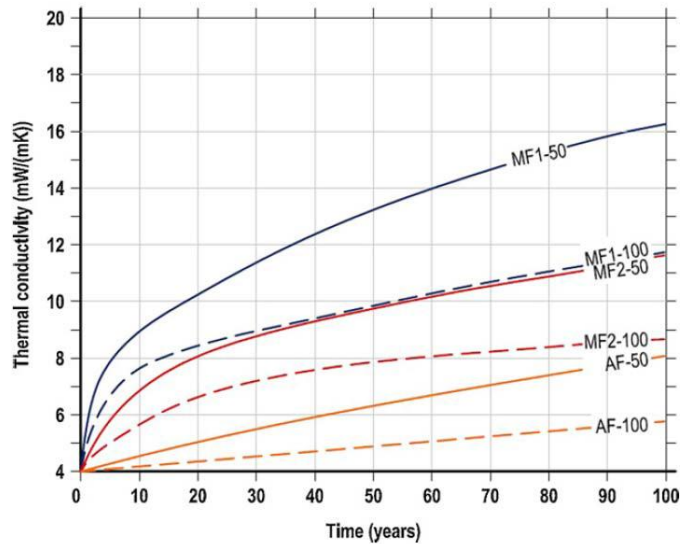


Εικόνα 6.4.2 Σύγκριση παχών μεταξύ παραδοσιακού θερμομονωτικού υλικού και VIP ιδίων θερμικών αντιστάσεων.



Εικόνα 6.4.3 Εγκάρσιες διατομές τυπικού κελύφους υλικών για VIPs: (α) μεταλλική ταινία, (β) μονού επιπέδου επιμεταλλωμένη ταινία και (γ και δ) τριπλού επιπέδου επιμεταλλωμένες ταινίες.

Ανάλογα με τον τύπο του VIP κελύφους, η τιμή της θερμικής διαπερατότητας μετά από 50 ή 100 χρόνια θα είναι περίπου ίδια ή σημαντικά υψηλότερη από αυτήν την τιμή (εικόνα 6.4.4). Αυτή η αναπόφευκτη αύξηση της θερμικής διαπερατότητας αντιπροσωπεύει ένα σημαντικό μειονέκτημα της όλα VIPs. Το τρύπημα ενός VIP κελύφους, το οποίο μπορεί να προκληθεί από καρφιά ή κάτι παρόμοιο, προκαλεί μια αύξηση της θερμικής διαπερατότητας, με τελική τιμή περίπου 20 mW/mK.



.Εικόνα 6.4.4 Θερμική διαπερατότητα των VIPs για δύο διαφορετικών μεγεθών πανέλα (50 cm × 50 cm × 1 cm και 100 cm × 100 cm × 2 cm) και για τρία υλικά κελύφους.

Ως αποτέλεσμα, τα VIPs δεν είναι δυνατό να κοπούν για να προσαρμοστούν στην πλευρά του εκάστωτε κτιρίου ή να διατρυπηθούν, χωρίς να χαθεί ένα μεγάλο μέρος της θερμομονωτικής τους απόδοσης . Αυτό αποτελεί ακόμα ένα σημαντικό μειονέκτημα των VIPs.

Αρκετοί συγγραφείς έχουν αρχίσει να ασχολούνται με διάφορες πτυχές των VIPs, από αναλυτικά μοντέλα, θερμογέφυρες και θερμική διαπερατότητα, διείσδυση αέρα και υγρασίας, μέχρι γήρανση και ποιοτικό έλεγχο και πως όλα μπορούν να εισάγουν τα VIPs στην κατασκευή κτηρίων. Παρόλα τα μεγάλα μειονεκτήματα των VIPs, συμπεριλαμβανομένου και του σχετικά υψηλού κόστους, πραγματοποιούν ένα μεγάλο άλμα προς τα εμπρός όσον αφορά τη θερμομόνωση που εφαρμόζεται σε κτίρια. Θερμικές διαπερατότητες με τιμές 5 και 10 φορές -ανάλογα με το χρόνο γήρανσης – μικρότερες από τις τιμές των παραδοσιακών θερμομονωτικών υλικών, όπως πετροβάμβακας και προϊόντα πολυστερολίου, θα είναι ιδιαίτερα σημαντικές στην προσπάθεια της επίτευξης των απαιτήσεων των παθητικών κατοικιών και των μη ενεργοβόρων ή αλλιώς πράσινων κτηρίων . Πάχος θερμομονωτικού υλικού που φτάνει 50 cm ή και παραπάνω, σε τοίχους και οροφές δεν είναι επιθυμητό (βλέπε εικόνα 6.4.2 για οπτική σύγκριση των παχών). Τα κτιριακά κελύφη με θερμομόνωση μεγάλου πάχους ενδέχεται να απαιτούν νέες τεχνικές κατασκευής και ιδιαίτερες δεξιότητες.

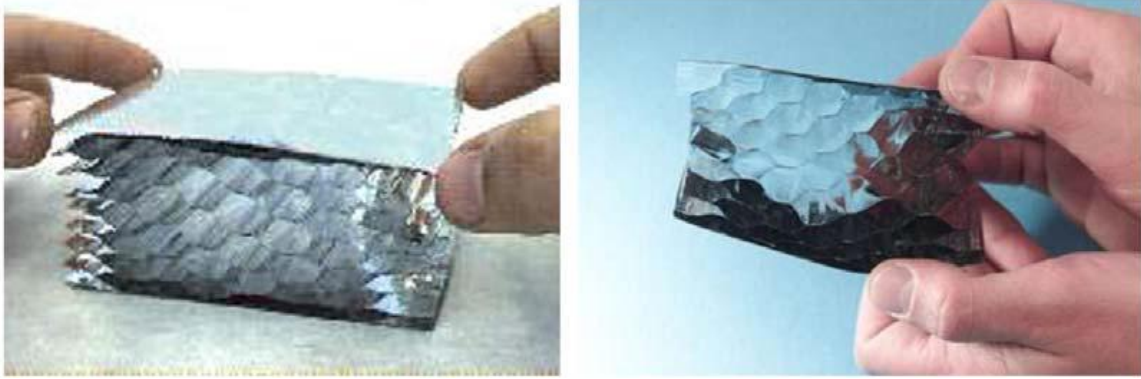
Επομένως, η μεταφορά στοιχείων τέτοιων κτιρίων οδηγεί σε αύξηση του κόστους, ενώ ενδέχεται να υπάρξουν προβλήματα λόγω περιορισμών ύψους όσον αναφορά τη μετακίνηση μέσω διαφόρων γεφυρών και σηράγγων. Κατασκευαστικοί περιορισμοί κατά τη διάρκεια επεμβάσεων σε υφιστάμενα κτίρια π.χ. από τις νόμιμες αρχές ή λόγω πρακτικών περιορισμών που αφορούν τους υαλοπίνακες και άλλα κατασκευαστικά κομμάτια μπορούν να απαιτούν θερμομονωτικά υλικά λεπτότερου πάχους και μεγάλης απόδοσης.

Έτσι, ακόμη και αν τα VIPs δεν είναι η τέλεια λύση για το μέλλον, μπορεί να είναι η καλύτερη λύση για πολλά κτιριακά κελύφη σήμερα και στο κοντινό μέλλον, τόσο όσον αφορά τη μείωση της θερμικής κατανάλωσης σήμερα, αλλά και από οικονομικής απόψεως.

- **Gas-filled panels (GFP)**

Το υλικό GFPs περιέχουν αέριο λιγότερο θερμικά αγωγίμο από τον αέρα, όπως π.χ. αργό, κρυπτό (Kr) και ξένο (Xe), αντί του κενού που χρησιμοποιείται στα VIPs. Η δομή των GFPs υλικών εμφανίζεται στην εικόνα 6.4.5.

Η διατήρηση της χαμηλής θερμοπερατότητας του αερίου στο εσωτερικό των GFPs και η αποφυγή διείσδυσης αέρα και υγρασίας μέσα σε αυτά έχουν ζωτική σημασία για την θερμική απόδοση των πανέλων αυτών. Το κενό αποτελεί καλύτερο θερμομονωτικό υλικό από τα διάφορα αέρια τα οποία περιέχονται σε GFPs. Από την άλλη πλευρά, η δομή πλέγματος των GFPs δεν χρειάζεται να ανταπεξέλθει σε εσωτερικά διάκενα, όπως συμβαίνει με τα VIPs. Χαμηλής εκπομπής επιφάνειες στο εσωτερικό των GFPs μειώνουν τη μεταφορά θερμότητας λόγω ακτινοβολίας. Οι θερμικές διαπερατότητες για πρότυπο GFPs υπολογίζονται πολύ υψηλές (παίρνουν τιμές 40 mW/mK), ωστόσο πολύ χαμηλότερες είναι οι θεωρητικές τιμές που έχουν υπολογιστεί. Ως εκ τούτου, τα GFPs διατηρούν πολλά πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα των VIPs. Ωστόσο, το μέλλον των GFPs ως θερμομονωτικά υλικά μπορεί να αμφισβητηθεί, σε σύγκριση με τα VIPs υλικά τα οποία αποτελούν καλύτερη επιλογή τόσο για το σήμερα όσο και το αύριο.



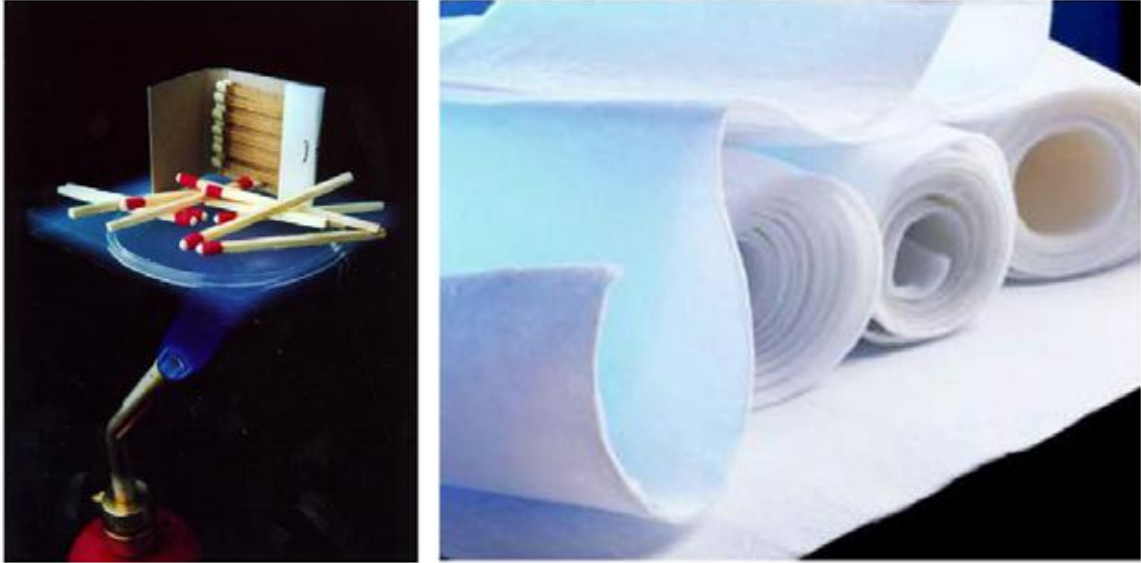
Εικόνα 6.4.5 Δομή ενός GFP

- **Aerogels**

Τα aerogels (εικόνα 6.4.6) αντιπροσωπεύουν μία τεχνολογία αιχμής όσον αφορά τα θερμομονωτικά υλικά και μπορεί να είναι η πλέον υποσχόμενη μεταξύ όλων των υφιστάμενων τεχνολογιών. Χρησιμοποιείται μαύρος άνθρακας προκειμένου να αποφευχθεί η μεταφορά θερμότητας λόγω ακτινοβολίας. Έχει τιμές θερμικής διαπερατότητας τόσο χαμηλές, που φτάνουν την τιμή των 4 mW/mK σε πίεση 50 mbar.

Ωστόσο, τα aerogels που είναι διαθέσιμα στο εμπόριο έχει παρατηρηθεί ότι παρουσιάζουν θερμική διαπερατότητα μεταξύ 13 και 14 mW/mK , σε πίεση περιβάλλοντος.

Το κόστος παραγωγής του aerogels θεωρείται ακόμη πολύ υψηλό. Τα aerogels έχουν μια σχετικά υψηλή αντοχή σε συμπίεση, αλλά είναι πολύ εύθραυστα λόγω της πολύ χαμηλής αντοχής σε εφελκυσμό. Η αντοχή σε εφελκυσμό μπορεί να αυξηθεί με την ενσωμάτωση μιας μήτρας ινών άνθρακα. Μια πολύ ενδιαφέρουσα πτυχή των aerogels είναι ότι μπορούν να παραχθούν είτε ως αδιαφανές, ημιδιαφανές ή διαφανές υλικά, επιτρέποντας ένα μεγάλο εύρος πιθανών εφαρμογών. Προκειμένου τα aerogels να διαδοθούν ως θερμομονωτικό υλικό για αδιαφανείς εφαρμογές, τα κόστη πρέπει να μειωθούν σημαντικά.



Εικόνα 6.4.6 (Αριστερά) Σπίρτα πάνω από Aerogel τα οποία προστατεύονται από τη φλόγα που βρίσκεται από κάτω-(Δεξιά) Παράδειγμα Aerogel ως υψηλής απόδοσης θερμομονωτικό υλικό.

- **PCMS**

Αυτή η κατηγορία αναλύεται διεξοδικά σε παρακάτω κεφάλαιο.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7: Θερμικά χαρακτηριστικά δομικών στοιχείων κτιριακού κελύφους

7.1 Βασικές έννοιες

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

- **Θερμότητα**

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

- **Μετάδοση θερμότητας**

Η μετάδοση θερμότητας γίνεται με τρεις τρόπους:

- Με αγωγή (αγωγιμότητα): Αυτή γίνεται από τα μόρια των σωμάτων και βασίζεται στην ιδιότητα τους να προσλαμβάνουν θερμότητα από γειτονικά μόρια υψηλότερης θερμοκρασίας και να μεταδίδουν τη θερμότητά τους σε γειτονικά μόρια χαμηλότερης θερμοκρασίας. Με αυτό τον τρόπο γίνεται η μετάδοση θερμότητας σε στερεά, υγρά και αέρια σώματα και ειδικά για τα στερεά είναι ο μοναδικός δρόμος ροής της θερμότητας δια μέσου της μάζας τους [33].
- **Με μεταφορά (συναγωγή):** Αυτή βασίζεται στη δυνατότητα μεταβίβασης της θερμότητας σε υγρά ή αέρια σώματα μέσω της μετακίνησης των θερμών μορίων. Οφείλεται δηλαδή στην κίνηση των μορίων και ονομάζεται συχνά μετάδοση με συναγωγή ή επαφή-μεταφορά. Στα κτίρια, με τη φυσική κυκλοφορία του αέρα διακινούνται σημαντικά ποσά θερμότητας [33]. Εκτός από τη φυσική κυκλοφορία του αέρα, που οφείλεται σε θερμοκρασιακές μεταβολές μέσα στους χώρους, μετακινήσεις του αέρα των χώρων προκαλούν και οι άνεμοι, οι κινήσεις των ανθρώπων, τα ανοίγματα θυρών και παραθύρων, η λειτουργία διάφορων συσκευών.
- **Με ακτινοβολία:** Γίνεται με ηλεκτρομαγνητικά κύματα χωρίς να απαιτείται η επαφή των σωμάτων. Κάθε σώμα με ορισμένη θερμοκρασία εκπέμπει θερμική ακτινοβολία η οποία προσπίπτοντας σε ένα άλλο σώμα μπορεί κατά ένα μέρος

να περάσει μέσα από αυτό, κατά ένα μέρος να ανακλαστεί και κατά ένα άλλο να απορροφηθεί [9].

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

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

- **Ειδική θερμότητα (c)**

Ονομάζεται το ποσό της θερμότητας που χρειάζεται για να αυξηθεί η θερμοκρασία της μονάδας μάζας ενός υλικού κατά 1°C. Οι μονάδες της ειδικής θερμότητας είναι το 1 kcal/kg °C ή 1 KJ/kg K [28].

- **Θερμοχωρητικότητα (Q)**

Είναι η ικανότητα ενός υλικού ή δομικού στοιχείου να αποθηκεύει θερμότητα που δέχεται από το περιβάλλον μέσα στη μάζα του και να την αποδίδει βαθμιαία με σημαντική χρονική καθυστέρηση. Η θερμοχωρητικότητα υπολογίζεται από τη σχέση: $Q=mc\Delta T$, όπου m είναι η μάζα του στοιχείου, c η ειδική θερμότητά του και ΔT η διαφορά θερμοκρασίας και μετράται σε kcal [28].

Είναι γνωστό ότι ο αέρας έχει τη μικρότερη θερμοχωρητικότητα και το νερό τη μεγαλύτερη. Ο χάλυβας έχει μικρότερη θερμοχωρητικότητα από το νερό. Επίσης το σκυρόδεμα έχει περίπου 20% μεγαλύτερη θερμοχωρητικότητα από την πέτρα και 48% μεγαλύτερη από το τούβλο. Τέλος η πέτρα έχει 23% περίπου μεγαλύτερη θερμοχωρητικότητα από το τούβλο [33].

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

όταν ο εσωτερικός χώρος θερμαίνεται διαρκώς και η θερμοκρασία του αέρα είναι σταθερή, εξαρτάται κυρίως από τη θερμομονωτική ικανότητα του τοίχου και την εξωτερική θερμοκρασία. Όταν, όμως, η θέρμανση είναι περιοδική και η εξωτερική θερμοκρασία μεταβάλλεται, η θερμοκρασία αυτή επηρεάζεται και από τη θερμοχωρητικότητα του τοίχου [5].

Στην περίπτωση όπου η θερμοχωρητικότητα είναι αυξημένη, ο ρυθμός θέρμανσης και ψύξης του χώρου είναι αργός και τις ζεστές ημέρες παρατηρείται ελαττωμένη θέρμανση του χώρου [5]. Η αυξημένη θερμοχωρητικότητα συντελεί στην εξισορρόπηση της θερμοκρασίας κατά τις απότομες εναλλαγές θερμότητας-ψύχους. Τα σύγχρονα δομικά υλικά, επειδή έχουν μικρό βάρος, παρουσιάζουν και μικρή θερμοχωρητικότητα.

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

- **Θερμική αδράνεια**

Είναι ο ρυθμός με τον οποίο ένα δομικό στοιχείο απορροφά ή αποβάλλει θερμότητα. Εξαρτάται από το πάχος, την πυκνότητα, την αγωγιμότητα και τη θερμοχωρητικότητα του στοιχείου. Αλλιώς ονομάζεται και θερμική διείδυση [9].

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

- **Περιοδική ροή θερμότητας [9]**

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

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

- **Χρονική καθυστέρηση [9]**

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

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

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

- **Συντελεστής μείωσης της θερμοκρασίας**

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

Προσδιορίζει τη χρονική διάρκεια που μεσολαβεί από τη στιγμή της εμφάνισης της μέγιστης εξωτερικής θερμοκρασίας μέχρι τη στιγμή της μέγιστης εσωτερικής επιφανειακής θερμοκρασίας του τοιχώματος [9].

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

Οι αυξομειώσεις της θερμοκρασίας του εξωτερικού περιβάλλοντος πρέπει να επιδρούν στον εσωτερικό χώρο με όσο το δυνατόν μειωμένη ένταση. Το μέτρο αυτής της έντασης καθορίζεται από τη «θερμική αδράνεια» των μελών της κατασκευής. Συγχρόνως, υπάρχει μια διαφορά φάσης στις χρονικές στιγμές όπου παρουσιάζεται η μέγιστη θερμοκρασία στην εξωτερική και η μέγιστη θερμοκρασία στην εσωτερική πλευρά του μέλους της κατασκευής. Όσο πιο μεγάλη είναι η τιμή της «θερμικής αδράνειας», τόσο πιο μεγάλη είναι η απόσβεση του πλάτους μεταβολής της θερμοκρασίας, καθώς και η διαφορά φάσης [9].

Η χρήση υλικών με μεγάλη θερμοχωρητικότητα έχει τεράστια σημασία καθώς το κτίριο παίζει το ρόλο του θερμοσυσσωρευτή. Κατά τη διάρκεια του χειμώνα η αποθηκευμένη θερμότητα αποδίδεται στο εσωτερικό του κτιρίου αργά το απόγευμα ή το βράδυ δηλαδή όταν χρειάζεται περισσότερο και το καλοκαίρι αποδίδεται τις βραδινές ώρες που οι εξωτερικές συνθήκες είναι καταλληλότερες για φυσικό αερισμό και για την απόρριψη της στο περιβάλλον. Το κτίριο δηλαδή λειτουργεί σαν τα σπήλαια τα οποία και παρέχουν σταθερό κλίμα όλη τη διάρκεια του έτους [9].

- **Θερμογέφυρες [21]**

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

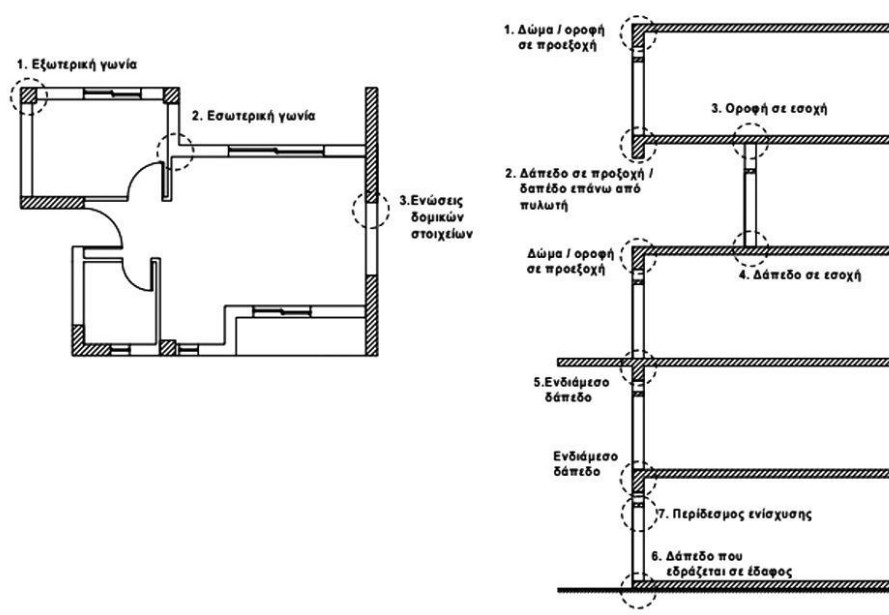
Οι θερμογέφυρες αποτελούν τα «ασθενή σημεία» του κελύφους και λειτουργούν επιβαρυντικά στη θερμική του προστασία καθώς επηρεάζουν την ενεργειακή του συμπεριφορά και προκαλούν μείωση της θερμικής άνεσης στο εσωτερικό του κτιρίου.

Παρουσιάζονται συνήθως στις απολήξεις των πλακών, τα όρια της εξωτερικής τοιχοποιίας, τις ποδιές ανοιγμάτων, τα πρέκια κ.ά. Στην περιοχή της θερμογέφυρας, λόγω της αυξημένης ροής της θερμότητας, παρουσιάζονται στις εσωτερικές πλευρές του τοιχώματος χαμηλότερες επιφανειακές θερμοκρασίες, με αποτέλεσμα τη συχνή εμφάνιση τοπικής υγρασίας και αυξημένες θερμικές απώλειες. Έχει αποδειχτεί με μελέτες ότι οι θερμογέφυρες αυξάνουν την πραγματική ενεργειακή κατανάλωση του κελύφους του κτιρίου σε ποσοστό μεταξύ 5-30%.

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

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

Οι γεωμετρικές δημιουργούνται σε θέσεις όπου η γεωμετρία του δομικού υλικού παύει να είναι γραμμική (θέση κάθετης τομής δυο εξωτερικών δομικών στοιχείων με τη συνέχεια της θερμομόνωσης να μη διακόπτεται δηλαδή σε γωνία). Ενδεικτικές θέσεις εμφάνισης θερμογεφυρών παρουσιάζονται στη εικόνα 7.1.1.



Εικόνα 7.1.1 Θέσεις εμφάνισης θερμογεφυρών [21]

- **Υγρασία**

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

Με την αύξηση της θερμοκρασίας του αέρα αυξάνεται η δυνατότητά του να παραλαμβάνει υγρασία, ενώ με τη μείωση της θερμοκρασίας του μπορεί να επέλθει κορεσμός και, στη συνέχεια, να εμφανισθεί υγροποίηση των υδρατμών (εμφάνιση σταγόνων στην επιφάνεια των ψυχρότερων αντικειμένων ή τοιχωμάτων) [9].

- **Διάχυση υδρατμών [33]**

Είναι ένα φαινόμενο που δημιουργείται εξαιτίας της διαφοράς πίεσης των υδρατμών στις δυο πλευρές ενός ατμοδιαπερατού δομικού στοιχείου ή μεταξύ των δύο πλευρών ενός τοιχώματος. Κατά την εξέλιξη του φαινομένου αυτού όταν εμφανιστούν θερμοκρασίες

χαμηλότερες του σημείου δρόσου (κορεσμού) παρατηρείται υγραποίηση των διαχεόμενων υδρατμών μέσα στη μάζα του δομικού στοιχείου. Ένα μέρος των υδρατμών δηλαδή συμπυκνώνεται δημιουργώντας την υγρασία εσωτερικής συμπύκνωσης που εισχωρεί στους πόρους των υλικών και ή εγκλωβίζεται ή απομακρύνεται αργότερα με εξάτμιση ή μέσω των τριχοειδών δυνάμεων.

Η συμπύκνωση των υδρατμών είναι ανεκτή όταν δεν προκαλεί μείωση της αντοχής των δομικών υλικών, διάβρωση, μούχλα και μείωση της θερμομονωτικής τους ικανότητας. Στους τοίχους με πορώδη υλικά μια περιορισμένη συμπύκνωση είναι ανεκτή και αποδεκτή εφόσον η υγρασία εξατμίζεται από την εξωτερική παρειά και καμιά από τις δυο πλευρές του τοίχου δεν έχει επιχρισθεί με αδιαπέρατο, ανθυγραντικό επίχρισμα [8].

7.2 Βασικά χαρακτηριστικά των δομικών στοιχείων του κελύφους

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

- **Συντελεστής θερμικής αγωγιμότητας**

Ο συντελεστής θερμικής αγωγιμότητας δίνει την ποσότητα της θερμότητας η οποία ρέει σε μία ώρα μέσα από στρώμα υλικού που έχει επιφάνεια 1m^2 και πάχος 1m , όταν η πτώση της θερμοκρασίας προς την κατεύθυνση της ροής της θερμότητας (διαφορά θερμοκρασίας των δύο επιφανειών) είναι ένας βαθμός Κέλβιν και το σύστημα βρίσκεται σε μόνιμη κατάσταση, δηλαδή η θερμοκρασία τοπικά παραμένει σταθερή με το χρόνο. Ο συντελεστής θερμικής αγωγιμότητας μετράται σε W / mK [33].

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

- **Συντελεστής θερμικής θερμοδιαφυγής (Λ)**

Ο συντελεστής θερμοδιαφυγής δίνει την ποσότητα της θερμότητας ,η οποία ρέει σε 1 ώρα μέσα από στρώμα υλικού που έχει επιφάνεια 1m^2 και πάχος $d \text{ m}$, όταν μεταξύ των δύο επιφανειών υπάρχει διαφορά θερμοκρασίας ενός βαθμού Κέλβιν και το σύστημα

βρίσκεται σε μόνιμη κατάσταση. Ο συντελεστής θερμοδιαφυγής μετράται σε βατ ανά τετραγωνικό μέτρο και βαθμό Κέλβιν (W/m^2K) [5].

Για θερμικά ομογενές υλικό δίνεται από τον τύπο :

$$\Lambda = \lambda/d \quad (7.2.1)$$

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

- **Αντίσταση θερμοδιαφυγής ή θερμική αντίσταση (R)**

Ως αντίσταση θερμοδιαφυγής ορίζεται το αντίστροφο του συντελεστή θερμοδιαφυγής. Η αντίσταση θερμοδιαφυγής μετράται σε τετραγωνικά μέτρα επί βαθμούς Κέλβιν ανά βατ (m^2K/W) [5]. Το μέγεθος αυτό εκφράζει τη θερμομονωτική ικανότητα του υλικού ή του τοιχώματος .

- **Συντελεστής θερμικής μεταβίβασης, (α) [33]**

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

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

- **Αντίσταση θερμικής μεταβίβασης, $1/\alpha$**

Ως αντίσταση θερμικής μεταβίβασης ορίζεται το αντίστροφο του συντελεστή θερμικής μεταβίβασης. Η αντίσταση θερμικής μεταβίβασης μετράται σε τετραγωνικά μέτρα επί βαθμούς Κέλβιν ανά βατ (m^2K/W) [5].

- **Συντελεστής θερμικής διάχυσης (a)**

Ο συντελεστής αυτός συσχετίζει τις μεταβολές της θερμοκρασίας και τις συναλλαγές θερμότητας μεταξύ στερεών και ρευστών με το χρόνο [33]. Χρησιμοποιείται όταν

υπάρχουν μεταβολές στο θερμοκρασιακό πεδίο (μεταβατικές καταστάσεις) και οι συντελεστές α και λ δεν μας καλύπτουν.

- **Συντελεστής θερμοπερατότητας , U**

Ο συντελεστής θερμοπερατότητας δίνει την ποσότητα της θερμότητας, η οποία διέρχεται σε 1 ώρα μέσα από επιφάνεια 1m^2 της κατασκευής, όταν η διαφορά θερμοκρασίας του αέρα, που βρίσκεται στη μία και στην άλλη πλευρά της κατασκευής, είναι ένας βαθμός Κέλβιν και το σύστημα βρίσκεται σε μόνιμη κατάσταση. Ο συντελεστής θερμοπερατότητας μετριέται σε $\text{W/ m}^2\text{K}$ [5].

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

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

- **Αντίσταση θερμοπερατότητας $1/U$**

Ως αντίσταση θερμοπερατότητας ορίζεται το αντίστροφο του συντελεστή θερμοπερατότητας. Η αντίσταση θερμοπερατότητας μετριέται $\text{m}^2\text{K/W}$ [8].

- **Συντελεστής αντίστασης στη διάχυση υδρατμών (μ):**

Όσο μεγαλύτερη αντίσταση στη διάχυση υδρατμών παρουσιάζει ένα υλικό τόσο πιο «στεγνό» παραμένει , δηλαδή τόσο λιγότερο ευαίσθητο είναι το υλικό στην υγρασία. Ο συντελεστής αυτός είναι σχετικό μέγεθος αδιάστατο και δίνει κατά πόσο μεγαλύτερη είναι η αντίσταση στη διάχυση υδρατμών ενός στρώματος του υλικού σε σχέση προς το στρώμα αέρα ίσου πάχους($\mu_{\text{αέρα}}=1$).Ο συντελεστής μ αυξάνεται όσο μειώνεται η διάμετρος των πόρων του υλικού και αντιστρόφως. Επίσης εξαρτάται και από την υγρασία και τη θερμοκρασία [8].

- **Συντελεστής γραμμικής διαπερατότητας Ψ**

Για τον υπολογισμό των θερμικών απωλειών λόγω θερμογέφυρων είναι απαραίτητη η γνώση του συντελεστή γραμμικής διαπερατότητας κάθε θερμογέφυρας. Ο κάθε τύπος θερμογέφυρας εκφράζεται με ένα συντελεστή γραμμικής διαπερατότητας Ψ . Μετριέται σε W/mK [21].

- **Μέσος συντελεστής θερμοπερατότητας κτιρίου, U_m**

Ο μέσος συντελεστής θερμοπερατότητας όλου του κτιρίου προκύπτει από τον συνυπολογισμό όλων των συντελεστών των επιμέρους δομικών στοιχείων του κελύφους του κτιρίου κατά την ποσοστιαία αναλογία των αντίστοιχων εμβαδών τους [21]. Στον υπολογισμό του λαμβάνονται και οι γραμμικές θερμογέφυρες και κυρίως αυτές στα όρια της περιμέτρου των δομικών στοιχείων. Οι επιτρεπόμενες τιμές του U_m δίνονται από τον Κ.Ε.Ν.Α.Κ. κατά κλιματική ζώνη και συναρτήσει του λόγου της περιβάλλουσας επιφάνειας του κτιρίου προς τον όγκο του .

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

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

- **Συντελεστής θερμικής αγωγιμότητας (λ ή k)**

Ο συντελεστής θερμικής αγωγιμότητας, λ , είναι χαρακτηριστικό μέγεθος του υλικού και εξαρτάται από τη φύση (μοριακή δομή) του υλικού, την υγρασία, τη θερμοκρασία, το ειδικό βάρος και την πίεση. Για δεδομένο υλικό και σταθερή πίεση (στα κτίρια συνήθως η πίεση λαμβάνεται ίση με την ατμοσφαιρική) οι μεταβολές του εξαρτώνται από τις μεταβολές της θερμοκρασίας [33].

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

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

- Φυσικοί λίθοι : $\lambda = 2,7$ μέχρι $4,1$ (W/mK),

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

Ο συντελεστής θερμικής αγωγιμότητας παίζει πολύ σημαντικό ρόλο στη θερμομονωτική ικανότητα του υλικού (από αυτόν εξαρτάται και η αντίσταση θερμοδιαφυγής). Όσο μικρότερη είναι η τιμή του λ , τόσο περισσότερο αποτελεσματικό είναι το υλικό ως θερμομονωτικό. Ο συντελεστής θερμικής αγωγιμότητας, όπως αναφέρθηκε και προηγουμένως δεν είναι σταθερό μέγεθος αλλά μια γραμμική συνάρτηση που αυξάνεται σε συνάρτηση με τη θερμοκρασία. Άρα όσο αυξάνεται η θερμοκρασία, αυξάνεται ο συντελεστής θερμικής αγωγιμότητας και μειώνεται η θερμομονωτική ικανότητα του υλικού [9].

Η θερμική αγωγιμότητα επηρεάζεται αρνητικά από την υγρασία. Η θερμική αγωγιμότητα του νερού είναι $0,57$ W/mK, δηλαδή 24 φορές μεγαλύτερη από αυτή του ακίνητου αέρα που κανονικά υπάρχει στους πόρους του υλικού ($\lambda=0,024$ W/mk). Ακόμη πιο καταστροφικός είναι ο παγετός. Στην πράξη τα θερμομονωτικά υλικά απορροφούν υγρασία παρά τη χρήση φράγματος υδρατμών [9]. Επίσης λόγω των ιδιοτήτων τους και του τρόπου κατασκευής τους τα περισσότερα μονωτικά υλικά γερνάνε εξαιτίας μηχανικών αλληλεξαρτήσεων και θερμοκρασιακών αλλαγών. Έτσι αλλοιώνεται η αρχική ισορροπία των στερεών και των αέριων συστατικών. Σε γενικές γραμμές μπορούμε να πούμε ότι ο συντελεστής θερμικής αγωγιμότητας πάντοτε αυξάνεται και ποτέ δεν μειώνεται.

- **Συντελεστής θερμοπερατότητας U**

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

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

- **Πάχος θερμομονωτικού υλικού (w)**

Το πάχος του θερμομονωτικού υλικού, όπως και η θερμική του αγωγιμότητα, παίζει κι αυτό σημαντικό ρόλο στη θερμομονωτική ικανότητά του, δεδομένου ότι η αντίσταση θερμοδιαφυγής ενός υλικού είναι το πηλίκο του πάχους του προς το συντελεστή θερμικής αγωγιμότητας του υλικού ($1/\Lambda = w/\lambda$). Γενικά όσο μεγαλύτερο είναι το πάχος του τόσο περισσότερο αποδοτικό από άποψη μόνωσης είναι το υλικό. Αυτό όμως σημαίνει αύξηση του πάχους των τοιχωμάτων (κόστος χώρου) και αύξηση της ποσότητας του θερμομονωτικού υλικού (κόστος υλικού). Σε κεντρικές κτιριακές εγκαταστάσεις το συνολικό πάχος των τοιχωμάτων έχει τεράστια οικονομική σημασία, γιατί το κόστος του διατιθέμενου ωφέλιμου εμβαδού είναι πολύ υψηλό. Στις περιπτώσεις αυτές δικαιολογείται η χρήση ισχυρών μονωτικών υλικών μεγάλου κόστους, γιατί προέχει η εξοικονόμηση χώρου [9]. Όταν το πρόβλημα του χώρου δεν είναι βασικό, αναζητείται ο αποδεκτός συσχετισμός κόστους κατασκευής και εξοικονόμησης ενέργειας. Αξίζει να σημειωθεί ότι τα ενεργειακά κέρδη από την τοποθέτηση της θερμομόνωσης, δεν είναι ευθέως ανάλογα με το πάχος του μονωτικού υλικού, καθώς μετά από κάποια τιμή του πάχους η εξοικονομούμενη ενέργεια είναι ασήμαντη.

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

➤ **Συντελεστές ανακλαστικότητας, απορροφητικότητας και εκπομπής**

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

Τα υλικά των εξωτερικών επιφανειών δέχονται την προσπίπτουσα ηλιακή ακτινοβολία της οποίας ένα μέρος απορροφούν κι ένα άλλο ανακλούν. Το πηλίκο της αναρροφούμενης προς την προσπίπτουσα ακτινοβολία ονομάζεται απορροφητικότητα του υλικού. Το πηλίκο της ανακλώμενης προς την προσπίπτουσα ακτινοβολία

ονομάζεται *ανακλαστικότητα* του υλικού [2]. Γενικά η χρήση υλικών με μεγάλη ανακλαστικότητα, βοηθά σημαντικά στη μείωση της θερμοκρασίας του εσωτερικού χώρου [9].

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

Τα τελευταία χρόνια έχουν αναπτυχθεί υλικά με προηγμένα οπτικά χαρακτηριστικά και αυξημένη ανακλαστικότητα στην ηλιακή ακτινοβολία, τα οποία ονομάζονται *ψυχρά υλικά*. Τα υλικά αυτά αφορούν τα χρώματα, τις μεμβράνες οροφής, τις πλάκες και τα κεραμίδια. Τα ψυχρά υλικά, εφαρμοζόμενα στο κτιριακό κέλυφος αποτελούν ειδική τεχνική θερμικής προστασίας, η οποία μειώνει την εισερχόμενη στο κτίριο ηλιακή ακτινοβολία και αποτελεί συμπληρωματική τεχνική ηλιοπροστασίας [9]. Οι χώροι που έχουν άμεσα οφέλη από την τοποθέτηση ψυχρών οροφών είναι αυτά του τελευταίου ορόφου, αυτά δηλαδή που εκτίθενται άμεσα στην προσπίπτουσα ηλιακή ακτινοβολία

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

Πίνακας 7.3.1 Συντελεστές ανακλαστικότητας και απορροφητικότητας δομικών στοιχείων [21]

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

Πίνακας 7.3.2 Συντελεστής εκπομπής για δομικά υλικά [21]

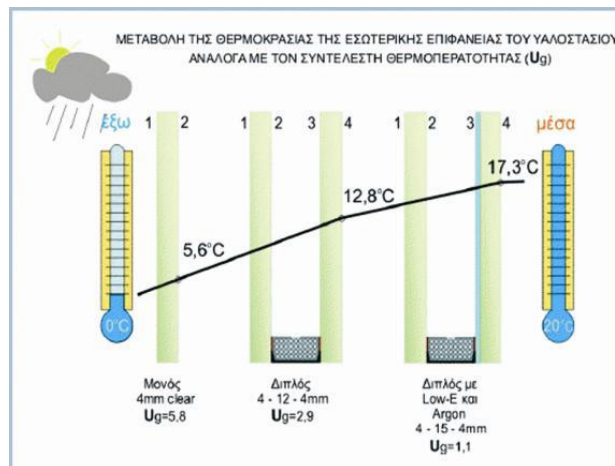
Περιγραφή επιφάνειας	Συντελεστής εκπομπής
Σύνηθες δομικό υλικό	0,80
Γυαλί	0,90
Στιλπνές μεταλλικές επιφάνειες	0,20
Γαρμπίλι	0,30

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

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

- **Συντελεστής θερμοπερατότητας υαλοπινάκων U_g**

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



Εικόνα 7.4.1. Μεταβολή της θερμοκρασίας εσωτερικής επιφάνειας υαλοπίνακα σε συνάρτηση με τον συντελεστή θερμοπερατότητας [34]

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

Πίνακας 7.4.2 Συντελεστής θερμοπερατότητας για διαφορετικά είδη υαλοπινάκων [21]

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

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

- **Συντελεστής θερμοπερατότητας κουφώματος U_w [21]**

Η τιμή του συντελεστή θερμοπερατότητας του κουφώματος προκύπτει από τους συντελεστές θερμοπερατότητας του πλαισίου (U_f) του κουφώματος και του υαλοπίνακα κατά την ποσοστιαία αναλογία των εμβαδών των δύο υλικών στην επιφάνεια του κουφώματος, λαμβανομένης υπόψη και της γραμμικής θερμογέφυρας που αναπτύσσεται μεταξύ πλαισίου και υαλοπίνακα.

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

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

Πίνακας 7.4.3 Συντελεστής θερμοπερατότητας κουφωμάτων [21]

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

- **Συντελεστής ηλιακού θερμικού κέρδους του κουφώματος gw**

Εκφράζει τη μέση τιμή του λόγου της ηλιακής ακτινοβολίας που περνά από την επιφάνεια του κουφώματος προς την ηλιακή ακτινοβολία που προσπίπτει σε αυτό. Η τιμή του εξαρτάται από το είδος του υαλοπίνακα και το ποσοστό του πλαισίου επί του κουφώματος.

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

$$g_w = g_{gl} (1 - F_f) \quad (7.4.1)$$

όπου: F_f το ποσοστό πλαισίου στο κούφωμα,

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

Πίνακας 7.4.4 Συντελεστές ηλιακού θερμικού κέρδους κουφωμάτων και υαλοπινάκων [21]

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

- **Συντελεστής ηλιακού θερμικού κέρδους ggl**

Ο συντελεστής ηλιακού θερμικού κέρδους του υαλοπίνακα g_{gl} εκφράζει τη μέση τιμή του λόγου της ηλιακής ακτινοβολίας που περνά από την επιφάνεια του υαλοπίνακα προς την ηλιακή ακτινοβολία που προσπίπτει σε αυτόν και λαμβάνεται ίση με το 90% του συντελεστή ηλιακού κέρδους g σε κάθετη πρόσπτωση ηλιακής ακτινοβολίας [21].

Πίνακας 7.4.5 Συντελεστής ηλιακού θερμικού κέρδους σε συνάρτηση με το ποσοστό πλαισίου [21]

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

- **Ποσοστό υαλοπινάκων P_f**

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

- **Συντελεστής εκπομπής**

Ο συντελεστής εκπομπής e δηλώνει το ποσοστό (%) της επανεκπεμπόμενης ενέργειας. Για παράδειγμα η τιμή e της δυνατότητας εκπομπής (emissivity) ενός κοινού υαλοπίνακα είναι 0,89. Αυτό πρακτικά σημαίνει ότι το 89% της ενέργειας που απορροφάται από την μάζα του υαλοπίνακα, επανεκπέμπεται προς το περιβάλλον [34].

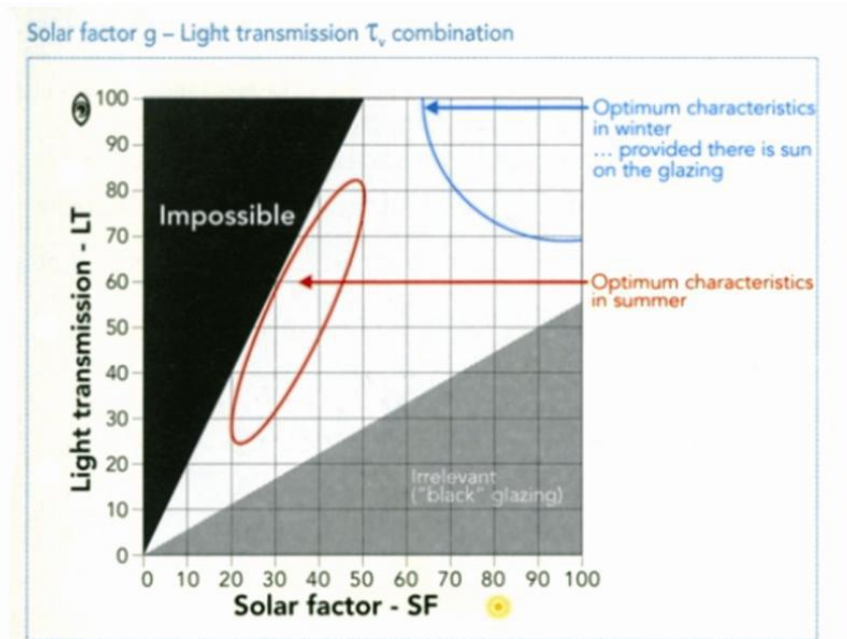
Γενικά όσο χαμηλότερο συντελεστή εκπομπής έχει ένας υαλοπίνακας τόσο λιγότερες απώλειες έχουμε. Για τη μείωση του συντελεστή εκπομπής των υαλοπινάκων χρησιμοποιούνται επιστρώσεις low –e.

- **Επιλεκτικότητα [34]**

Η ποσότητα του φωτός που περνάει από έναν υαλοπίνακα εκφράζεται με τον *συντελεστή φωτοπερατότητας* LT (Light Transmission). Η σχέση ανάμεσα στον συντελεστή διερχόμενου φωτός (LT Light Transmission) και στον ηλιακό συντελεστή (g Solar Factor) ενός υαλοπίνακα αποκαλείται επιλεκτικότητα (selectivity) ενός υαλοπίνακα.

$$\text{Selectivity} = \text{Light Transmission (LT)} / \text{Solar Factor (SF ή g)} \quad (7.4.2)$$

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



Εικόνα 7.4.6 Επίδραση του συντελεστή φωτοπερατότητας σε συνάρτηση με τον ηλιακό συντελεστή [34]

- **Προσανατολισμός υαλοπινάκων**

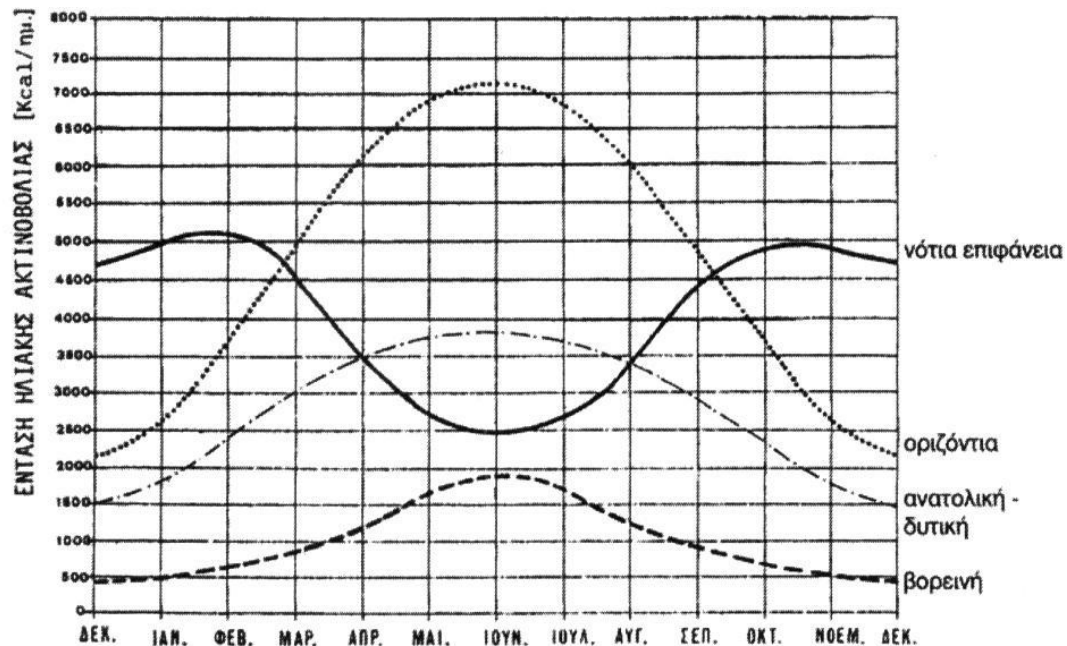
Ο προσανατολισμός των υαλοπινάκων παίζει ιδιαίτερα σημαντικό ρόλο καθώς από αυτόν εξαρτάται η ηλιακή ακτινοβολία που προσπίπτει στους υαλοπίνακες και κατά συνέπεια τα θερμικά κέρδη λόγω υαλοπινάκων.

Για να εξασφαλίσουμε μεγάλα ηλιακά κέρδη το χειμώνα και μικρά το καλοκαίρι, χρησιμοποιούνται μεγάλα ανοίγματα στο νότο, μέτρια στην ανατολή και δύση και μικρά ως καθόλου ανοίγματα στο βορρά. Τα νότια προσανατολισμένα ανοίγματα επιτυγχάνουν σημαντική εξοικονόμηση ενέργειας για θέρμανση του κτιρίου, μειώνουν τον κίνδυνο

υπερθέρμανσης το καλοκαίρι και είναι αρκετά για να καλύψουν το θερμικό φορτίο του κτιρίου την άνοιξη και το φθινόπωρο σε ήπια κλίματα μειώνοντας έτσι την περίοδο χρήσης του συστήματος θέρμανσης.

Οι βόρειοι υαλοπίνακες επιτρέπουν την είσοδο μόνο της διάχυτης ηλιακής ακτινοβολίας και όχι της άμεσης και για αυτό χρησιμοποιούνται κυρίως για την παροχή φυσικού φωτισμού. Είναι περισσότερο χρήσιμα για αερισμό το καλοκαίρι όμως λόγω των θερμικών απωλειών που παρουσιάζουν το χειμώνα θα πρέπει να έχουν περιορισμένο μέγεθος [21].

Οι ανατολικοί και οι δυτικοί υαλοπίνακες χρησιμοποιούνται για τη βελτίωση της οπτικής άνεσης και του φυσικού φωτισμού καθώς έχουν λιγότερα πλεονεκτήματα σε σχέση με τους νότιους [9]. Οι δυτικά προσανατολισμένοι υαλοπίνακες έχουν ως μειονέκτημα κυρίως ότι αυξάνουν την θερμοκρασία του κτιρίου το καλοκαίρι και άρα και το ψυκτικό φορτίο αφού επιτρέπουν την είσοδο της άμεσης ακτινοβολίας τις απογευματινές ώρες.



Εικόνα 7.4.7 Ηλιακή ακτινοβολία συναρτήσει του προσανατολισμού της επιφάνειας [9]

- **Συντελεστές σκίασης [21]**

Σύμφωνα με τον Κ.ΕΝ.Α.Κ. οι συντελεστές σκίασης καθορίζονται ανάλογα με το είδος των σκιάστρων (οριζόντια, πλευρικά εξωτερικά εμπόδια και σκίαστρα) και την γεωμετρία τους. Επειδή ανάλογα με την εποχή οι συντελεστές σκίασης αλλάζουν, καθορίζονται για κάθε εξωτερική επιφάνεια με ορισμένο προσανατολισμό, οι αντίστοιχοι μέσοι συντελεστές σκίασης, ένας για τη χειμερινή περίοδο και ένας για τη θερινή περίοδο, ανάλογα με το είδος σκιάστρου. Στην περίπτωση ταυτόχρονης ύπαρξης προβόλου και εξωτερικού σκιάστρου η σκίαση λόγω προβόλου αγνοείται. Ο συνολικός σκιασμός δομικού στοιχείου προκύπτει ως το γινόμενο των τριών συντελεστών σκίασης:

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

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

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 8: Κύριες παράμετροι κελύφους

8.1 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 αντιθέτως 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 [35].

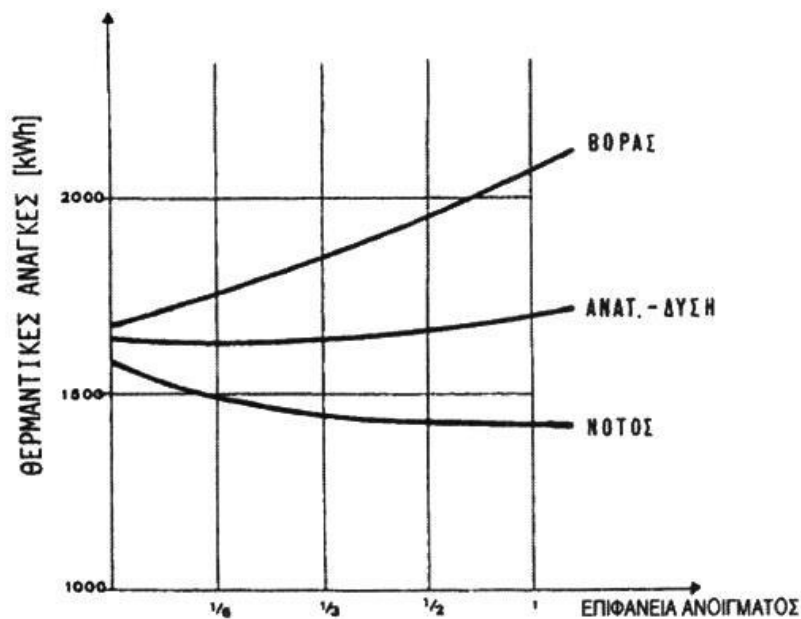
Όσον αφορά τα χαρακτηριστικά της μόνωσης όπως έχουμε αναφέρει ο συντελεστής θερμικής αγωγιμότητας του μονωτικού υλικού εξαρτάται από το είδος του υλικού που χρησιμοποιείται και δύναται να μεταβληθεί η τιμή του με μεταβολή του υλικού ενώ αντίστοιχα το πάχος καθορίζεται από την επιδιωκόμενη θερμική προστασία 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.

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 21η 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 [35].

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 [35].



Εικόνα 7.5.1 Ενεργειακή κατανάλωση συναρτήσει του ποσοστού επιφάνειας ανοίγματος και του προσανατολισμού [9]

8.2 Ο κανονισμός ενεργειακής απόδοσης κτιρίων (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 κτηρίων. 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. [21]

Ο ΚΕνΑΚ στοχεύει στη διαμόρφωση του πλαισίου αρχών και στον καθορισμό των όρων και των προϋποθέσεων βελτίωσης της ενεργειακής απόδοσης των κτιρίων. Ειδικότερα, σκοπό του ΚΕνΑΚ αποτελεί η 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 σκοπούς αυτούς: [36]

- 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 κτιρίων καθώς και των ριζικά ανακαινιζόμενων
- Ορίζεται το περιεχόμενο της μελέτης ενεργειακής απόδοσης των κτιρίων, η οποία θα πρέπει να εκπονείται για κάθε νέο κτίριο, καθώς και για κάθε υφιστάμενο κτίριο που ανακαινίζεται ριζικά.
- 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.

Οι βασικές παράμετροι που λαμβάνονται υπόψη στον υπολογισμό της ενεργειακής απόδοσης των κτιρίων είναι οι εξής:

- Η χρήση του κτιρίου, οι επιθυμητές συνθήκες εσωτερικού περιβάλλοντος (θερμοκρασία, υγρασία, αερισμός), τα χαρακτηριστικά λειτουργίας και ο αριθμός χρηστών.
- Τα κλιματικά δεδομένα της περιοχής του κτιρίου (θερμοκρασία, σχετική και απόλυτη υγρασία, ταχύτητα ανέμου και ηλιακή ακτινοβολία).
- Τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά των δομικών στοιχείων του κτιριακού κελύφους (σχήμα και μορφή κτιρίου, διαφανείς και μη επιφάνειες, σκίαστρα κ.α.), σε σχέση με τον προσανατολισμό και τα χαρακτηριστικά των εσωτερικών δομικών στοιχείων (χωρίσματα κ.α).
- Τα θερμικά χαρακτηριστικά των δομικών στοιχείων του κτιριακού κελύφους (θερμοπερατότητα, θερμική μάζα, απορροφητικότητα ηλιακής ακτινοβολίας, διαπερατότητα κ.α.).
- Τα τεχνικά χαρακτηριστικά της εγκατάστασης θέρμανσης, ψύξης/κλιματισμού, μηχανικού αερισμού και παραγωγής ΖΝΧ.
- Τα τεχνικά χαρακτηριστικά της εγκατάστασης φωτισμού για τα κτίρια του τριτογενή τομέα.
- Τα παθητικά ηλιακά συστήματα.

Στις ελάχιστες προδιαγραφές των κτιρίων, σύμφωνα με τον ΚΕνΑΚ συμπεριλαμβάνονται ο σχεδιασμός των κτιρίων και τα θερμικά χαρακτηριστικά των δομικών στοιχείων του κτιριακού κελύφους.

Όσον αφορά τον σχεδιασμό των κτιρίων 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
- Ηλιοπροστασία.
- Ένταξη τεχνικών φυσικού αερισμού.
- Εξασφάλιση οπτικής άνεσης μέσω τεχνικών και συστημάτων φυσικού φωτισμού.

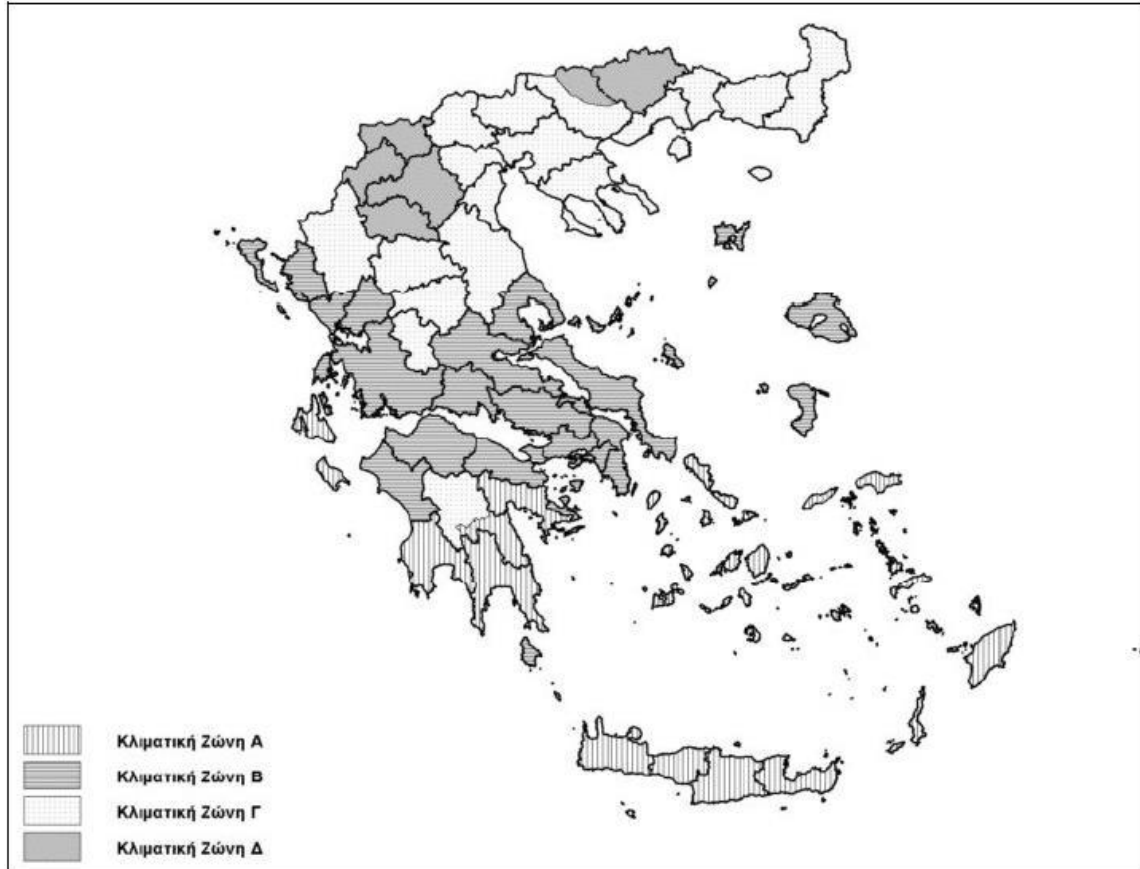
Τα επιμέρους δομικά στοιχεία του εξεταζόμενου νέου ή ριζικά ανακαινιζόμενου κτιρίου πρέπει να είναι θερμομονωμένα και να πληρούν τους περιορισμούς θερμομόνωσης, όπως ορίζονται στον παρακάτω πίνακα 8.2.1. Στον πίνακα αυτό ορίζεται ο μέγιστος επιτρεπόμενος συντελεστής θερμοπερατότητας για κάθε δομικό στοιχείο του κτιρίου κατά κλιματική ζώνη.[36]

Σύμφωνα με τον Κ.Εν.Α.Κ. για την εκπόνηση της μελέτης της ενεργειακής απόδοσης των κτιρίων, η ελληνική επικράτεια διαιρείται σε τέσσερις κλιματικές ζώνες με βάση τις βαθμομέρες θέρμανσης. Στον παρακάτω πίνακα 2.1 προσδιορίζονται οι νομοί που υπάγονται στις τέσσερις κλιματικές ζώνες (από τη θερμότερη στην ψυχρότερη) και ακολουθεί σχηματική απεικόνιση των παραπάνω ζωνών στο σχήμα 2.3. Πρέπει να αναφερθεί ότι σε κάθε νομό, οι περιοχές που βρίσκονται σε υψόμετρο άνω των 500 μέτρων, εντάσσονται στην επόμενη ψυχρότερη κλιματική ζώνη από εκείνη στην οποία ανήκουν, ενώ προφανώς όσον αφορά τη ζώνη Δ όλες οι περιοχές ανεξαρτήτως υψόμετρου περιλαμβάνονται στη ζώνη Δ. Επίσης, στο τμήμα του νομού Αρκαδίας που εντάσσεται στην κλιματική ζώνη Γ και στο τμήμα του νομού Σερρών (ΒΑ τμήμα) που εντάσσεται στην κλιματική ζώνη Δ, περιλαμβάνονται όλες οι περιοχές που έχουν

υψόμετρο άνω των 500 μέτρων. Τέλος, σύμφωνα με τον Κ.Εν.Α.Κ., όπως παρουσιάστηκε στην ενότητα 1.3, ανάλογα των κλιματικών ζωνών ορίζονται και ο μέγιστος επιτρεπόμενος συντελεστής θερμοπερατότητας για κάθε δομικό στοιχείο του κτιρίου καθώς και ο μέγιστος επιτρεπόμενος μέσος συντελεστής θερμοπερατότητας του κτιρίου.

Πίνακας 8.2.1 Νομοί ελληνικής επικράτειας ανά κλιματική ζώνη [36]

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



Εικόνα 8.2.1 Σχηματική απεικόνιση κλιματικών ζωνών ελληνικής επικράτειας [36]

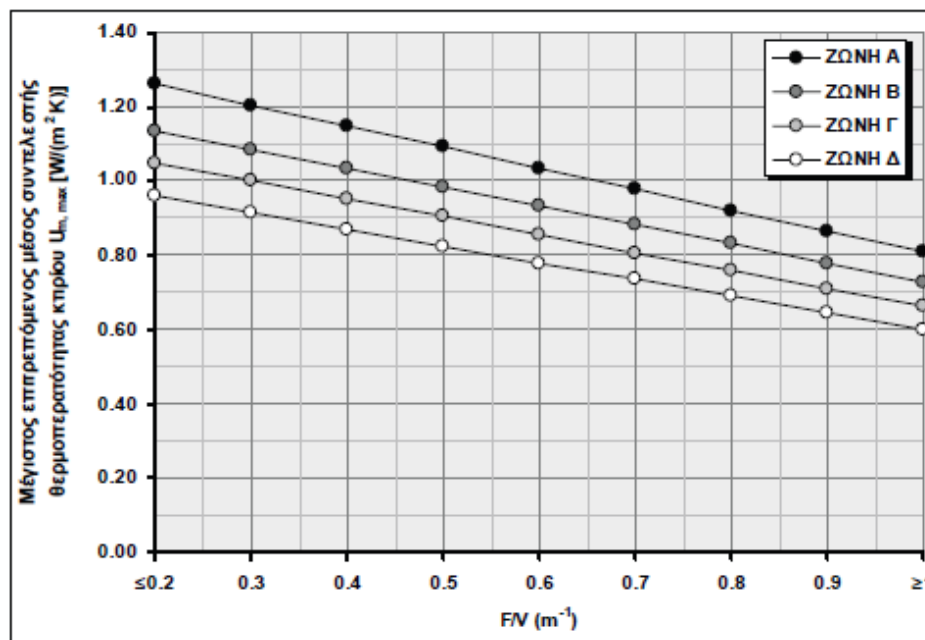
Πίνακας 8.2.2 Μέγιστος επιτρεπόμενος συντελεστής θερμοπερατότητας δομικών στοιχείων, κατά κλιματική ζώνη [21]

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

Επιπλέον, σύμφωνα με τον ΚΕΝΑΚ ορίζεται ότι η τιμή του μέσου συντελεστή θερμοπερατότητας (U_m) του εξεταζόμενου νέου ή ριζικά ανακαινιζόμενου κτιρίου δεν υπερβαίνει τα όρια που δίνονται στον παρακάτω πίνακα 1.2 και στο διάγραμμα (Σχήμα 1.2). Στον πίνακα και στο διάγραμμα αυτό ορίζεται ο μέγιστος επιτρεπόμενος μέσος συντελεστής θερμοπερατότητας (U_m) κατά κλιματική ζώνη και συναρτήσει του λόγου F/V (m^{-1}) δηλαδή του λόγου του εμβαδού προς τον όγκο του κτιρίου. [21]

Πίνακας 8.2.3 Μέγιστος επιτρεπόμενος μέσος συντελεστής θερμοπερατότητας (U_m) κατά κλιματική ζώνη [36]

F/V (m^{-1})	Μέγιστος επιτρεπόμενος μέσος συντελεστής (U_m) σε $W/(m^2 K)$			
	Ζώνη Α	Ζώνη Β	Ζώνη Γ	Ζώνη Δ
$\leq 0,2$	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
$\geq 1,0$	0.81	0.73	0.66	0.60



Εικόνα 8.2.2 Μέγιστος επιτρεπόμενος μέσος συντελεστής θερμοπερατότητας (U_m) κατά κλιματική ζώνη [36]

Τέλος, πρέπει να αναφερθεί ότι σύμφωνα με τον ΚΕνΑΚ καθορίζονται οι κατηγορίες ενεργειακής απόδοσης των κτιρίων. Οι κατηγορίες για την ενεργειακή ταξινόμηση των κτιρίων δίνονται στον Πίνακα 8.2.4. Ο δείκτης RR λαμβάνεται ίσος με την υπολογιζόμενη κατανάλωση πρωτογενούς ενέργειας του κτιρίου αναφοράς, τα χαρακτηριστικά του οποίου ορίζονται από τον ΚΕνΑΚ. Ο λόγος T είναι το πηλίκο της υπολογιζόμενης κατανάλωσης πρωτογενούς ενέργειας του εξεταζόμενου κτιρίου (EP) προς την υπολογιζόμενη κατανάλωση πρωτογενούς ενέργειας του κτιρίου αναφοράς και αποτελεί τη βάση για τον καθορισμό των κατηγοριών ενεργειακής απόδοσης. Η ετήσια συνολική κατανάλωση πρωτογενούς ενέργειας του κτιρίου αναφοράς αντιστοιχεί στο άνω όριο της κατηγορίας ενεργειακής απόδοσης B. Κτίρια με χαμηλότερη ή υψηλότερη κατανάλωση πρωτογενούς ενέργειας κατατάσσονται στην αντίστοιχη ενεργειακή κατηγορία. [36]

Πίνακας 8.2.4 Κατηγορίες ενεργειακής απόδοσης κτιρίων [36]

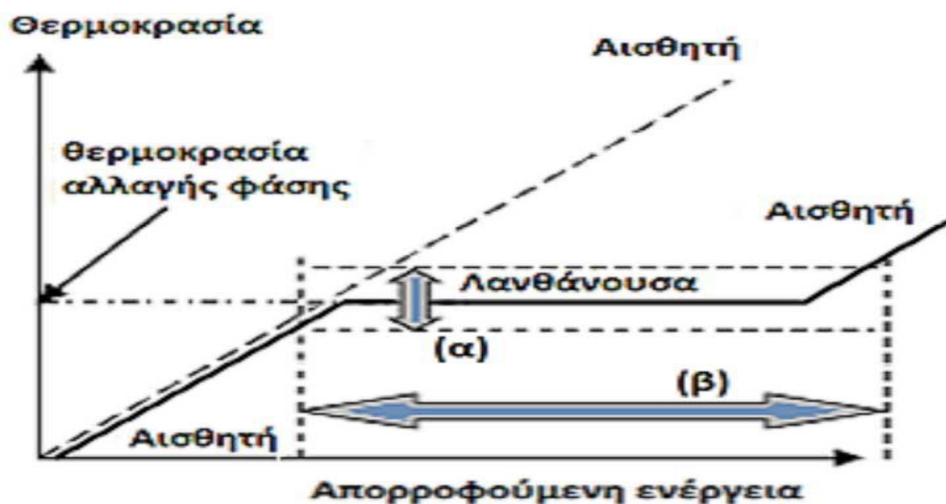
Κατηγορία	Όρια κατηγορίας	Όρια κατηγορίας
A+	$EP \leq 0,33R_R$	$T \leq 0,33$
A	$0,33R_R < EP \leq 0,50R_R$	$0,33 < T \leq 0,50$
B+	$0,50R_R < EP \leq 0,75R_R$	$0,50 < T \leq 0,75$
B	$0,75R_R < EP \leq 1,00R_R$	$0,75 < T \leq 1,00$
Γ	$1,00R_R < EP \leq 1,41R_R$	$1,00 < T \leq 1,41$
Δ	$1,41R_R < EP \leq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

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 9: PCM

Όπως αναφέρθηκε σε προηγούμενο κεφάλαιο, ένα από τα σύγχρονα θερμομονωτικά υλικά είναι τα υλικά αλλαγής φάσης, PCM. Σε αυτό το κεφάλαιο θα αναλύσουμε διεξοδικά τα υλικά αυτά, αρχικά μαθαίνοντας βασικές πληροφορίες για αυτά κ στη συνέχεια παρουσιάζοντας τις ιδιότητες τους, τις εφαρμογές τους στα ενεργητικά και στα παθητικά συστήματα κτηρίων αλλά και πώς αυτά χρησιμοποιούνται στην καθημερινότητα μας

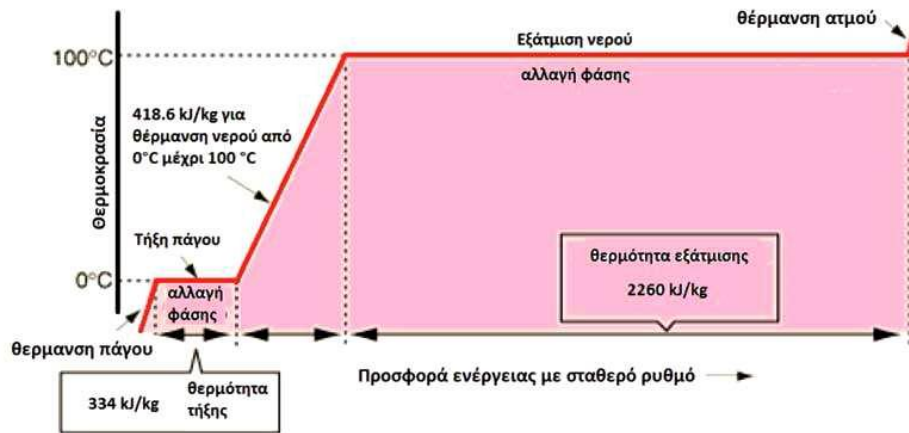
9.1 Ορισμός [37]

Τα υλικά που αλλάζουν φάση στο εύρος των θερμοκρασιών της εφαρμογής που χρησιμοποιούνται ονομάζονται PCMs (Phase Change Materials). Ως υποψήφια PCMs θεωρούνται συνήθως υλικά που αλλάζουν μεταξύ στερεής και υγρής φάσης καθώς αυτή η αλλαγή παρουσιάζει συγκριτικά υψηλή θερμότητα αλλαγής φάσης ενώ η μεταβολή του όγκου του υλικού είναι πολύ μικρή. Το ιδανικό PCM θα ήταν ένα υλικό που θα παρουσίαζε μεγάλη τιμή θερμότητας αλλαγής φάσης, υψηλή αγωγιμότητα, θερμοκρασία τήξης σύμφωνη με το θερμοκρασιακό εύρος της εφαρμογής, να τήκεται με την ελάχιστη εμφάνιση supercooling, να είναι χημικά σταθερό, φτηνό στην παραγωγή του, να μην είναι τοξικό, διαβρωτικό και εύφλεκτο. Τα PCM (phase changing materials) έχουν την δυνατότητα να μειώσουν τις ημερήσιες διακυμάνεις της θερμοκρασίας δωματίου περιορίζοντας τις μέγιστες τιμές που αυτή δύναται να λαμβάνει λόγω των ακραίων μεταβολών της εξωτερικής θερμοκρασίας. Γενικότερα, μπορούν να περιορίζουν τα φορτία ψύξης ή θέρμανσης, να παράγουν αποθέματα ενέργειας για τον καταναλωτή και επομένως μειώνουν σημαντικά την αναγκαιότητα για δημιουργία νέων ηλεκτρικών σταθμών παραγωγής ενέργειας προκειμένου να καλυφθεί η ζήτηση σε ώρες αιχμής.



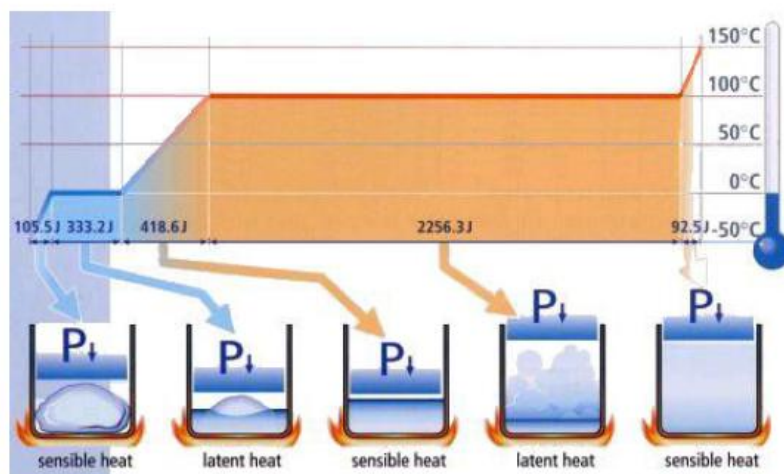
Εικόνα 9.1.1 Αποθήκευση ενέργειας με τη μορφή λανθάνουσας θερμότητας ως συνάρτηση της θερμοκρασίας [40]

Ένα υλικό πολύ γνωστό για τις αλλαγές φάσης του είναι το νερό. Το νερό, στη θερμοκρασία 0°C , προκειμένου να αλλάξει φάση, από στερεό (πάγος) σε υγρό, χρειάζεται να απορροφήσει ενέργεια ίση με 334 kJ/kg . Η ενέργεια αυτή ονομάζεται λανθάνουσα θερμότητα τήξης γιατί δεν προκαλεί αύξηση της θερμοκρασίας του (δηλαδή, δεν είναι αντιληπτή με τις αισθήσεις) αλλά αποδίδεται στη μεταβολή των δεσμών και της κινητικής ενέργειας των μορίων του. Ομοίως, για την εξάτμιση του νερού, στους 100°C , δηλαδή για τη μετατροπή από την υγρή στην αέρια φάση, θα πρέπει να απορροφήσει, ως λανθάνουσα θερμότητα εξάτμισης, ενέργεια ίση με 2.260 kJ/kg . Αντίστροφα, κατά την ψύξη του νερού, στις θερμοκρασίες αλλαγής φάσης, οι κατά περίπτωση λανθάνουσες θερμότητες ελευθερώνονται.



Εικόνα 9.1.2 Διάγραμμα μεταβολής φάσης του νερού [40]

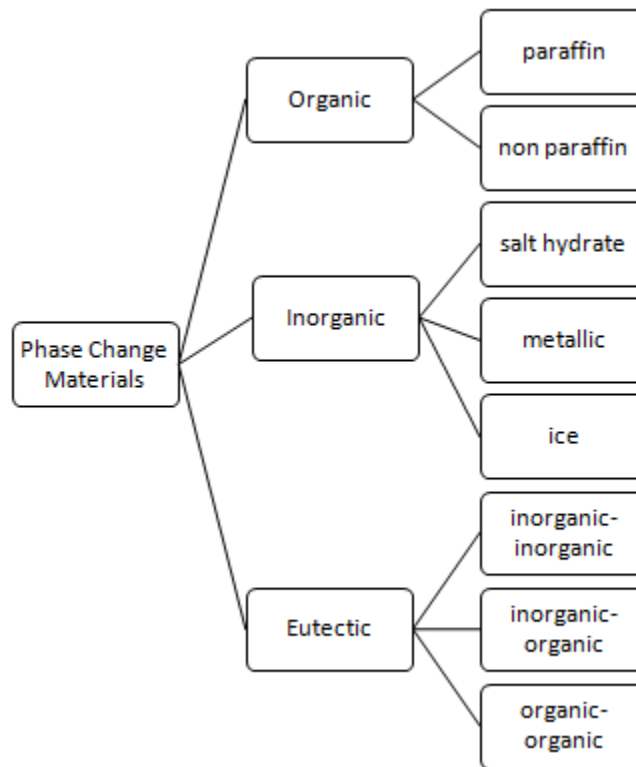
Παρόλα τα πρόβλημα που παρουσιάζει ο πάγος, η μεγάλη αποθήκευση θερμότητας κατά την αλλαγή φάσης του νερού ήταν αυτό που οδήγησε σε εκτενέστερες έρευνες για την εύρεση υλικών αλλαγής φάσης. Δηλαδή, υλικά τέτοια τα οποία θα παρουσίαζαν τα πλεονεκτήματα του νερού και στα οποία θα ελαχιστοποιούνταν τα παραπάνω μειονεκτήματά του. Οι έρευνες κατέληξαν στην ανακάλυψη των PCM τα οποία παρουσιάζουν ένα μεγάλο εύρος θερμοκρασιών αλλαγής φάσης κάνοντας πιο λειτουργική την χρήση τους. Τα πρώτα PCM είναι τα ένυδρα άλατα, μια κατηγορία υλικών που αναπτύσσεται και τελειοποιείται ακόμη και σήμερα. Ανάλογα με τις τεχνικές εφαρμογές στις οποίες χρησιμοποιούνται τα PCM, πολλές διαφορετικές κατηγορίες υλικών έχουν μελετηθεί στο παρελθόν.



Εικόνα 9.1.3 Λανθάνουσα θερμότητα νερού [41]

9.2 Κατηγοριοποίηση των PCMs

Τα υλικά αλλαγής φάσης και ειδικά αυτά που μεταπίπτουν από την στερεή στην υγρή φάση μπορούν να κατηγοριοποιηθούν ανάλογα με τη σύστασή τους σε: οργανικά υλικά, ανόργανα υλικά και εύτηκτα μίγματα.



Εικόνα 9.2.1 Κατηγοριοποίηση υλικών που χρησιμοποιούνται ως PCM.[42]

1) Οργανικά PCMs

Η κατηγορία των οργανικών υλικών αντιπροσωπεύεται κυρίως από τις παραφίνες και τα μικροκρυσταλλικά κεριά (μίγματα παραφινών με αριθμό ατόμων άνθρακα από 19 έως και 25). Οι παραφίνες (κεριά) που έχουν σημείο τήξης από 30 έως 90 °C έχουν 18 έως 50 άτομα άνθρακα (C18-C50). Όσο αυξάνεται το μήκος αλυσίδας του άνθρακα, τόσο αυξάνεται το μοριακό βάρος και η θερμοκρασία τήξης. Η ειδική θερμοχωρητικότητά τους είναι περίπου 2.1 kJ/ kg K και η λανθάνουσα θερμότητά τους από 180 έως 230kJ/kg.[59]

a. Παραφίνες

Οι κανονικές παραφίνες τύπου C_nH_{2n+2} είναι μια οικογένεια κορεσμένων υδρογονανθράκων με παρόμοιες ιδιότητες. Οι παραφίνες αποτελούνται από ένα μίγμα κυρίως ευθειών αλυσίδων n-αλκανίων $CH_3-(CH_2)_n-CH_3$. Η κρυστάλλωση της $(CH_3)_n$ -αλυσίδας ελευθερώνει μια μεγάλη ποσότητα λανθάνουσας θερμότητας. Οι παραφίνες μεταξύ των C5 και C15 είναι υγρές και οι υπόλοιπες είναι κηρώδη στερεά. Οι κηρώδεις παραφίνες είναι τα πιο ευρέως χρησιμοποιούμενα, εμπορικά, οργανικά υλικά αποθήκευσης θερμότητας. Συνίστανται κυρίως από υδρογονάνθρακες ευθείας αλυσίδας που έχουν θερμοκρασίες τήξης που κυμαίνονται από 23 μέχρι 67°C. Η εμπορικής ποιότητας κηρώδης παραφίνη λαμβάνεται από απόσταξη πετρελαίου και δεν είναι καθαρή ουσία, αλλά συνδυασμός διαφορετικών υδρογονανθράκων.

Σε γενικές γραμμές, όσο μεγαλύτερο είναι το μέσο μήκος της υδρογονανθρακικής αλυσίδας τόσο υψηλότερη είναι η θερμοκρασία τήξεως και τη θερμότητα σύντηξης. Οι παραφίνες θεωρούνται υλικά αποθήκευσης θερμότητας σύντηξης λόγω της διαθεσιμότητας τους σε μεγάλο εύρος θερμοκρασιών και είναι εύκολα διαθέσιμες από πολλούς κατασκευαστές. [60]

Ωστόσο εξαιτίας του κόστους, μόνο οι τεχνικού βαθμού παραφίνες μπορούν να χρησιμοποιηθούν ως PCM σε συστήματα αποθήκευσης λανθάνουσας θερμότητας. Οι παραφίνες είναι ασφαλείς, αξιόπιστες, προβλέψιμες, λιγότερο δαπανηρές και μη διαβρωτικές. Είναι χημικά αδρανείς και σταθερές κάτω από τους 500°C, εμφανίζουν μικρές μεταβολές όγκου κατά την τήξη και έχουν χαμηλή πίεση ατμού σε μορφή τήξης. Χάρη αυτών των ιδιοτήτων των παραφινών, τα συστήματα που χρησιμοποιούν παραφίνες έχουν συνήθως πολύ μεγάλο κύκλο ψύξης-τήξης.

Εκτός από ορισμένα θετικά χαρακτηριστικά των παραφινών όπως η συμβατική τήξη και οι καλές ιδιότητες των πυρήνων εμφανίζουν και κάποιες ανεπιθύμητες ιδιότητες, όπως: η χαμηλή θερμική αγωγιμότητα, η μη-συμβατότητα με πλαστικά δοχεία και η μέτρια αναφλεξιμότητα. Όλες αυτές οι ανεπιθύμητες ενέργειες μπορούν εν μέρει να αντιμετωπισθούν με ελαφρά τροποποίηση του κεριού και της μονάδας αποθήκευσης. [42]

Στο παρακάτω σχήμα δίνονται παραφίνες που έχουν μελετηθεί κατά καιρούς μαζί με το σημείο τήξης τους και τη λανθάνουσα θερμότητα τήξεως. Μπορεί να σημειωθεί ότι οι πιο μελετημένες μορφές παραφινών έχουν θερμοκρασία τήξης στην περιοχή από 45°C έως 60°C.

Table 2. Melting point and latent heat of thermal cycled paraffins.

Sr. no.	PCMs	Melting point (°C)	Latent heat (J/g)	Thermal cycles
1.	Paraffin (70 wt%) +Polypropylene(30 wt%)	44.77	136.16	3000
2.	Paraffin (C _{22,2} H _{44,4}) (technical grade)	47.1	166	900
3.	Paraffin (C _{23,2} H _{46,4}) (technical grade)	57.1	220	900
4.	Paraffin wax 53 (commercial grade)	53	184	300
		53	184	1500
5.	Paraffin wax 54	53.32	184.48	1500
6.	Paraffin wax 58–60	58.27	129.8	600
7.	Paraffin wax 60–62	57.78	129.7	600
8.	n-Heptadecane/polymethyl methacrylate (C ₁₇ H ₃₆)	18.4	84.7	5000

Εικόνα 9.2.2 Παραφίνες και ιδιότητες τους [59]

b. Μη-παραφίνες

Οι οργανικές μη-παραφίνες είναι τα πιο πολυάριθμα υλικά αλλαγής φάσης με εξαιρετικά ποικίλες ιδιότητες. Κάθε ένα από αυτά τα υλικά έχει τις δικές του ιδιότητες σε αντίθεση με τις παραφίνες οι οποίες έχουν πολύ παρόμοιες ιδιότητες. Αυτή είναι η μεγαλύτερη κατηγορία υποψηφίων υλικών για αποθήκευση αλλαγής φάσης. Αυτά τα οργανικά υλικά χωρίζονται σε περαιτέρω ομάδες των λιπαρών οξέων και άλλων οργανικών μη-παραφινών όπως οι εστέρες, οι αλκοόλες, οι γλυκόλες, κλπ. Αυτά τα υλικά είναι

εύφλεκτα και δεν πρέπει να εκτίθενται σε υπερβολικά υψηλές θερμοκρασίες, φλόγες ή οξειδωτικούς παράγοντες. Μερικά από τα χαρακτηριστικά αυτών των οργανικών υλικών είναι ως ακολούθως: η υψηλή θερμότητα σύντηξης, η ευφλεκτότητα, η χαμηλή θερμική αγωγιμότητα, τα χαμηλά σημεία ανάφλεξης, το διαφορετικό επίπεδο τοξικότητας, και η αστάθεια σε υψηλές θερμοκρασίες.

Ωστόσο, τα λιπαρά οξέα είναι τα περισσότερο υποσχόμενα PCM μεταξύ όλων των μη-παραφινών λόγω της διαθεσιμότητάς τους σε κατάλληλες θερμοκρασίες αλλαγής φάσης και της υψηλής θερμότητας τήξεως. [59]

Τα λιπαρά οξέα έχουν υψηλές τιμές στη θερμότητα σύντηξης συγκρίσιμες με αυτές των παραφινών. Τα λιπαρά οξέα επίσης ψύχονται χωρίς υπέρψυξη και γενικά θεωρούνται καλά PCM. Ο γενικός τύπος που περιγράφει όλα τα λιπαρά οξέα δίδεται από τον τύπο $\text{CH}_3(\text{CH}_2)_n\text{COOH}$. Το σημαντικότερο μειονέκτημά τους ωστόσο είναι το κόστος τους, το οποίο είναι 2-2,5 φορές μεγαλύτερο από εκείνο της τεχνικού βαθμού παραφίνης. Επιπλέον είναι ήπια διαβρωτικά. Μερικά λιπαρά οξέα παρουσιάζουν ενδιαφέρον σε εφαρμογές αποθήκευσης λανθάνουσας ενέργειας χαμηλής θερμοκρασίας. [42]

Επιπρόσθετα, τα λιπαρά οξέα εύκολα μπορούν να παραχθούν από κοινά φυτικά και ζωικά έλαια. Έτσι παρέχεται η εγγύηση συνεχούς παροχής παρά την έλλειψη πηγών καυσίμων. Τα πιο κοινά λιπαρά οξέα που μπορούν να χρησιμοποιηθούν ως υλικά θερμικής αποθήκευσης είναι το στεαρικό οξύ, το παλμιτικό οξύ, το βουτυρικό οξύ και το μυριστικό οξύ. Το παλμιτικό και το μυριστικό οξύ μπορούν να θεωρηθούν καλύτερα PCM από τα περισσότερα λιπαρά οξέα για μακροπρόθεσμες ηλιακές θερμικές εφαρμογές. Το παλμιτικό οξύ έχει μεγαλύτερη λανθάνουσα θερμότητα από το μυριστικό. [59]

Μία πολλά υποσχόμενη χρήση είναι ένα σύστημα που συνδυάζει λιπαρά οξέα που μπορούν να αποκτήσουν θερμοκρασίες τήξης που κυμαίνονται από 20-30°C με ακρίβεια $\pm 0.5^\circ\text{C}$. Αυτό θα επέτρεπε σε έναν σχεδιαστή να επιλέξει τη βέλτιστη θερμοκρασία λειτουργίας προκειμένου να επιτευχθεί η μέγιστη απόδοση ενός συστήματος αποθήκευσης θερμότητας. Τα στεατικά οξέα τήκονται πέρα από ένα ευρύ φάσμα θερμοκρασίας, έχουν δύο σημεία τήξεως και μεγάλες διακυμάνσεις στην λανθάνουσα θερμότητα σύντηξης. Ωστόσο, έχουν θερμικά σταθερή συμπεριφορά μετά από 1500 επαναλαμβανόμενους κύκλους τήξης / πήξης. Η ποιότητα του στεαρικού οξέος ποικίλλει

πολύ στην εμπορική αγορά λόγω της ευρείας χρήσης του σε διάφορα προϊόντα. Ως εκ τούτου, καμία εγγύηση δεν μπορεί να δοθεί για την καθαρότητά του. Αυτός μπορεί να είναι και ο λόγος που η λανθάνουσα θερμότητα τήξης του στεαρικού οξέος γενικά μειώνεται με τον αριθμό των θερμικών κύκλων. [58]

Στον παρακάτω πίνακα δίνονται οι μη-παραφίνες που αναφέρθηκαν παραπάνω μαζί με το σημείο τήξης τους και τη λανθάνουσα θερμότητα τήξεως.

Table 3
Melting point and latent heat of thermal cycled non-paraffins.

Sr. no.	PCM	Melting point (°C)	Latent heat (J/g)	Thermal cycles
1.	Acetamide (CH_3CONH_2)	82.15	262.78	300
		82	263	1500
2.	Acetanilide ($\text{C}_8\text{H}_9\text{NO}$)	113	169.4	500
3.	Capric acid (55 wt%)+expanded perlite (45 wt%)	31.80	98.12	5000
4.	Erythritol	117	339	1000
5.	Lauric acid ($\text{C}_{11}\text{H}_{23}\text{COOH}$)	43.5	169.3	120
		42.46	176.6	1200
		42.6	211.6	910
6.	Methyl palmitate	29	215	50
7.	Methyl stearate	37.8	270	50
8.	Myristic acid ($\text{C}_{13}\text{H}_{27}\text{COOH}$)	50.4	189.4	450
		52.99	181.0	1200
		53.8	192.0	910
9.	Palmitic acid ($\text{C}_{15}\text{H}_{31}\text{COOH}$)	61.2	196.1	120
		57.8	201.2	450
		61.31	197.9	1200
		59.9	197.9	910
10.	Palmitic acid (80 wt%)+expanded graphite (20 wt%)	60.88	148.36	3000
11.	Stearic acid ($\text{C}_{17}\text{H}_{35}\text{COOH}$)	65.2	209.9	450
		62.59	154.63	300
		54.7	159.3	1200
		53.8	174.6	910
		63	155	1500
12.	Urea	133	250	50

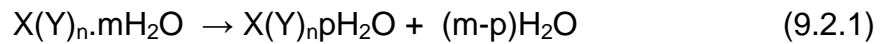
Εικόνα 9.2.3 Οι μη-παραφίνες και οι ιδιότητές τους. [59]

2) Ανόργανα PCMs

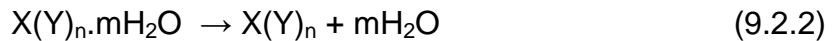
Τα ανόργανα υλικά ταξινομούνται σε ένυδρα άλατα και μεταλλικά υλικά. Αυτά τα υλικά αλλαγής φάσης δεν υπερψύχονται αισθητά και οι θερμότητες συντήξεώς τους δεν υποβαθμίζονται με κάθε κύκλο. [42]

a. Ένυδρα άλατα

Τα ένυδρα άλατα μπορούν να θεωρηθούν ως μίγματα ανόργανων αλάτων και νερού σχηματίζοντας ένα τυπικό κρυσταλλικό στερεό γενικού τύπου $AB \cdot nH_2O$. Η αλλαγή φάσης στερεού-υγρού στα ένυδρα άλατα είναι στην πραγματικότητα μια αφυδάτωση της ενυδάτωσης του άλατος, αν και αυτή η διαδικασία μοιάζει με τήξη ή ψύξη θερμοδυναμικά. Ένα ένυδρο άλας τήκεται συνήθως σε ένα ένυδρο άλας με λιγότερα mol νερού, δηλαδή:



ή στην άνυδρη μορφή του:



Στο σημείο τήξεως ο ένυδρος κρύσταλλος χωρίζεται σε άνυδρο άλας και νερό, ή σε ένα κατώτερο ένυδρο και νερό. Ένα πρόβλημα με τα περισσότερα ένυδρα άλατα είναι εκείνο της ανομοιομορφής τήξης που προκαλείται από το γεγονός ότι το νερό που απελευθερώνεται κατά την κρυστάλλωση δεν επαρκεί για να διαλύσει όλη τη στερεή παρούσα φάση. Λόγω της διαφοράς πυκνότητας, το κατώτερο ένυδρο (ή το άνυδρο άλας) παραμένει στο κάτω μέρος του δοχείου.

Τα περισσότερα ένυδρα άλατα έχουν επίσης φτωχές ιδιότητες πυρήνων με αποτέλεσμα την υπέρψυξη του υγρού. Μία λύση σε αυτό το πρόβλημα είναι να διατηρηθούν ορισμένοι κρύσταλλοι σε μια μικρή κρύα περιοχή για να χρησιμοποιηθούν ως πυρήνες.

Τα ένυδρα άλατα είναι η πιο σημαντική ομάδα PCM και έχει μελετηθεί εκτεταμένα για τη χρήση της σε συστήματα αποθήκευσης λανθάνουσας θερμικής ενέργειας λόγω του χαμηλού τους κόστους και της ευρείας διαθεσιμότητάς τους. Οι πιο ελκυστικές ιδιότητες των ένυδρων αλάτων είναι:

- η υψηλή λανθάνουσα θερμότητα σύντηξης ανά μονάδα όγκου,
- η σχετικά υψηλή θερμική αγωγιμότητα (σχεδόν διπλάσια από της παραφίνης)
- οι μικρές μεταβολές του όγκου κατά την τήξη.

Δεν είναι ιδιαίτερα διαβρωτικά, είναι συμβατά με τα πλαστικά και μόνο ελαφρά τοξικά. Πολλά ένυδρα άλατα είναι αρκετά φθηνά για χρήση σε εφαρμογές αποθήκευσης. Τρεις τύποι της συμπεριφοράς των τηκόμενων αλάτων μπορούν να προσδιοριστούν: η ομοιόμορφη, η ανομοιόμορφη και η σχετικά ομοιόμορφη τήξη.

- Η ομοιόμορφη τήξη συμβαίνει όταν το άνυδρο άλας είναι πλήρως διαλυτό στο νερό της ενυδάτωσης του στην θερμοκρασία τήξεως.
- Η ανομοιόμορφη τήξη συμβαίνει όταν το άλας δεν είναι εντελώς διαλυτό στο νερό της ενυδάτωσης του στο σημείο τήξεως.
- Η σχετικά ομοιόμορφη τήξη συμβαίνει όταν οι υγρές και οι στερεές φάσεις βρίσκονται σε ισορροπία κατά τη διάρκεια μιας μετάβασης φάσης.

Συμπερασματικά λοιπόν, το κύριο πρόβλημα στην χρήση ένυδρων αλάτων ως PCM, τα οποία κρίνονται κατάλληλα για χρήση σε θερμική αποθήκευση, είναι ότι τήκονται ανομοιόμορφα. Καθώς τα mol του νερού ενυδάτωσης δεν είναι επαρκή για να διαλύσουν ένα mole άλατος, το προκύπτον διάλειμμα είναι υπερκορεσμένο στην θερμοκρασία τήξεως. Το στερεό άλας λόγω της υψηλής πυκνότητας του κατακάθεται στο κάτω μέρος του δοχείου και δεν είναι διαθέσιμο για επανασυνδυασμό με νερό κατά τη διάρκεια της αντίστροφης διαδικασίας της ψύξης. Αυτό οδηγεί σε μια μη αναστρέψιμη τήξη ψύξη του ένυδρου άλατος και έχει ως αποτέλεσμα την υποβάθμιση με κάθε κύκλο φόρτισης-εκφόρτισης.

Ένα άλλο σημαντικό πρόβλημα κοινό στα ένυδρα άλατα είναι η υπέρψυξη. Στη θερμοκρασία σύντηξης, ο ρυθμός των πυρήνων είναι γενικά πολύ χαμηλός. Για να επιτευχθεί μια λογική τιμή του ρυθμού των πυρήνων το διάλυμα πρέπει να υπερψύχεται και συνεπώς η ενέργεια αντί να εκφορτίζεται στη θερμοκρασία τήξης, εκφορτίζεται σε πολύ χαμηλότερη θερμοκρασία.

Ακόμη ένα πρόβλημα που αντιμετωπίζουν τα ένυδρα άλατα είναι η επίδραση τους με μικρότερο αριθμό mol νερού κατά την διάρκεια της διαδικασίας αποφόρτισης. Η προσθήκη χημικών μπορεί να αποτρέψει την πυρήνωση των κατώτερων ένυδρων αλάτων, η οποία κατά προτίμηση αυξάνει τη διαλυτότητα των κατώτερων ένυδρων αλάτων περισσότερο από τα αρχικά ένυδρα άλατα με μεγαλύτερο αριθμό mol νερού.

Το πρόβλημα της ανομοιόμορφης τήξης μπορεί να αντιμετωπιστεί με έναν από τους ακόλουθους τρόπους:

- με μηχανική ανάδευση,
- με τοποθέτηση των PCM σε αεροστεγή δοχεία αποθήκευσης προκειμένου να μειωθεί ο διαχωρισμός των φάσεων,
- με τη χρήση περίσσειας νερού έτσι ώστε οι τηκόμενοι κρύσταλλοι να μην παράγουν υπερκορεσμένο διάλυμα,
- τροποποιώντας τη χημική σύνθεση του συστήματος και κάνοντας το ανομοιόμορφο μίγμα ομοιόμορφο.

Ο παρακάτω πίνακας παρέχει μια λίστα των ένυδρων αλάτων που έχουν μελετηθεί, μαζί με το σημείο τήξης τους και τη λανθάνουσα θερμότητα της τήξης. Η περισσότερη μελέτη των PCM έχει γίνει στην κλίμακα των 30-60°C, πρόκειται για PCM τα οποία μπορούν να χρησιμοποιηθούν για χαμηλή θερμοκρασία σε ηλιακές θερμικές εφαρμογές, όπως για τη θέρμανση του νερού και πρέπει να έχει θερμοκρασία τήξης σε αυτό το εύρος μόνο.

Sr. no.	PCMs	Melting point (°C)	Latent heat (J/g)	Thermal cycles
1.	Calcium chloride hexahydrate($\text{CaCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$)	29.8	190.8	1000
		28	86	1000
		27	-	5650
		23.26	125.4	1000
2.	Glauber's salt ($\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$)	32.4	238	320
		32	-	5650
3.	Magnesium chloride hexahydrate ($\text{MgCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$)	111.5	155.11	500
		110.8	138	1000
4.	$\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot n\text{H}_2\text{O}$	-	-	1000
5.	$\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot 1/2\text{NaCl} \cdot 10\text{H}_2\text{O}$	20	-	5650
6.	$\text{NaOH} \cdot 3 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$	15	-	5650
7.	Sodium acetate trihydrate ($\text{NaCH}_3\text{COO} \cdot 3\text{H}_2\text{O}$)	58	230	500
		58	252	100
8.	Trichlorofluoromethane heptadecahydrate ($\text{CCl}_3\text{F} \cdot 17\text{H}_2\text{O}$)	8.5	210	100

Εικόνα 9.2.4 Ένυδρα άλατα και ιδιότητες τους [59]

b. Μεταλλικά PCM

Αυτή η κατηγορία περιλαμβάνει τα χαμηλής τήξης μέταλλα και τα εύτηκτα μέταλλα. Αυτά τα μέταλλα δεν έχουν ακόμη ληφθεί σοβαρά υπόψη στην τεχνολογία των PCM λόγω των κυρώσεων του βάρους. Ωστόσο, όταν λαμβάνεται υπόψη ο όγκος είναι πιθανοί υποψήφιοι λόγω της υψηλής θερμότητας σύντηξης ανά μονάδα όγκου. Έχουν υψηλή θερμική αγωγιμότητα, έτσι ώστε οι πληρωτές (fillers) με πρόσθετες κυρώσεις βάρους να μην είναι απαραίτητοι. Η χρήση των μεταλλικών PCM ενέχει έναν αριθμό ασυνήθιστων μηχανολογικών προβλημάτων. Μια σημαντική διαφορά μεταξύ των μεταλλικών και των άλλων PCM είναι η υψηλή θερμική τους αγωγιμότητα.

Μερικά από τα χαρακτηριστικά αυτών των υλικών είναι ως ακολούθως:

- η χαμηλή θερμότητα τήξης ανά μονάδα βάρους
- η υψηλή θερμότητα τήξης ανά μονάδα όγκο,
- η υψηλή θερμική αγωγιμότητα,
- η χαμηλή ειδική θερμότητα και
- η σχετικά χαμηλή πίεση ατμών.

3) Εύτηκτα μίγματα

Ένα εύτηκτο μίγμα είναι ένας συνδυασμός ελάχιστης τήξης δύο ή περισσότερων συστατικών, καθένα από τα οποία τήκεται και ψύχεται ομοιόμορφα σχηματίζοντας ένα μίγμα των συστατικών κρυστάλλων κατά την κρυστάλλωση. Τα εύτηκτα μίγματα σχεδόν πάντα τήκονται και ψύχονται χωρίς διαχωρισμό φάσεων, δεδομένου ότι ψύχονται σε ένα ιδιαίτερο μείγμα κρυστάλλων, αφήνοντας ελάχιστη ευκαιρία στα συστατικά να διαχωριστούν.

Ένα εύτηκτο PCM είναι ένας συνδυασμός δύο ή περισσότερων συστατικών οργανικών, ανόργανων ή και τα δύο. Το κύριο πρόβλημα με αυτά τα συστατικά είναι το κόστος, στην πραγματικότητα περίπου δύο ή τρεις φορές μεγαλύτερο από τα οργανικά ή τα ανόργανα. Ένας σημαντικός αριθμός εύτηκτων μπορεί να προσαρμοστεί σε σχεδόν οποιοδήποτε επιθυμητό σημείο τήξης για θερμικά συστήματα αποθήκευσης ενέργειας. Καθώς η χρήση αυτών των υλικών είναι πολύ καινούρια στις εφαρμογές θερμικής αποθήκευσης,

μόνο περιορισμένα δεδομένα είναι διαθέσιμα σχετικά με τις θερμο-φυσικές τους ιδιότητες. Συνεπώς, η σταθερότητα από τις θερμικές ιδιότητες των εύτηκτων μιγμάτων είναι απαραίτητη για να εξασφαλιστεί η μακροπρόθεσμη απόδοση των συστημάτων θερμικής ενέργειας.

Τα οργανικά εύτηκτα μίγματα είναι μίγματα οργανικών ενώσεων και τα ανόργανα εύτηκτα μίγματα είναι μίγματα ανόργανων ενώσεων. Τα ανόργανα εύτηκτα μίγματα έχουν ως βάση το αλάτι και τα περισσότερα φτιάχνονται από ένυδρα άλατα.

Οι παρακάτω πίνακες παρουσιάζουν τη σύγκριση των σημείων τήξης, των λανθανουσών θερμοτήτων και των θερμικών κύκλων των οργανικών και ανόργανων εύτηκτων μιγμάτων αντιστοίχως. Από τους πίνακες, παρατηρείται ότι τα περισσότερα από τα οργανικά και ανόργανα εύτηκτα μίγματα που προτάθηκαν ως PCM δημιουργήθηκαν από λιπαρά οξέα και ένυδρα άλατα αντιστοίχως. Η θερμική σταθερότητα των περισσότερων εύτηκτων μιγμάτων επιβεβαιώθηκε σχεδόν στους 1000 ή λιγότερους θερμικούς κύκλους.

Table 6
Melting point and latent heat of thermal cycled organic eutectics.

Sr. no.	PCM	Melting point (°C)	Latent heat (J/g)	Thermal cycles
1.	Ammonium alum ($\text{NH}_4\text{Al}(\text{SO}_4)_2 \cdot 12\text{H}_2\text{O}$) (15%)+ ammonium nitrate (NH_4NO_3) (85%)	53	170	1100
2.	Butyl stearate (49 wt%)+ Butyl palmitate (48 wt%)+other (3 wt%)	17	138	100
3.	Capric acid (65 mol%)+lauric acid (35 mol%)	13	116.76	120
		19.6	126.5	360
4.	Capric acid (73.5 wt%)+myristic acid (26.5 wt%)	21.4	152	5000
5.	Capric acid (83 wt%)+stearic acid (17 wt%)	24.68	178.64	5000
6.	Caprylic acid (70 wt%)+1-dodecanol (30 wt%)	6.52	171.06	120
7.	Lauric acid (66 wt%)+myristic acid (34 wt%)	34.2	166.8	1460
8.	Lauric acid (69 wt%)+palmitic acid (31 wt%)	35.2	166.3	1460
9.	Lauric acid (75.5 wt%)+stearic acid (24.5 wt%) +	37	182.7	360
10.	Lauric acid (77.05 wt%)+ palmitic acid (22.95 wt%)	33.09	150.6	100
11.	Methyl stearate (86 wt%)+methyl palmitate (14 wt%)	23.9	220	50
12.	Methyl stearate (91 wt%)+cetyl palmitate (9 wt%)	28.2	189	50
13.	Methyl stearate (91 wt%)+cetyl stearate (9 wt%)	22.2	180	50
14.	Myristic acid (58 wt%)+palmitic acid (42 wt%)	42.6	169.7	360
15.	Myristic acid (64 wt%)+stearic acid (36 wt%)	44.1	182.4	1460
16.	Myristic acid+glyserol	31.96	154.3	1000
17.	Palmitic acid (64.2 wt%)+stearic acid (35.8 wt%)	52.3	181.7	360
18.	Palmitic acid+glyserol	58.50	185.9	1000
19.	Stearic acid+glyserol	63.45	149.4	1000

Εικόνα 9.2.5 Οργανικά εύτηκτα μίγματα και οι ιδιότητές τους. [59]

Table 7
Melting point and latent heat of thermal cycled inorganic eutectics.

Sr. no.	PCM	Melting point (°C)	Latent heat (J/g)	Thermal cycles
1.	CaCl ₂ ·6H ₂ O (80 mol%)+CaBr ₂ ·6H ₂ O (20 mol%)	20	117	1000
2.	CaCl ₂ ·6H ₂ O (93 wt%)+Ca(NO ₃) ₂ ·4H ₂ O (5 wt%)+Mg(NO ₃) ₂ ·6H ₂ O (2 wt%)	24	125	1000
3.	CaCl ₂ ·6H ₂ O (96 wt%)+KNO ₃ (2 wt%)+KBr (2 wt%)	23	138	1000
4.	CaCl ₂ ·6H ₂ O (96 wt%)+NH ₄ NO ₃ (2 wt%)+NH ₄ Br (2 wt%)	20	141	1000
5.	NaCH ₃ COO·3H ₂ O (90 wt%)+NaBr·2H ₂ O (10 wt%)	51	175	1000
6.	NaCH ₃ COO·3H ₂ O (85 wt%)+NaHCOO·3H ₂ O (15 wt%)	49	170	1000
7.	Mg(NO ₃) ₂ ·6H ₂ O (93 wt%)+MgCl ₂ ·6H ₂ O (7 wt%)	78	152.4	1000

Εικόνα 9.2.6 Ανόργανα εύτηκτα μίγματα και οι ιδιότητές τους. [59]

4) Πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα των κατηγοριών [60]

Ενώ τα PCM παρουσιάζουν πολλά πλεονεκτήματα υπάρχει μια σειρά από προβλήματα που πρέπει να ξεπεραστούν. Στον παρακάτω πίνακα συνοψίζονται τα βασικότερα πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα των PCM που αναφέρθηκαν παραπάνω.

a) Οργανικά

Πλεονεκτήματα οργανικών PCMs:

- μη διαβρωτικά με τα περισσότερα υλικά
- μικρός κίνδυνος ρύπανσης του νερού
- μικρής τάξης ή καθόλου εμφάνιση του φαινομένου supercooling
- χημική και θερμική σταθερότητα
- χαμηλό κόστος αγοράς σε σχέση με τις άλλες κατηγορίες PCM
- παραγωγή των υλικών σε διάφορες εμπορικές εφαρμογές (σκόνη, κόκκοι, πλάκες)

Μειονεκτήματα οργανικών PCMs :

- λανθάνουσα θερμότητα υγροποίησης χαμηλότερη από τα μη οργανικά
- συντελεστή θερμικής αγωγιμότητας χαμηλότερο από τα μη οργανικά
- αναφλέξιμα σε σχετικά χαμηλές θερμοκρασίες (περίπου 200ο C)
- πυκνότητα χαμηλότερη από τα μη οργανικά

b) Ανόργανα

Πλεονεκτήματα ανόργανων PCMs:

- Μεγαλύτερη τιμή της λανθάνουσας θερμότητας υγροποίησης
- Μη αναφλέξιμα
- Πυκνότητα υψηλότερη από τα οργανικά

Μειονεκτήματα ανόργανων PCMs:

- Διαβρωτικά (απαραίτητη αποθήκευση των υλικών σε ενισχυμένη συσκευασία)
- Εμφάνιση supercooking
- Διαχωρισμός των φάσεων (μεταβλητή τιμή της διαλυτότητας με την θερμοκρασία) και δυνατή η δημιουργία ιζήματος
- Αβέβαιη θερμική σταθερότητα σε κυκλική φόρτιση
- Αρκετά μεγαλύτερο κόστος αγοράς από τα οργανικά
- Υδροσκοπικά υλικά με αποτέλεσμα εκφυλισμό των ιδιοτήτων τους σε βάθος χρόνου αν μείνουν εκτεθειμένα σε περιβάλλον με υγρασία

c) Ευτηκτα μίγματα

Πλεονεκτήματα εύτηκτων μιγμάτων

- Υψηλή τιμή θερμοχωρητικότητας
- Ακριβές σημείο τήξης

Μειονεκτήματα εύτηκτων μιγμάτων

- Περιορισμένη διαθεσιμότητα

9.3 Κριτήρια – Απαιτήσεις επιλογής PCM [43,44,45,46,47]

Το ιδανικό PCM πρέπει να διαθέτει ορισμένες επιθυμητές ιδιότητες ώστε να ικανοποιεί τους σκοπούς για τους οποίους το χρησιμοποιούμε. Οι σημαντικότερες από αυτές φαίνονται παρακάτω:

- **Κριτήρια με βάση τις θερμικές και φυσικές ιδιότητες**
 - θερμοκρασία τήξης μέσα στο προκαθορισμένο θερμοκρασιακό εύρος
 - υψηλή τιμή λανθάνουσας θερμότητας ανά μονάδα μάζας
 - υψηλή τιμή ειδικής θερμότητας
 - υψηλή πυκνότητα
 - υψηλή θερμική αγωγιμότητα
 - μικρές αλλαγές στον όγκο κατά τη διάρκεια της αλλαγής φάσης
 - χαμηλή πίεση ατμών

- **Κριτήρια με βάση τις χημικές ιδιότητες**
 - χημική σταθερότητα
 - πλήρως αναστρέψιμη διαδικασία τήξης-πτήξης
 - μη εμφάνιση χημικής αποσύνθεσης
 - συμβατότητα με τα υλικά που χρησιμοποιούνται για τη θερμική αποθήκευση
 - μη δηλητηριώδη
 - μη τοξικά
 - μη αναφλέξιμα

Σε ότι αφορά στην μη αναφλεξιμότητα του PCM, οι Salyer και Sircar παρουσίασαν ένα δοκίμιο πάνω στην αντίδραση των PCM στη φωτιά και τόνισαν την πιθανότητα προσθήκης ουσιών που ονομάζονται fire-retardants και οι οποίες βελτιώνουν την

αντίδραση του υλικού σε περίπτωση πυρκαγιάς. Οι Banu et al πραγματοποίησαν δοκιμές αναφλεξιμότητας σε γυψοσανίδες, οι οποίες ήταν διαποτισμένες με περίπου 24% οργανικό PCM και οι οποίες έδειξαν ότι οι γυψοσανίδες δεν πληρούν όλες τις προϋποθέσεις σχετικά με το ενδεχόμενο έναρξης φωτιάς. Όμως, ανέφεραν την πιθανότητα μείωσης της αναφλεξιμότητας της γυψοσανίδας που αποθηκεύει θερμότητα με την ενσωμάτωση των fire-retardants.

- **Οικονομικά κριτήρια**

- χαμηλό κόστος
- μεγάλες διαθέσιμες ποσότητες

Η τιμή των ΥΑΦ γενικά δεν είναι αντιπροσωπευτική για το άμεσο μέλλον καθώς θα επηρεαστεί από το εύρος εφαρμογής των υλικών και τη διάδοση της χρήσης τους. Πάντως η επίτευξη θερμικού ελέγχου των χώρων είναι κρίσιμη για την αειφόρο ανάπτυξη στον κτιριακό τομέα. Εφόσον όμως η εφαρμογή των ΥΑΦ μπορεί να συντελέσει αποτελεσματικά στην εξοικονόμηση ενέργειας, το αρχικό κόστος εγκατάστασης μπορεί να εξισορροπηθεί από την εξοικονόμηση αυτή.

Συμπεραίνουμε λοιπόν ότι τα υλικά αλλαγής φάσης δεν είναι δυνατόν να πληρούν για κάθε εφαρμογή όλες τις παραπάνω προϋποθέσεις και ιδιότητες. Γι' αυτό η επιλογή ενός τέτοιου υλικού γίνεται συνήθως σε σχέση με τη θερμοκρασία αλλαγής φάσης, την ενθαλπία, τη σταθερότητα σε κυκλική φόρτιση και την υπόψυξη, παράγοντες οι οποίοι είναι πολύ σημαντικοί για τη σωστή λειτουργία του.

Table 3. Selection criteria [8].

Thermodynamic properties	(1) Melting temperature in desired range
	(2) High latent heat of fusion per unit volume
	(3) High thermal conductivity
	(4) High specific heat and high density
	(5) Small volume changes on phase transformation and small vapor pressure at operating temperatures to reduce the containment problems
	(6) Congruent melting
Kinetic properties	(1) High nucleation rate to avoid super cooling
	(2) High rate of crystal growth to meet demands of heat recovery from the storage system
Chemical properties	(1) Complete reversible freezing/melting cycle
	(2) Chemical stability
	(3) No degradation after a large number of freezing/melting cycle
	(4) No corrosiveness
	(5) No toxic, no flammable and no explosive material
Economic properties	(1) Effective cost
	(2) Large-scale availabilities

Εικόνα 9.3.1 Κριτήρια επιλογής PCM [61]

9.4 Συσκευασία PCM και Αγορα [40,51,62]

Ένα πρόβλημα στις εφαρμογές των PCM είναι η δυσκολία έλεγχου της υγρής τους φάσης όταν βρίσκονται ελεύθερα στα σημεία τοποθέτησης, καθώς υπάρχει κίνδυνος διαρροής, επίσης η επαφή τους με το περιβάλλον μπορεί να βλάψει το περιβάλλον ή να αλλάξει τη σύνθεση του PCM. Για την αντιμετώπισή των προαναφερθέντων, τα PCM βρίσκονται συνήθως μέσα σε στεγανό περίβλημα. Τα περιβλήματα που χρησιμοποιούνται είναι διαφόρων μεγεθών και σχημάτων και συνήθως διευκολύνουν τη μετάδοση της αποθηκευμένης θερμότητας καθώς η επιφάνεια της εκάστοτε συσκευασίας δρα ως επιφάνεια μετάδοσης θερμότητας.

Έχουν αναπτυχθεί δύο τρόποι συσκευασίας των PCM

1) **Μακροενσωμάτωση (macro encapsulation):**

Ενσωμάτωση σε κάψουλες διαμέτρου μεγαλύτερης του 1cm. Είναι η πιο δημοφιλής μέθοδος συσκευασίας των PCM. Εκτός από τη συγκράτηση του υγρού υλικού και την προστασία του από την επαφή με το περιβάλλον, η ενσωμάτωση αυτή έχει και άλλα πλεονεκτήματα. Βελτιώνει τη συμβατότητα υλικού-περιβάλλοντος, διευκολύνει τη μεταχείριση του PCM σε μια παραγωγή και περιορίζει τις εξωτερικές μεταβολές όγκου, πράγματα πολύ σημαντικά στις τεχνικές εφαρμογές.



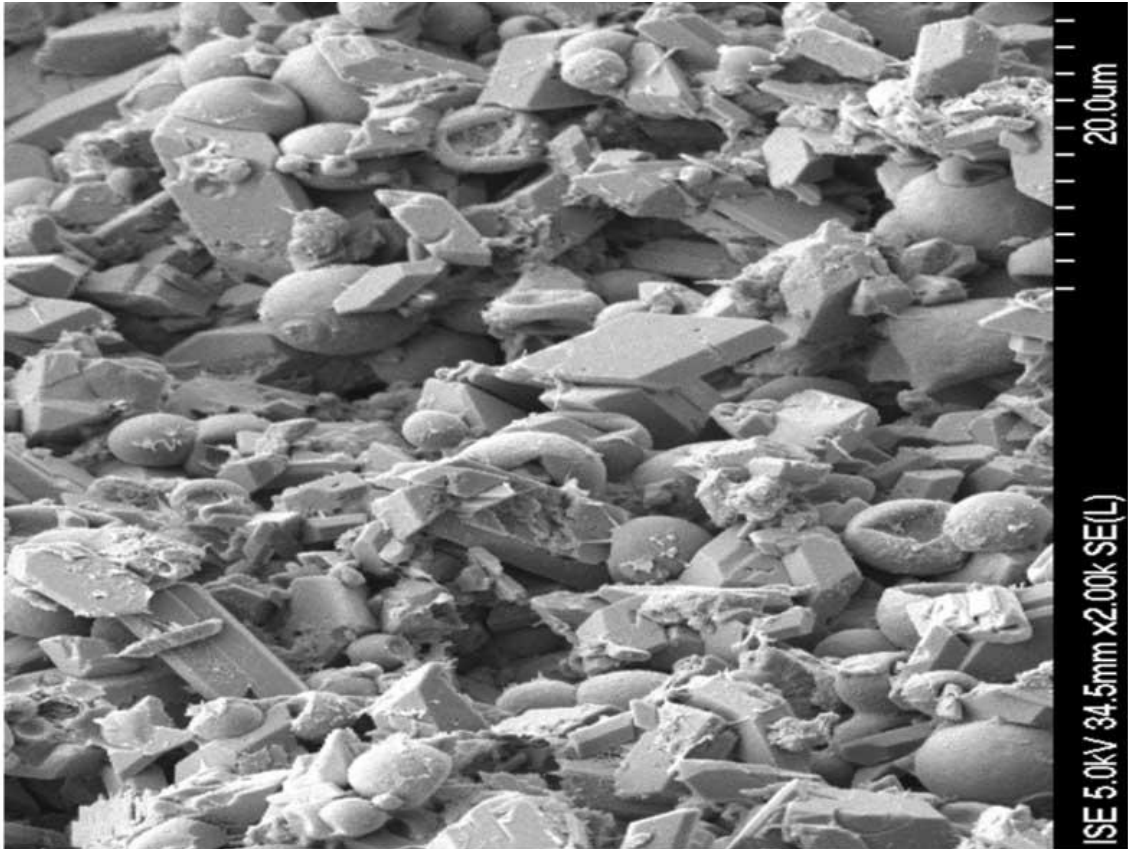
Εικόνα 9.4.1 Macro encapsulation σε σάκους [52]



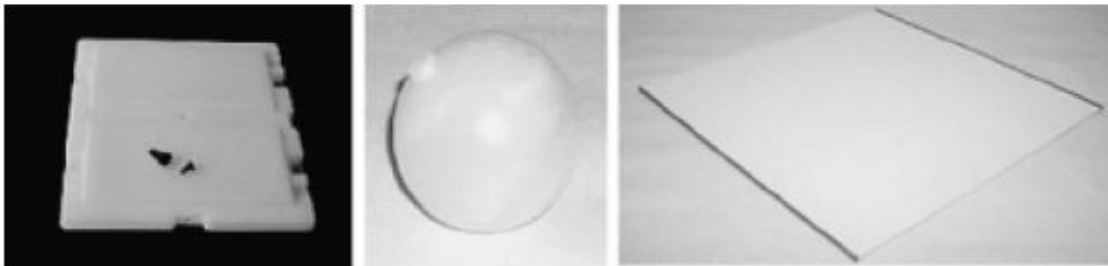
Εικόνα 9.4.2 Macro encapsulation σε αλουμίνια πορτραίτα με πτερύγια για βελτιωμένη μεταφορά θερμότητας [52]

2) Μικροενσωμάτωση (micro encapsulation).

Μια κατηγορία περιβλήματος PCM που έχει τη μορφή σφαιριδίων πολύ μικρών διαστάσεων που δε διακρίνονται με γυμνό μάτι (μικροκάψουλες). Οι μικροκάψουλες (με PCM στο εσωτερικό τους) μπορούν να αναμιχθούν στη μάζα συμβατικών δομικών υλικών. Η διαμέτρος είναι μικρότερη από 1mm. Η τεχνική αυτή αναπτύχθηκε πρόσφατα και εκτός από τα πλεονεκτήματα της προηγούμενης εμφανίζει και τα ακόλουθα: Βελτίωση της μετάδοσης θερμότητας με τη χρήση των μικροκαψουλών. Αυτό συμβαίνει λόγω της μεγάλης επιφάνειας σε αναλογία όγκου των μικροκαψουλών. Επίσης, βοηθούν τη συγκράτηση της υγρής φάσης του PCM, ώστε να μην υπάρχει κάποιου είδους διαρροή προς το περιβάλλον και επιπλέον βελτιώνουν τη θερμική σταθερότητα στη κυκλική φόρτιση του PCM, αφού ο διαχωρισμός των φάσεων περιορίζεται σε μικροσκοπική κλίμακα. Ένα μειονέκτημα της χρήσης μικροκαψουλών είναι ότι η πιθανότητα για υπέρψυξη αυξάνεται. Σήμερα οι μικροκάψουλες, σε εμπορικό επίπεδο, απευθύνονται μόνο σε PCM που είναι αδιάλυτα στο νερό. Εκτός από αυτό, η περίπτωση να χρησιμοποιηθούν μικροκάψουλες για ένυδρα άλατα θέτει ένα ακόμη πρόβλημα. Η σύσφιξη στο υλικό του κελιού στα μικρά μόρια νερού, πρέπει να είναι αρκετή ώστε να αποτρέψει αλλαγή στη σύνθεση του ένυδρου άλατος.



Εικόνα 9.4.3 Εικόνα ηλεκτρονικού μικροσκοπίου με μικροκάψουλες με PCMs (σφαιρίδια) αναμεμιγμένα με υλικά επιχρίσματος. [52]



- **Εικόνα 9.4.4**
 - Επίπεδη συσκευασία (Kissmann – Γερμανία)
 - Σφαίρες PCM
 - Μπάρες διπλών πιάτων (Dorken – Γερμανία) [52]

Η διαθεσιμότητα των εμπορικών ΥΑΦ, των σύνθετων υλικών από ΥΑΦ και των συσκευασμένων ΥΑΦ είναι καθοριστικής σημασίας για την ανάπτυξη και την εμπορευματοποίηση των εφαρμογών με ΥΑΦ. Τα εμπορικά ΥΑΦ ή τα σύνθετα υλικά που περιέχουν ΥΑΦ πρέπει να πληρούν περισσότερες απαιτήσεις σε σύγκριση με τα συσκευασμένα ΥΑΦ. Συχνά ένα καθαρό ΥΑΦ δεν μπορεί να πουληθεί εξαιτίας της ειδικής μεταχείρισής του για παράδειγμα όσον αφορά την περιεκτικότητά του σε νερό. Όταν όμως τέτοια υλικά συσκευασθούν δεν τίθεται πρόβλημα πώλησής τους.

Συνήθως, είναι απαραίτητο τα κύρια χαρακτηριστικά των προϊόντων ΥΑΦ να είναι καλά τεκμηριωμένα. Γι' αυτό το λόγο έχει αναπτυχθεί από την ZAE Bayern και την FhG-ISE ένα πρότυπο για τον έλεγχο της ποιότητας των προϊόντων. Από την άνοιξη του 2007 το σήμα που φαίνεται παρακάτω υποδεικνύει ότι ένα ΥΑΦ έχει ελεγχθεί σύμφωνα με το πρότυπο αυτό. [51]



Εικόνα 9.4.5 Πρότυπο ελέγχου ποιότητας PCM

Αυτή τη στιγμή είναι διαθέσιμα στην αγορά περισσότερα από 50 εμπορικά PCM από τις εταιρίες RUBITHERM GmbH, Dorken GmbH & Co. KG, Climator AB, TEAP, CRISTOPIA Energy Systems και Mitsubishi Chemical. Οι τιμές τους ξεκινούν από 0.5 και φτάνουν έως τα 10 € / kg.

Το κερί παραφίνης είναι η πιο συχνά χρησιμοποιούμενη μορφή στο εμπόριο ως οργανικό PCM αποθήκευσης θερμότητας, προσδιορίστηκε από τον Carl Reichenbach το 1830 βρίσκεται κυρίως ως ένα λευκό, άοσμο, άγευστο και κυρώδες στερεό, με τυπικό σημείο τήξης μεταξύ 46° C και 68° C, έχοντας πυκνότητα περίπου 0,9. Είναι αδιάλυτο

στο νερό, αλλά διαλυτό στη βενζίνη ή σε συγκεκριμένους εστέρες, επίσης είναι ένας καλός αγωγός ηλεκτρισμού. Επιπλέον παρέχει χημική και θερμική σταθερότητα, χαμηλό κόστος αγοράς σε σχέση με τις άλλες κατηγορίες PCM και η παραγωγή του γίνεται για ποικίλες εμπορικές εφαρμογές.



Εικόνα 9.4.7 Κερί παραφίνης [49,50]

Γενικά, το κόστος των υλικών προς το παρόν για τα εμπορικά διαθέσιμα PCM είναι αρκετά υψηλό (ενδεικτική τιμή 0.5-10 €/kg). Αυτό σημαίνει ότι η αποθήκευση $1\text{kWh}=3600\text{kJ}$ απαιτεί 20kg PCM (με πυκνότητα αποθήκευσης 180kJ/kg) ή $20 \cdot 0.5 = 10\text{€}$. Αν υποθέσουμε ότι η συμβατική ενέργεια κοστίζει 0.05 €/kWh, η αποπληρωμή της επένδυσης απαιτεί $10/0.05 = 200$ κύκλους χρήσης.

PCN name	Type of product	Melting point (°C)	Heat of fusion (kJ/kg)	Source
RT 20	Paraffin	22	172	Rubitherm GmBH
Climsel C23	Salt hydrate	23	148	Climator
Climsel C24	Salt hydrate	24	216	Climator
RT 26	Paraffin	25	131	Rubitherm GmBH
RT 25	Paraffin	26	232	Rubitherm GmBH
STL 27	Salt hydrate	27	213	Mitsubishi chemical
S27	Salt hydrate	27	207	Cristopia
RT 30	Paraffin	28	206	Rubitherm GmBH
RT 27	Paraffin	28	179	Rubitherm GmBH
TH 29	Salt hydrate	29	188	TEAP
Climsel C32	Salt hydrate	32	212	Climator
RT 32	Paraffin	31	130	Rubitherm GmBH

Εικόνα 9.4.8 Εμπορικά PCM διαθέσιμα στη διεθνή αγορά [48]

9.5 Ιδιότητες [42,53,54]

Ένα ιδανικό PCM χαρακτηρίζεται απ' τις παρακάτω ιδιότητες:

- **Υψηλή θερμοχωρητικότητα**

Η υψηλή τιμή της θερμοχωρητικότητας σε συνδυασμό με την υψηλή τιμή της ενθαλπίας τήξης δίνει στο ΥΑΦ μεγάλη δυνατότητα αποθήκευσης ενέργειας.

- **Λανθάνουσα θερμότητα**

Η μεγάλη τιμή της λανθάνουσας θερμότητας ενός ΥΑΦ αποτελεί σημαντικό πλεονέκτημα στην αποθήκευση θερμικής ενέργειας. Όμως, αυτό πρέπει να σταθμίζεται και σε σχέση με άλλους παράγοντες και ιδιότητες. Τα άλατα με υψηλό ποσοστό υγρασίας, όπως τα ένυδρα άλατα λόγω της μεγάλης περιεκτικότητάς τους σε νερό έχουν μεγάλη τιμή λανθάνουσας θερμότητας. Ωστόσο, αυτά συνήθως έχουν ανάρμοστη ή ημι-ανάρμοστη συμπεριφορά κατά την τήξη με αποτέλεσμα να απαιτείται σημαντική τροποποίηση του ΥΑΦ. Για παράδειγμα, τέτοιου είδους άλατα χάνουν την ικανότητά τους να αποθηκεύσουν θερμότητα, όταν χρησιμοποιούνται πτητικά μέσα, τροποποιητές κρυστάλλωσης ή επιστρώσεις κρυστάλλου. Τα πρόσθετα αυτά παρεμβαίνουν επίσης στη μεταφορά θερμικής ενέργειας εμποδίζοντας τη μεταφορά θερμότητας με συναγωγή κατά τη διάρκεια της διαδικασίας της τήξης.

- **Υψηλό συντελεστή θερμικής αγωγιμότητας**

Τα ΥΑΦ μειονεκτούν παρουσιάζοντας μικρό συντελεστή θερμικής αγωγιμότητας κάτι που όμως αντιμετωπίζεται αυξάνοντας την επιφάνεια μετάδοσης της θερμότητας.

- **Διαχωρισμός φάσεων**

Η μεγάλη θερμοαποθηκευτική ικανότητα των ένυδρων αλάτων συνήθως μειώνεται με τους κύκλους φόρτισης του υλικού. Κύρια αίτια εκφυλισμού των θερμικών ιδιοτήτων των υλικών είναι ο διαχωρισμός φάσεων του υλικού και ο πιθανός σχηματισμός άνυδρων αλάτων με δημιουργία ιζήματος. Το φαινόμενο αυτό λαμβάνει χώρα κυρίως στα ένυδρα άλατα λόγω του ότι αυτά τήκονται

σύμφωνα με το κατώτερο συστατικό του μίγματος, δημιουργώντας μη αναστρέψιμη διαδικασία που οδηγεί σε εξασθένηση των ιδιοτήτων.

- **Δοχεία αποθήκευσης**

Η χρησιμότητα των δοχείων αποθήκευσης των ΥΑΦ δεν περιορίζεται μόνο στο να συγκρατούν το τηγμένο μέσο αποθήκευσης θερμότητας αλλά λειτουργούν και ως φράγμα ατμών και ως μια δομή στήριξης του ΥΑΦ στην υγρή και τη στερεή κατάσταση. Το υλικό από το οποίο κατασκευάζονται τα δοχεία αποθήκευσης θα πρέπει να εμποδίζει την απώλεια ή την ανάκτηση υγρασίας από τα ένυδρα άλατα και να παρέχει ένα φράγμα κατά των ατμών από τα οργανικά ΥΑΦ. Όσο μεγαλύτερη είναι η πίεση του ατμού τόσο μεγαλύτερες είναι οι απαιτήσεις στις οποίες πρέπει να ανταποκριθούν τα δοχεία αποθήκευσης. Θα πρέπει ακόμα να μπορούν να αντισταθμίζουν τις δυνάμεις διαστολής και συστολής που δημιουργούνται κατά τη διάρκεια της αλλαγής φάσης.

- **Μικρή αλλαγή όγκου κατά τη διάρκεια αλλαγής φάσης**

Τα ΥΑΦ με μικρότερες μεταβολές όγκου απαιτούν λιγότερο αυστηρές ιδιότητες των δοχείων αποθήκευσης.

- **Πυκνότητα**

Η μεγάλη τιμή της πυκνότητας είναι σημαντική αφού περισσότερη θερμότητα θα μπορεί να αποθηκευτεί σε δεδομένο όγκο. Ωστόσο, η αύξηση της θερμότητας συνοδεύεται συχνά από μείωση της τιμής της λανθάνουσας θερμότητας. Για παράδειγμα, όταν το ατομικό βάρος ενός κατιόντος ένυδρου άλατος αυξάνει, η πυκνότητα αυξάνεται αλλά ελαττώνεται η λανθάνουσα θερμότητα ανά μονάδα βάρους. Επίσης, όσο το ποσοστό υγρασίας του άλατος αυξάνει, η τιμή της πυκνότητας πέφτει ενώ η λανθάνουσα θερμότητα αυξάνεται λόγω της υψηλής περιεκτικότητας σε νερό.

- **Θερμική σταθερότητα σε κυκλική φόρτιση**

Τα ΥΑΦ χαρακτηρίζονται από σταθερότητα όσο αφορά τους θερμικούς κύκλους από υγρή σε στερεή φάση. Για να είμαστε σίγουροι ότι το υλικό δεν αλλάζει τις

ιδιότητες του πρέπει να γίνονται μετρήσεις για πάνω από 1000 επαναλαμβανόμενους κύκλους.

- **Ιδανική θερμοκρασία αλλαγής φάσης**

Σε όλες σχεδόν τις θερμοκρασιακές περιοχές υπάρχουν εφαρμογές αποθήκευσης θερμότητας. Η κάθε εφαρμογή απαιτεί και διαφορετική θερμοκρασία τήξης του ΥΑΦ γιατί είναι βασικό να συμφωνεί με τη εκάστοτε θερμοκρασία λειτουργίας του συστήματος θέρμανσης ή ψύξης. Για παράδειγμα στον κτιριακό τομέα που μας ενδιαφέρει τα ΥΑΦ που χρησιμοποιούνται πρέπει να έχουν θερμοκρασία τήξης περίπου στη θερμοκρασία του δωματίου (20° C).

- **Μη εμφάνιση υπέρψυξης**

Το φαινόμενο της υπέρψυξης (supercooling) αποτελεί μια ενοχλητική πλευρά στην ανάπτυξη των ΥΑΦ και ειδικότερα των ένυδρων αλάτων. Εάν το σημείο τήξης βρίσκεται ψηλότερα απ' το σημείο στερεοποίησης τότε εμφανίζεται το φαινόμενο της υπέρψυξης ή αλλιώς υπόψυξης. Τα ΥΑΦ που χρησιμοποιούμε θα πρέπει να περιορίζουν το φαινόμενο αυτό ή ακόμα καλύτερα να μην εμφανίζεται καθόλου. Ευτυχώς, όταν είναι δυνατόν να εισαχθούν πρόσθετα που θα βοηθήσουν το σχηματισμό των πυρήνων, το πρόβλημα λύνεται. Συνήθως, ένα ΥΑΦ επιλέγεται με θερμοκρασία τήξης 5 έως 10° C μεγαλύτερη από τη θερμοκρασία λειτουργίας του συστήματος. Αυτό ελαχιστοποιεί τις απώλειες θερμότητας και επιπλέον παρέχει αρκετή διαφορά θερμοκρασίας έτσι ώστε να διατηρείται η καλή μετάδοση θερμότητας. Το φαινόμενο της υπέρψυξης σε περισσότερους από μερικούς βαθμούς θα εμποδίζει τη σωστή απαγωγή θερμότητας από το δοχείο αποθήκευσης. Ακόμα κι αν το φαινόμενο αυτό δεν υπάρχει, μια εκ φύσεως ανάπτυξη κρυστάλλων με αργό ρυθμό μπορεί να περιορίσει το ποσοστό της αξιοποίησης της αποθηκευμένης θερμότητας.

- **Χαμηλή τιμή και διαθεσιμότητα**

Τα υλικά πρέπει να είναι οικονομικά αποτελεσματικά. Οι χημικές ουσίες ή οι πρώτες ύλες τους πρέπει να είναι άφθονες και διαθέσιμες. Η χαμηλή τιμή του ΥΑΦ αποτελεί κύριο στόχο κατά την επιλογή των μέσων αποθήκευσης αφού πολλές εφαρμογές των ΥΑΦ μπορεί να κριθούν ακατάλληλες λόγω του υψηλού κόστους.

9.6 Μέθοδοι μέτρησης ιδιοτήτων [63,64,65]

Ο υπολογισμός των ιδιοτήτων των PCMs είναι ζήτημα εξαιρετικής σημασίας για την επιλογή υλικού ανά εφαρμογή. Η θερμική ανάλυση περιλαμβάνει μια ομάδα από τεχνικές με τις οποίες μια φυσική ιδιότητα μιας ουσίας μετριέται ως συνάρτηση της θερμοκρασίας, ενώ η ουσία υποβάλλεται σε ελεγχόμενο πρόγραμμα θερμοκρασίας. Στις μεθόδους θερμικής ανάλυσης απαιτείται προσοχή κατά την προετοιμασία του δείγματος για μέτρηση, καθώς θα πρέπει να ληφθεί υπόψη ότι το δείγμα πρέπει να εκπροσωπεί το υλικό που διερευνάται. Μερικά PCM είναι ανομοιογενή ή σύνθετα υλικά, ή περιέχουν παράγοντες πυρήνωσης που δεν μπορούν να διαλυθούν στην υγρή φάση. Προκείμενου να υπάρχει διαβεβαίωση ότι το δείγμα έχει τη σωστή φυσική και χημική σύνθεση αντιπροσωπευτική του μεγαλύτερου μέρους του υλικού, ο όγκος του θα πρέπει να είναι κάποια 3 cm ή περισσότερο, αν είναι δυνατόν. Επίσης, η εμφάνιση της υπόψυξης είναι πολύ πιο συχνή σε μικρά δοχεία. Καθώς το PCM για αποθήκευση θερμότητας και κρούς εφαρμόζεται σε ποσότητες κιλών ή τόνων, το μέγεθος του δείγματος επομένως θα πρέπει να είναι όσο το δυνατόν μεγαλύτερο από αυτή την άποψη. Από την άλλη πλευρά όμως, μεγαλύτερα μεγέθη δειγμάτων οδηγούν σε μεγαλύτερες κλίσεις θερμοκρασίας στο εσωτερικό του δείγματος κατά τη διάρκεια της μέτρησης. Συνήθως η θερμοκρασία μετράται σε ένα μόνο σημείο του δείγματος, έτσι είναι σημαντικό να ελαχιστοποιηθούν οι θερμοκρασιακές διαφορές στο δείγμα, ώστε να έχουμε μια καλή συμφωνία μεταξύ της πραγματικής και της μετρούμενης θερμοκρασίας του δείγματος.

Στη συνέχεια θα δοθεί η αρχή λειτουργίας των συνηθέστερων μεθόδων καθώς και θα πραγματοποιηθεί περιγραφή των πειραματικών διατάξεών τους, που χρησιμοποιούνται για μέτρηση του σημείου τήξης, της ειδικής θερμοχωρητικότητας υπό σταθερή πίεση και της λανθάνουσας θερμότητας υγροποίησης - στερεοποίησης.

9.6.1 Διαφορική Θερμική Ανάλυση (DTA) [64,66]

Διαφορική Θερμική Ανάλυση ή DTA είναι μια τεχνική θερμικής ανάλυσης κατά την οποία μετράται η διαφορά θερμοκρασίας που αναπτύσσεται μεταξύ ενός δείγματος του υλικού που εξετάζεται και ενός αδρανούς υλικού αναφοράς όταν αμφότερα υπόκεινται σε πανομοιότυπο θερμοκρασιακό καθεστώς εντός περιβάλλοντος ελεγχόμενης θέρμανσης ή ψύξης. Στη συνέχεια οι διαφορές αυτές της θερμοκρασίας που παρατηρούνται κατά τη

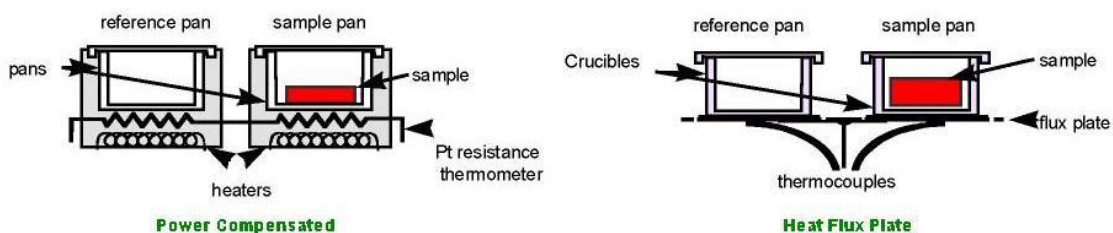
θέρμανση ή τη ψύξη του δείγματος και του υλικού αναφοράς καταγράφονται είτε συναρτήσει του χρόνου είτε συναρτήσει της θερμοκρασίας (καμπύλη DTA). Έτσι τυχόν αλλαγές στο δείγμα που οδηγούν στην απορρόφηση ή έκλυση θερμότητας μπορούν να ανιχνευθούν μετά από σύγκριση με το αδρανές υλικό αναφοράς. Εκτός όμως από διαφορές θερμοκρασίας μεταξύ δείγματος και υλικού αναφοράς, διαφορές θερμοκρασίας μπορούν να προκύψουν μεταξύ δύο αδρανών δειγμάτων όταν η απόκριση τους στη θερμική επεξεργασία που εφαρμόζεται δεν είναι ταυτόσημη. Επομένως η DTA μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τη μελέτη των θερμικών ιδιοτήτων και των αλλαγών φάσης χωρίς μεταβολή της ενθαλπίας. Η καμπύλη της DTA παρέχει στοιχεία σχετικά με τους μετασχηματισμούς που έχουν σημειωθεί, όπως είναι οι μεταβάσεις γυαλιού, η κρυστάλλωση, η τήξη και η εξάχνωση. Η μορφή της παρουσιάζει ασυνέχειες στις θερμοκρασίες μετάβασης και η κλίση της καμπύλης σε οποιοδήποτε σημείο θα εξαρτηθεί από τη συγκρότηση της μικροδομής στη συγκεκριμένη θερμοκρασία. Ειδικότερα η καμπύλη DTA μπορεί να αποτελείται από γραμμικά τμήματα μετατοπιζόμενα από την τετμημένη διότι οι θερμοχωρητικότητες και οι θερμικές αγωγιμότητες των δειγμάτων δοκιμής και αναφοράς δεν είναι ίδιες, και από κορυφές που αντιστοιχούν στην έκλυση ή απορρόφηση της θερμότητας μετά από φυσικές ή χημικές αλλαγές στο εξεταζόμενο δείγμα. Έτσι η περιοχή που βρίσκεται κάτω από ένα μέγιστο της καμπύλης DTA, η μορφή του οποίου εξαρτάται από το βάρος του δείγματος και το ρυθμό θέρμανσης που χρησιμοποιείται, αντιστοιχεί στη μεταβολή της ενθαλπίας και δεν επηρεάζεται από τη θερμοχωρητικότητα του δείγματος. Μια καμπύλη DTA μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως δακτυλικό αποτύπωμα για σκοπούς ταυτοποίησης αν και συνήθως οι εφαρμογές της μεθόδου αυτής είναι ο προσδιορισμός των διαγραμμάτων φάσης, μετρήσεις της θερμότητας ανταλλαγής και αποσύνθεσης σε διάφορες ατμόσφαιρες.

Η DTA αποτελείται από ένα σύστημα συγκράτησης του δείγματος που περιλαμβάνει θερμοζεύγη, τα δοχεία δείγματος και μια κεραμική ή μεταλλική κατασκευή (block), από έναν κλίβανο, έναν προγραμματιστή θερμοκρασίας, και ένα σύστημα καταγραφής. Ο κλίβανος θα πρέπει να παρέχει μια σταθερή και αρκετά μεγάλη ζεστή ζώνη και πρέπει να μπορεί να ανταποκρίνεται γρήγορα στις εντολές από το προγραμματιστή θερμοκρασίας. Ένας προγραμματιστής θερμοκρασίας τώρα είναι απαραίτητος για να επιτευχθεί σταθερός ρυθμός θέρμανσης. Το καταγραφικό σύστημα έπειτα πρέπει να έχει χαμηλή αδράνεια για να αναπαραγάγει πιστά τις διακυμάνσεις στην πειραματική διάταξη.

Το πιο σημαντικό όμως από όλα είναι η ύπαρξη των δύο θερμοζευγών του συστήματος συγκράτησης που συνδέονται με ένα βολτόμετρο. Το ένα θερμοζεύγος τοποθετείται σε ένα αδρανές υλικό, όπως $2/3 \text{ Al}_2\text{O}_3$, ενώ το άλλο τοποθετείται σε ένα δείγμα του υλικού που μελετάται. Καθώς η θερμοκρασία αυξάνεται, θα υπάρξει μια σύντομη εκτροπή του βολτόμετρο αν το δείγμα υφίσταται μετάβαση φάσης. Αυτό συμβαίνει επειδή η είσοδος της θερμότητας θα αυξήσει τη θερμοκρασία της αδρανούς ουσίας, αλλά θα ενσωματωθεί ως λανθάνουσα θερμότητα στο υλικό με αλλαγή της φάσης του.

9.6.2 Διαφορική Θερμιδομετρία Σάρωσης (DSC) [67,68]

Διαφορική θερμιδομετρία σάρωσης ή DSC είναι μια τεχνική θερμικής ανάλυσης κατά την οποία η διαφορά στο ποσό της θερμότητας που απαιτείται για την αύξηση της θερμοκρασίας ενός δείγματος και ενός υλικού αναφοράς, μετρείται ως συνάρτηση της θερμοκρασίας. Ειδικότερα μετρά την θερμοκρασία και τη ροή θερμότητας που συνδέονται με μεταβάσεις στα υλικά ως συνάρτηση του χρόνου και της θερμοκρασίας. Παρέχει ποιοτικές και ποσοτικές πληροφορίες σχετικά με τις φυσικές και χημικές αλλαγές που αφορούν ενδόθερμες ή εξώθερμες διαδικασίες ή αλλαγές στη θερμοχωρητικότητα χρησιμοποιώντας ελάχιστες ποσότητες του δείγματος. Έχει πολλά πλεονεκτήματα όπως γρήγορο χρόνο ανάλυσης, συνήθως τριάντα λεπτά, εύκολη προετοιμασία του δείγματος, εφαρμοσιμότητα όχι μόνο στα υγρά αλλά και στα στερεά, δυνατότητα εφαρμογής σε ένα ευρύ φάσμα θερμοκρασίας κλπ. Τόσο το δείγμα όσο και το υλικό αναφοράς διατηρούνται σχεδόν στην ίδια θερμοκρασία σε όλο το πείραμα. Σε γενικές γραμμές, το πρόγραμμα θερμοκρασίας για μια ανάλυση DSC είναι σχεδιασμένο έτσι ώστε η θερμοκρασία του δείγματος να αυξάνεται γραμμικά ως συνάρτηση του χρόνου. Το δείγμα αναφοράς επίσης πρέπει να έχει μια καλά καθορισμένη θερμοχωρητικότητα στην περιοχή των θερμοκρασιών που πρόκειται να σαρωθεί. Υπάρχουν δύο είδη οργάνων DSC σήμερα που χρησιμοποιούνται: τα όργανα «ροής θερμότητας» και «αντιστάθμισης ισχύος», τα οποία αν και είναι ριζικά διαφορετικά στο σχεδιασμό, τα δεδομένα που παράγονται είναι συγκρίσιμα.



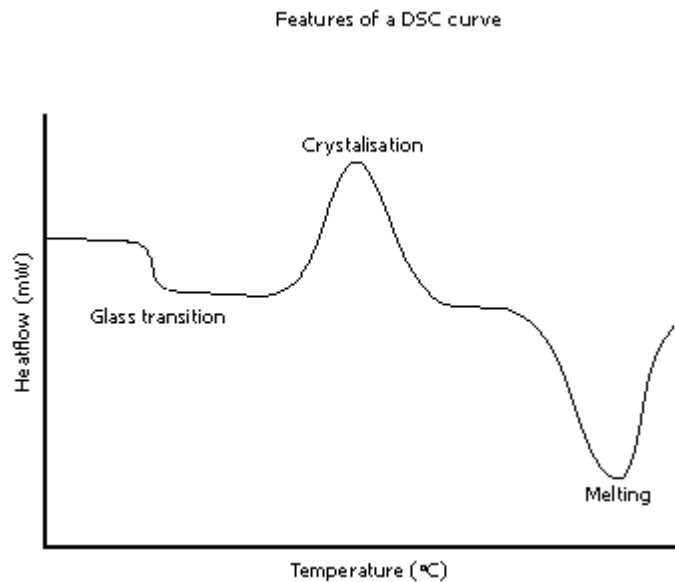
Εικόνα 9.6.2.1 Σχηματική απεικόνιση του εξοπλισμού για κάθε ρύθμιση της μεθόδου DSC [69]

Η βασική αρχή που διέπει αυτήν την τεχνική είναι ότι όταν το δείγμα υφίσταται κάποιο φυσικό μετασχηματισμό όπως μεταβάσεις φάσης, περισσότερη ή λιγότερη θερμότητα, θα χρειαστεί να ρεύσει σε αυτό από ό, τι στο υλικό αναφοράς για να διατηρηθεί και στα δύο η ίδια θερμοκρασία. Κατά πόσο λιγότερη ή περισσότερη θερμότητα πρέπει να μεταβιβαστεί προς το δείγμα εξαρτάται από το αν η διαδικασία είναι εξώθερμη ή ενδόθερμη. Για παράδειγμα, καθώς στερεό δείγμα λιώνει σε ένα υγρό θα απαιτηθεί περισσότερη ροή θερμότητας προς το δείγμα για αύξηση της θερμοκρασίας του με τον ίδιο ρυθμό με το υλικό αναφοράς. Αυτό οφείλεται στην απορρόφηση θερμότητας από το δείγμα, καθώς υφίσταται ενδόθερμη μετάβαση φάσης από στερεό σε υγρό. Ομοίως, καθώς το δείγμα υφίσταται εξώθερμες διαδικασίες (όπως είναι η κρυστάλλωση) λιγότερη θερμότητα απαιτείται για να αυξηθεί η θερμοκρασία του δείγματος.

Παρατηρώντας τη διαφορά στη ροή θερμότητας μεταξύ του δείγματος και του υλικού αναφοράς, διαφορικά θερμιδόμετρα σάρωσης είναι σε θέση να μετρήσουν την ποσότητα της θερμότητας που απορροφάται ή απελευθερώνεται κατά τη διάρκεια τέτοιων μεταβάσεων. Η DSC μπορεί επίσης να χρησιμοποιηθεί για την παρατήρηση πιο λεπτών αλλαγών φάσης, όπως υαλώδεις μεταβάσεις.

Υαλώδεις μεταβάσεις μπορεί να εμφανιστούν καθώς η θερμοκρασία ενός άμορφου στερεού αυξάνεται. Αυτές οι μεταβάσεις εμφανίζονται ως ένα βήμα στη βασική γραμμή του καταγραφόμενου σήματος DSC. Αυτό οφείλεται στο ότι το δείγμα υποβάλλεται σε μια αλλαγή στη θερμοχωρητικότητα με καμιά όμως επίσημη αλλαγή φάσης να εμφανίζεται. Καθώς στη συνέχεια η θερμοκρασία αυξάνεται, το άμορφο στερεό θα γίνει λιγότερο ιξώδες. Σε κάποιο σημείο τα μόρια είναι πιθανό να αποκτήσουν αρκετή ελευθερία κίνησης για να οργανωθούν τα ίδια αυθόρμητα σε μια κρυσταλλική μορφή. Αυτή είναι γνωστή ως θερμοκρασία κρυστάλλωσης (TC). Η μετάβαση αυτή από άμορφο στερεό σε

κρυσταλλικό στερεό είναι μια εξώθερμη διαδικασία, και οδηγεί σε ένα μέγιστο το σήμα DSC. Καθώς η θερμοκρασία συνεχίζει να αυξάνεται το δείγμα φτάνει τελικά θερμοκρασία τήξης του (T_m). Τα αποτελέσματα της διαδικασίας τήξης έχουν σαν αποτέλεσμα μία ενδόθερμη κορυφή στην καμπύλη DSC. Έτσι προκύπτει το ακόλουθο σχήμα για την καμπύλη DSC.



Εικόνα 9.6.2.2 Σχηματική αναπαράσταση της καμπύλης DSC η οποία παρουσιάζει τα σημεία εμφάνισης ορισμένων κοινών χαρακτηριστικών.[67]

Αυτή η δυνατότητα καθορισμού των θερμοκρασιών μετάβασης και των ενθαλπιών κάνει τη DSC ένα πολύτιμο εργαλείο για την παραγωγή διαγραμμάτων φάσης για διάφορα χημικά συστήματα. Όσον αφορά τον υπολογισμό των ενθαλπιών αυτός μπορεί να γίνει με την ενσωμάτωση της κορυφής που αντιστοιχεί σε μια συγκεκριμένη μετάβαση και με τη βοήθεια της ακόλουθης εξίσωσης:

$$\Delta H = KA \quad (9.6.1)$$

Όπου,

- ΔH είναι η ενθαλπία της μετάβασης,
- K είναι η θερμιδομετρική σταθερά, και
- A είναι η περιοχή κάτω από την καμπύλη.

Η θερμιδομετρική σταθερά ποικίλλει από όργανο σε όργανο, και μπορεί να προσδιοριστεί με την ανάλυση ενός σαφώς καθορισμένου δείγματος με γνωστές

ενθαλπίες μετάβασης. Επομένως συνοψίζοντας η Διαφορική Θερμιδομετρία Σάρωσης μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τη μέτρηση πολλών χαρακτηριστικών ιδιοτήτων ενός δείγματος όπως υαλώδεις μεταβάσεις, σημεία τήξης και βρασμού, χρόνος κρυστάλλωσης και θερμοκρασία, ποσοστό κρυσταλλικότητας, θερμότητα τήξης και αντιδράσεις, ειδική θερμότητα και θερμοχωρητικότητα κ.ο.κ. Ακόμα μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τη μελέτη της οξειδωσης, καθώς και άλλων χημικών αντιδράσεων.

9.6.3 Μέθοδος T-history [63.65.70.72]

Αν και οι μέθοδοι DTA και DSC είναι καλά ανεπτυγμένες, οι ανεπάρκειες τους είναι προφανείς: τα δείγματα που ελέγχονται από αυτές είναι πολύ μικρά (1-10 mg), έτσι ώστε οι θερμοφυσικές ιδιότητες των δειγμάτων να είναι συνήθως διαφορετικές από εκείνες του μεγαλύτερου μέρους των υλικών που χρησιμοποιούνται σε πρακτικά συστήματα (για παράδειγμα, για διαδικασίες αλλαγής φάσης υγρό-στερεό των πιο σύνθετων PCMs, ειδικά των ένυδρων αλάτων, εάν το υλικό αλλαγής φάσης τοποθετείται σε ένα μικρό δοχείο, ο βαθμός υπέρψυξης του PCM αυξάνεται, ενώ ο βαθμός του διαχωρισμού φάσης μειώνεται). Ακόμα οι εξοπλισμοί των μετρήσεων με DTA και DSC είναι περίπλοκοι και ακριβή και δεν μπορούν να μετρήσουν θερμοότητες τήξης, ειδικές θερμοότητες και θερμικές αγωγιμότητες διαφόρων δειγμάτων PCM ταυτόχρονα.

Με βάση λοιπόν τις παραπάνω παρατηρήσεις, αναπτύχθηκε μια νέα μέθοδος. Η μέθοδος T-history με βάση την οποία μπορούν να καθοριστούν το σημείο τήξης, ο βαθμός υπέρψυξης, η θερμοκρασία τήξης, η ειδική θερμότητα και η θερμική αγωγιμότητα διαφόρων δειγμάτων PCM ταυτόχρονα. Στη μέθοδο αυτή η οποία παρουσιάστηκε από τον Zhang Yinping το δείγμα PCM και ένα δείγμα με γνωστές θερμικές ιδιότητες των οποίων η θερμοκρασία είναι ομοιόμορφη και ίση με T_o ($T_o > T_m$, όπου T_m είναι η θερμοκρασία τήξης του PCM) υπόκεινται σε ατμοσφαιρικό αέρα η θερμοκρασία του οποίου είναι η $T_{a,\infty}$ (και η οποία μπορεί να είναι χρονικά εξαρτώμενη). Η ιστορία της θερμοκρασίας τους κατά την ψύξη από την ίδια αρχική θερμοκρασία μέχρι τη θερμοκρασία περιβάλλοντος καταγράφεται όπως φαίνεται και στα ακόλουθα σχήματα. Μια σύγκριση των δύο καμπυλών, χρησιμοποιώντας μια μαθηματική περιγραφή της μεταφοράς θερμότητας, επιτρέπει τον προσδιορισμό της θερμοχωρητικότητας, c_p , και της ενθαλπίας, h , του PCM από το γνωστό c_p του υλικού αναφοράς.

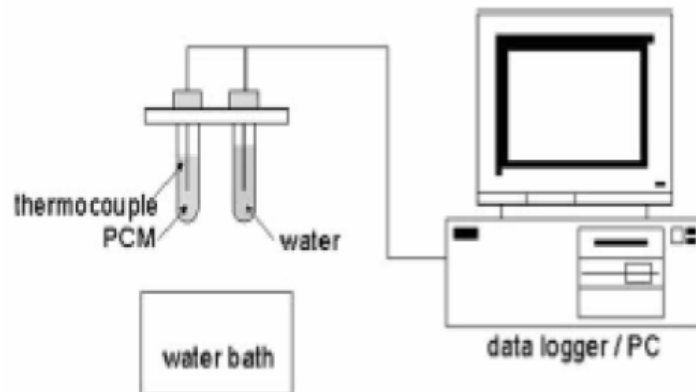
Η πειραματική διάταξη που παρουσιάζεται σε ακόλουθο σχήμα περιλαμβάνει δοκιμαστικούς σωλήνες των οποίων ο λόγος L / D πληροί τον όρο $Bi < 0.1$ που είναι απαραίτητος ώστε η γεωμετρία των σωλήνων να επιτρέπει η μεταφορά της θερμότητας να θεωρείται μονοδιάστατη, και κάθε σωλήνας ως ένα μονοδιάστατο σύστημα μπροστά στον αέρα του περιβάλλοντος. Ο αριθμός Biot ισούται με

$$Bi = \alpha R / (2\lambda) \quad (9.6.2)$$

Όπου

- R είναι η ακτίνα του δείγματος,
- λ η θερμική αγωγιμότητα του και
- α ο συντελεστής μεταφοράς θερμότητας μεταξύ του σωλήνα και του περιβάλλοντος.

Στον έναν από αυτούς τους δύο πανομοιότυπους σωλήνες περιέχεται το PCM, που εξετάζεται και στον άλλο μια ουσία αναφοράς, της οποίας η ειδική θερμότητα είναι γνωστή, συνήθως αποσταγμένο νερό. Εκτός όμως από τους δοκιμαστικούς σωλήνες η πειραματική διάταξη περιλαμβάνει ακόμα μονωμένο ψυχόμενο θάλαμο στον οποίο παρατηρείται μια μικρή μόνο αλλαγή της θερμοκρασίας και αμελητέα κάθετη διαστρωμάτωση της θερμοκρασίας, λουτρό θερμού ύδατος, για τη θέρμανση του δείγματος και του υλικού αναφοράς στην αρχική θερμοκρασία, αισθητήρες θερμοκρασίας, θερμοζεύγη τύπου T για τη μέτρηση της θερμοκρασίας του PCM, του νερού και του ατμοσφαιρικού αέρα και εξοπλισμό λήψης δεδομένων συνδεδεμένο με έναν υπολογιστή.



Εικόνα 9.6.3.1 Σχηματική απεικόνιση της χρησιμοποιούμενης διάταξης για τη μέθοδο T-history [63].

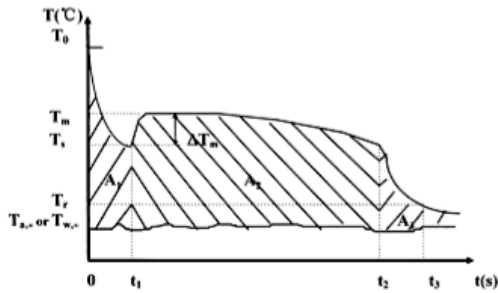


Figure 1. A typical T -history curve of a PCM during a cooling process (with supercooling).

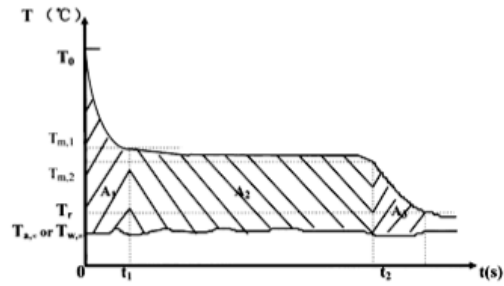
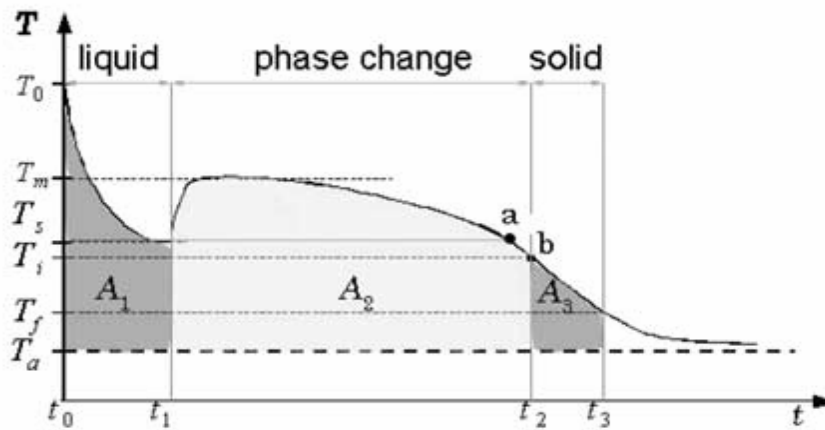
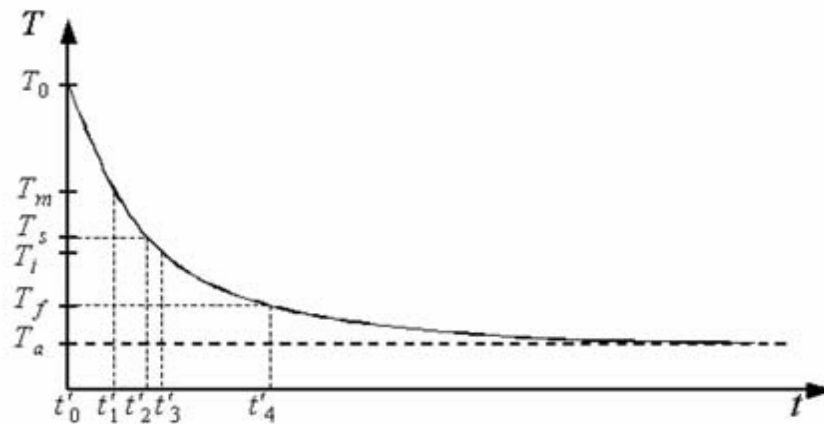


Figure 3. A typical T -history curve of a PCM during a cooling process (without supercooling).

Εικόνα 9.6.3.2 Μια τυπική T-history καμπύλη ενός PCM κατά τη διάρκεια μιας διαδικασίας ψύξης (χωρίς υπέρψυξη δεξιά-με υπέρψυξη αριστερά) [70].



(a) PCM



(b) Pure water

Εικόνα 9.6.3.3 (a): Τυπική T-history καμπύλη ενός PCM κατά τη διάρκεια μιας διαδικασίας ψύξης (με υπέρψυξη). **(b):** Τυπική T- history καμπύλη νερού κατά τη διάρκεια μιας διαδικασίας ψύξης [70].

Συνοψίζοντας τα κύρια πλεονεκτήματα της μεθόδου T-history είναι τα εξής:

- μπορεί να χρησιμοποιηθεί, λόγω του μεγάλου μεγέθους του δείγματος, για τα ανόργανα, οργανικά, ενσωματωμένα σε κάψουλες ή σύνθετα PCM,
- τα εύρη των ρυθμών θέρμανσης και ψύξης και τα θερμοκρασιακά εύρη είναι αρκετά μεγάλα για να ταιριάζουν PCM για πολύ διαφορετικές εφαρμογές και
- τα όργανα μέτρησης και η διαμόρφωση που απαιτείται είναι απλά γεγονός ότι συνεπάγεται χαμηλό κόστος εξοπλισμού
- υπάρχει η δυνατότητα οπτικής παρατήρησης του φαινομένου δηλαδή της διαδικασίας αλλαγής φάσης του δείγματος PCM
- ταυτόχρονη μέτρηση πολλών δειγμάτων σε ένα πείραμα.

Η μέθοδος T-history παρόλο που είναι ένα πολύ χρήσιμο και απλό εργαλείο για τη μέτρηση των θερμικών ιδιοτήτων των μεικτών δειγμάτων, έχει όρια στην ανάλυση των δεδομένων. Ένα από τα κυριότερα προβλήματα στην αρχική μέθοδο είναι να υιοθετηθεί το σημείο απελευθέρωσης της υπέρψυξης ως το τέλος της περιόδου αλλαγής φάσης. Ένας βαθμός υπέρψυξη ποικίλει ανάλογα με συνθήκες όπως είναι η ταχύτητα ψύξης, η καθαρότητα και οι δονήσεις και είναι ανεξάρτητος από το τέλος της αλλαγής φάσης. Έτσι λοιπόν δημιουργήθηκε η τροποποιημένη μέθοδος, η οποία χρησιμοποιεί ένα σημείο καμπής ως το σύνορο μεταξύ των περιόδων της αλλαγής φάσης και της στερεάς κατάστασης, όπου η πρώτη παράγωγος της καμπύλης T-history για PCM γίνεται ελάχιστη. Αυτό μπορεί φυσικά να δικαιολογηθεί από το γεγονός ότι η θερμοκρασία διατηρείται σταθερή ή μειώνεται σταδιακά με την απελευθέρωση λανθάνουσας θερμότητας, αλλά μειώνεται εκθετικά κατά τη διαδικασία ψύξης που συνοδεύει μόνο την αισθητή θερμότητα. Ένα ακόμα πρόβλημα της συγκεκριμένης μεθόδου αποτελεί το γεγονός ότι το σφάλμα των μετρήσεων έχει άμεση σχέση με την προσεκτική κατασκευή της διάταξης και τον εξοπλισμό που χρησιμοποιείται καθώς και τη διεξαγωγή του πειράματος.

9.6.4 Μέθοδος διπλού κελιού (double cell) [73]

Η μέθοδος T-history όπως περιγράφηκε παραπάνω καθώς είναι πολύ απλή, είναι σχετικά χρονοβόρα και προβληματίζει όταν εφαρμόζεται για μακροπρόθεσμη αξιολόγηση της καταπόνησης σε κυκλική φόρτιση. Αναπτύχθηκε επομένως στη συνέχεια μια νέα μέθοδος με την ονομασία «double cell», για τη διενέργεια μακροπρόθεσμων δοκιμών των υλικών PCM. Η μέθοδος «double cell» είναι μέθοδος θερμοδομετρικού τύπου, που επιτρέπει τη μέτρηση και σύγκριση της ικανότητας αποθήκευσης της θερμότητας μετά από πολλούς κύκλους. Η στρατηγική δοκιμών με συσκευές κυκλικής φόρτισης βασίζεται σε εναλλασσόμενη συμμετρική θέρμανση και ψύξη υπό ελεγχόμενες συνθήκες σε ένα σχετικά μεγάλο δείγμα PCM (1-2kg), που βρίσκεται μέσα σε ένα καλά μονωμένο περίβλημα. Αν και δεν είναι τόσο ακριβής μέθοδος για τον προσδιορισμό της χωρητικότητας αποθήκευσης της θερμότητας των μικρών δειγμάτων, πιστεύεται όμως ότι παρέχει τις απαιτούμενες πληροφορίες για τους ερευνητές και σχεδιαστές των εμπορικών ή μεγαλύτερης κλίμακας προϊόντων, που θέλουν να δουν τη συνολική απόδοση αποθήκευσης θερμότητας του μεγαλύτερου μέρους των δειγμάτων σε ένα μεγάλο αριθμό κύκλων. Στη μέθοδο αυτή η ικανότητα αποθήκευσης θερμότητας προσδιορίζεται με μέτρηση της ποσότητας της θερμικής ενέργειας που απαιτείται για να λιώσει το δείγμα PCM υπό σαφώς καθορισμένες συνθήκες.

Το υλικό PCM, με συνολικό βάρος 2.000g, χωρίζεται σε δύο μέρη ίσου μεγέθους, που περικλείονται σε δύο πλαστικές θήκες και τίθενται σε καλά θερμομονωμένο πλαίσιο σε κατακόρυφη θέση. Οι θήκες χωρίζονται από μια λεπτή μεταλλική μεμβράνη και είναι τοποθετημένες μεταξύ δύο θερμαινόμενων / ψυχόμενων πλακών χαλκού. Οι συμμετρικά θερμαινόμενες ή ψυχόμενες θήκες είναι εξοπλισμένες με μια σειρά από αισθητήρες θερμοκρασίας που βρίσκονται και στις δύο πλευρές των θηκών. Οι θήκες υπόκεινται σε εναλλασσόμενους κύκλους θέρμανσης (ηλεκτρική θέρμανση) και ψύξης (ψυκτικό υγρό).

Κατά τη διάρκεια τώρα της θέρμανσης, ο ελεγκτής θερμοκρασίας προσαρμόζει αυτόματα τη θερμοκρασία των πλακών θέρμανσης στην προκαθορισμένη θερμοκρασία (π.χ. 60°C για τον κύκλο θέρμανσης). Ο κύκλος θέρμανσης διαρκεί για όσο διάστημα απαιτείται για να επιτευχθεί η προκαθορισμένη θερμοκρασία στον εσωτερικό χώρο μεταξύ των δειγμάτων PCM. Συνήθως αυτή η θερμοκρασία είναι ρυθμισμένη περίπου 5°C πάνω από τη θερμοκρασία αλλαγής φάσης του υλικού που εξετάζεται. Γίνεται η παραδοχή ότι μόλις το σύνολο των αισθητήρων θερμοκρασίας στο δείγμα υπερβαίνει το καθορισμένο

σημείο θερμοκρασίας, πλήρης τήξη του PCM έχει επιτευχθεί. Εφόσον η φάση της τήξης ολοκληρωθεί το ηλεκτρικό σύστημα θέρμανσης απενεργοποιείται και το σύστημα ψύξης ενεργοποιείται. Το ψυκτικό τώρα υγρό, με θερμοκρασία περίπου 8°C, κυκλοφορεί μέσω του σωλήνα που είναι συγκολλημένος στις πλάκες του χαλκού. Ο κύκλος ψύξης συνεχίζεται έως ότου η θερμοκρασία του εσωτερικού χώρου μεταξύ των δειγμάτων PCM μειωθεί στους περίπου 6°C κάτω από το επίπεδο της θερμοκρασίας αλλαγής φάσης και στερεά κατάσταση του δείγματος PCM επιτευχθεί. Μόλις το χαμηλό όριο της θερμοκρασίας επιτευχθεί, ο κύκλος ψύξης θεωρείται ότι έχει ολοκληρωθεί, το νερό ψύξης απενεργοποιείται και το ηλεκτρικό σύστημα θέρμανσης ενεργοποιείται ξανά. Οι δύο αυτές θερμοκρασίες, χαμηλή και υψηλή μπορούν να ρυθμιστούν από τον ελεγκτή ανεξάρτητα. Η χωρητικότητα αποθήκευσης θερμότητας του PCM υπολογίζεται μετρώντας την κατανάλωση της ηλεκτρικής ενέργειας μόνο κατά τη διάρκεια της περιόδου θέρμανσης.

Επομένως καταλήγουμε στο συμπέρασμα ότι το πλήρως αυτοματοποιημένο αυτό σύστημα ελέγχου είναι πολύ βολικό για μακροπρόθεσμες δοκιμές καταπόνησης των PCM σε κυκλική φόρτιση. Το μεγάλο μέγεθος του δείγματος PCM δίνει τη δυνατότητα να διερευνηθεί η επίπτωση της κλίσης της θερμοκρασίας, η κινητική ψύξης και κατάψυξης, να παρατηρηθεί το φαινόμενο της υπέρψυξης και οι επιδράσεις της καθίζησης ή της διαστρωμάτωσης. Κατά τη διάρκεια των αρχικών σταδίων της δοκιμής υπήρχε ένα πρόβλημα με περιστασιακές διαρροές της θήκης, το οποίο όμως εξαλείφθηκε με την εφαρμογή θηκών διπλού τοιχώματος.

9.7 Μέθοδοι προσομοίωσης αλλαγής φάσης [56,74,75,76]

Τα PCMs είναι αποθηκευτικοί χώροι που χρησιμοποιούνται για να εξισορροπούν προσωρινά τις εναλλαγές της θερμοκρασίας και να αποθηκεύουν ενέργεια σε διάφορους τομείς εφαρμογής τους όπως στα ηλεκτρονικά, στην αυτοκινητοβιομηχανία καθώς και στα κτίρια. Η αποθήκευση στα PCMs είναι προτιμότερη από την αποθήκευση αισθητής θερμότητας όσο αφορά εφαρμογές με μικρή ταλάντωση της θερμοκρασίας λόγω του σχεδόν ισοθερμοκρασιακού μηχανισμού αποθήκευσης και της υψηλής πυκνότητας αποθήκευσης που διαθέτουν τα υλικά αυτά. Όταν εμφανίζεται το μέγιστο της θερμοκρασίας, το PCM απορροφά την περισσευούμενη θερμότητα και την αποδίδει όταν πλέον η θερμοκρασία έχει μειωθεί. Η αποθήκευση της θερμότητας μπορεί να έχει διαστασιολογηθεί κατά τρόπο τέτοιο ώστε η θερμοκρασία αποθήκευσης να διατηρείται κάτω από κάποιο συγκεκριμένο όριο την ίδια στιγμή όπου η περισσευούμενη εξωτερική ενέργεια αποθηκεύεται.

Τα προβλήματα αλλαγής φάσης επιλύονται συνήθως με τη μέθοδο των πεπερασμένων διαφορών ή πεπερασμένων στοιχείων, σύμφωνα με την αριθμητική προσέγγιση. Το φαινόμενο αλλαγής φάσης πρέπει να εξεταστεί ξεχωριστά, λόγω της μη γραμμικής φύσης του. Για την επίλυση των προβλημάτων με PCMs, υπάρχει ένα μεγάλο πλήθος διαφορετικών ειδών αριθμητικών μεθόδων. Οι πιο συχνές μέθοδοι που χρησιμοποιούνται είναι η μέθοδος της ενθαλπίας και η μέθοδος της ενεργού θερμοχωρητικότητας. Οι μέθοδοι αυτές είναι σε θέση να χρησιμοποιούν τα PCMs με ένα ευρύ φάσμα θερμοκρασίας αλλαγής φάσης

9.7.1 Μέθοδος ενθαλπίας

Το κύριο χαρακτηριστικό των PCMs είναι η σχέση ενθαλπίας-θερμοκρασίας που καθορίζει την ικανότητά τους να αποθηκεύουν θερμότητα. Αυτή η σχέση καθορίζεται πειραματικά με θερμιδομετρικές μεθόδους. Τα PCMs είναι ιδιαίτερα δύσκολα δείγματα λόγω της μεγάλης θερμικής μάζας τους, αλλά και γιατί συχνά είναι ετερογενή υλικά ή παρουσιάζουν χαρακτηριστικά που εξαρτώνται από τον όγκο. Η μεταφορά θερμότητας κατά την αποθήκευση στο PCM είναι ένα παροδικό, μη γραμμικό φαινόμενο με μια κινούμενη διεπιφάνεια στερεού-υγρού το οποίο είναι γνωστό ως κινούμενο συνοριακό πρόβλημα. Η μη γραμμικότητα είναι η πηγή των δυσκολιών και οι αναλυτικές λύσεις για τα προβλήματα αλλαγής φάσης είναι γνωστές μόνο για ορισμένες φυσικές καταστάσεις που έχουν απλή γεωμετρία και απλές οριακές συνθήκες. Ως εκ τούτου, η απόκτηση θερμιδομετρικών δεδομένων δεν είναι εγγυημένη μέσω μιας αντιπροσωπευτικής

τυποποιημένης μεθοδολογίας και μάλιστα χωρίς την προσθήκη σχολιασμών στα δεδομένα των μετρήσεων μπορούν εύκολα να δημιουργηθούν παρεξηγήσεις. Για το λόγο αυτό μια βελτιωμένη μεθοδολογία θα συμβάλλει στην αποφυγή συγχύσεων μεταξύ των ερευνητών, παραγωγών και αγοραστών των PCMs. Επιπλέον, τα PCMs παρουσιάζουν κάποια υστέρηση αλλά και φαινόμενα υπόψυξης. Σε αυτές τις περιπτώσεις, η λανθάνουσα θερμότητα και η ειδική θερμοχωρητικότητα C_p φαίνονται ανεπαρκείς προκειμένου να προσδιορίσουν την ικανότητα αποθήκευσης των PCMs σε κάθε θερμοκρασία. Αντιθέτως, αυτή η πληροφορία δίνεται από την καμπύλη ενθαλπίας-θερμοκρασίας. Προκειμένου να γίνει μια τέτοια μοντελοποίηση, χρησιμοποιούνται οι εξής παραδοχές για την τήξη και τη στερεοποίηση των PCMs όπως φαίνονται παρακάτω:

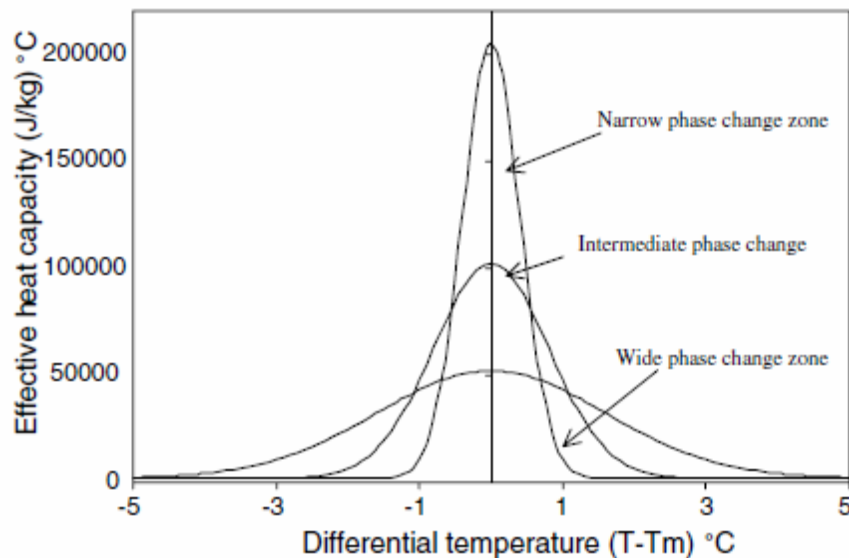
- το PCM μπορεί να θεωρηθεί ως ένα συνεχές μέσο σε μακροσκοπική κλίμακα
- η μεταφορά θερμότητας δια συναγωγής στο εσωτερικό του PCM είναι αμελητέα
- οι θερμικές ιδιότητες (θερμοχωρητικότητα και θερμική αγωγιμότητα) του PCM είναι σταθερές σε κάθε φάση, αλλά η θερμοχωρητικότητα θα μπορούσε να είναι ασυνεχής μεταξύ στερεής και υγρής φάσης. Αντίθετα, η θερμική αγωγιμότητα θεωρείται ότι είναι ανεξάρτητη από την κατάσταση του PCM
- η αλλαγή φάσης λαμβάνει χώρα υπό σταθερή πίεση
- η υπόψυξη είναι αμελητέα
- για υλικά αλλαγής φάσης πολλών συστατικών που υποβάλλονται σε μετασχηματισμό σε ένα εύρος θερμοκρασιών, δεν θεωρούνται φαινόμενα διαχωρισμού κατά τη διάρκεια της στερεοποίησης.

Από πειράματα που έγιναν από διάφορους μελετητές διαπιστώθηκε ότι όσο οι τιμές της ενθαλπίας ενός PCM αυξάνονται, τόσο αυξάνεται η ενέργεια που προσδίδεται, καθώς επίσης και η μέγιστη ισχύς και η διάρκεια της διαδικασίας. Επιπλέον, κατά το στάδιο τήξεως παρατηρείται μια αλλαγή στο σχήμα της καμπύλης, όπως αυξάνονται οι τιμές της ενθαλπίας, αλλά αυτή η αλλαγή στο σχήμα δεν συμβαίνει και κατά το στάδιο της στερεοποίησης. Στην πραγματικότητα, σε περιπτώσεις αλλαγής φάσης, περισσότερες από μία διεπιφάνειες αλλαγής φάσης μπορεί να υπάρξουν ή οι διεπιφάνειες αυτές ενδέχεται να εξαφανιστούν εντελώς. Επιπλέον, η αλλαγή φάσης συμβαίνει συνήθως σε μη ισοθερμοκρασιακό εύρος θερμοκρασίας, όπως στην περίπτωση της παραφίνης. Σε τέτοιες περιπτώσεις, η παρακολούθηση της διεπιφάνειας στερεού-υγρού μπορεί να είναι δύσκολη ή και αδύνατη. Από υπολογιστική άποψη, θα ήταν ιδιαίτερα χρήσιμο το

9.7.2 Μέθοδος ενεργούς θερμοχωρητικότητας [42,77,78]

Διάφορα PCMs που χρησιμοποιούνται σε κτίρια περιέχουν συστατικά που υποβάλλονται σε χημικές αντιδράσεις όχι μόνο κατά τη φάση της παραγωγής τους, αλλά και μετά την ενσωμάτωσή τους σε δομικά στοιχεία ενός κτιρίου. Η εμφάνιση αυτή των χημικών αντιδράσεων μπορεί να αλλάξει τη θερμική συμπεριφορά ενός συγκεκριμένου υλικού αφού μπορεί να παραχθεί ή να απορροφηθεί θερμότητα ανάλογα με το είδος της αντίδρασης. Οι διαδικασίες αυτές εντείνονται με την αύξηση της θερμοκρασίας, όταν οι αντιδράσεις γίνονται γρηγορότερα, και για ορισμένες συνιστώσες του υλικού προκύπτει αυξημένος κίνδυνος πυρκαγιάς. Μία αντιπροσωπευτική μαθηματική περιγραφή των φαινομένων μεταφοράς στα δομικά υλικά ενός κτιρίου σε υψηλές θερμοκρασίες, που είναι πολύ σημαντική για θέματα πυροπροστασίας, περιλαμβάνει τη διαμόρφωση ενός σχετικά πολύπλοκου προβλήματος της μηχανικής συνεχούς μέσου και της θερμοδυναμικής. Το πρόβλημα αυτό, μπορεί να επιλυθεί με τη βοήθεια της θεωρίας των χημικών αντιδράσεων μιγμάτων και με μια σειρά διαφορικών εξισώσεων. Ωστόσο αυτές οι εξισώσεις δεν ήταν πολύ συχνές σε πρακτικές εφαρμογές μέχρι σήμερα. Έτσι, αναπτύχθηκε το μοντέλο της ενεργούς θερμοχωρητικότητας ως συνάρτηση της θερμοκρασίας, το οποίο περιλαμβάνει τις θερμικές επιδράσεις λόγω των χημικών αντιδράσεων και / ή διεργασίες αλλαγής φάσης και χρησιμοποιεί ένα μη αδιαβατικό θερμιδόμετρο, το οποίο είχε αναπτυχθεί νωρίτερα, για την μέτρηση της ενεργούς θερμοχωρητικότητας ως συνάρτηση της θερμοκρασίας. Με τη μέθοδο της ενεργούς θερμοχωρητικότητας είναι επίσης δυνατό να περιγραφεί η μη ισοθερμοκρασιακή αλλαγή φάσης ενός PCM. Η ενεργός θερμοχωρητικότητα του υλικού C_{reff} είναι ανάλογη της αποθηκευμένης ενέργειας, της ενέργειας που απελευθερώνεται κατά τη διάρκεια της αλλαγής φάσης αλλά και της ειδικής θερμότητας. Ωστόσο, είναι αντιστρόφως ανάλογη του θερμοκρασιακού εύρους τήξης ή στερεοποίησης.

Το μέγεθος της ενεργούς θερμοχωρητικότητας περιλαμβάνει τις έννοιες των χημικών αντιδράσεων και της αλλαγής φάσης. Λόγω της πολυπλοκότητας αυτών των εννοιών, γίνεται εύκολα αντιληπτό ότι η ακριβής μέτρηση της ενεργούς θερμοχωρητικότητας δεν είναι μια απλή διαδικασία, καθώς θα πρέπει να συμπεριλάβουμε τις παραμέτρους των χημικών αντιδράσεων και τα διαγράμματα φάσης τα οποία, για ορισμένες αντιδράσεις και υλικά, δεν έχουν προσδιοριστεί επακριβώς ως τώρα [67]. Παρακάτω απεικονίζεται ένα τυπικό διάγραμμα αυτής της μεθόδου.



Εικόνα 9.7.2.1 Μεταβολή της ενεργού θερμοχωρητικότητας συναρτήσει της διαφορικής θερμοκρασίας [78].

Με βάση το παραπάνω διάγραμμα, είναι σαφές ότι, προκειμένου να αποφευχθεί μια άπειρη θερμοχωρητικότητα αλλά και να προωθηθεί η μέγιστη εξέλιξη της λανθάνουσας θερμότητας πρέπει να διατηρηθεί ένα θερμοκρασιακό εύρος. Ακόμα κι αν η μέθοδος αυτή δεν αποτελεί ένα αρκετά ακριβές μοντέλο ισοθερμοκρασιακής διαδικασίας αλλαγής φάσης, η κατανομή Gauss επιτρέπει το φιλτράρισμα των αριθμητικών ταλαντώσεων, περιορίζοντας έτσι τα λάθη. Για αυτό το λόγο γίνεται χρήση της επίδρασης και των τριών καθορισμένων ζωνών αλλαγής φάσης (στενή, ενδιάμεση και πλατιά) στην προσομοιωτική διαδικασία. Έχει διαπιστωθεί με πειραματικές διαδικασίες ότι τα διάφορα PCMs παρουσιάζουν διαφορετική καμπύλη ενεργού θερμοχωρητικότητας-θερμοκρασίας. Για συμπαγή, θερμικά σταθερά υλικά όπως το σκυρόδεμα, η ενεργός θερμοχωρητικότητα αυξάνει μονότονα με τη θερμοκρασία, γεγονός που είναι ανάλογο με τα ομοιογενή υλικά, π.χ. τα μέταλλα. Η μορφή της καμπύλης $C_{\text{reff}}(T)$ για τα υλικά με μικρή θερμομόνωση εξαρτάται κατά κύριο λόγο από την περιεκτικότητα σε οργανικές ενώσεις, οι οποίες είναι υπεύθυνες για τις αλλαγές στη δομή και τις χημικές αντιδράσεις που λαμβάνουν χώρα στη ζώνη των υψηλότερων θερμοκρασιών. Τα υλικά αυτά εμφανίζουν δραματικές αλλαγές στην ενεργό θερμοχωρητικότητα στο θερμοκρασιακό εύρος 300-600°C, όταν προσεγγίζεται η θερμοκρασία καύσης. Προφανώς, αυτά τα είδη υλικών δεν είναι κατάλληλα για εφαρμογές υψηλής θερμοκρασίας και μπορούν να

χρησιμοποιούνται σε οικοδομικά έργα, ως θερμομονωτικά υλικά μόνο σε χαμηλότερη θερμοκρασιακή περιοχή, μέχρι και 200°C.

Αντίθετα τα υλικά με μικρότερη περιεκτικότητα σε οργανικές ουσίες, συνήθως λιγότερο από 5%, δεν εμφανίζουν δραματικές αλλαγές στην καμπύλη C_{peff} (T). Η μέθοδος αυτή για τη μέτρηση της ενεργού θερμοχωρητικότητας μπορεί να αποδειχτεί ιδιαίτερη χρήσιμη για την εκτίμηση της συμπεριφοράς ενός υλικού, για παράδειγμα, σε ακραίες συνθήκες, όπως η φωτιά σε ένα κτίριο, χωρίς να είναι απαραίτητες οι λεπτομέρειες για την ακριβή του σύσταση. Χρησιμοποιώντας αυτή τη μέθοδο, είναι δυνατόν να εκτιμηθεί το είδος και η ταχύτητα των χημικών αντιδράσεων ανάλογα με τη θερμοκρασία, γεγονός που μπορεί να θεωρηθεί ως μια πρώτη εικόνα διερεύνησης ενός όχι τόσο γνωστού PCM. Ειδικότερα, τα ελάχιστα στις καμπύλες C_{peff}(T) παρουσιάζουν ιδιαίτερο ενδιαφέρον, διότι απεικονίζουν μια εξώθερμη χημική αντίδραση, όπως η καύση ενός συστατικού που, από την άποψη των θερμομονωτικών ιδιοτήτων του, είναι η πιο επικίνδυνη για ένα δομικό υλικό.

Ωστόσο, ο καθορισμός του θερμοκρασιακού εύρους μέσα στο οποίο οι χημικές αντιδράσεις είναι σημαντικές για τη συμπεριφορά ενός ειδικού υλικού σε υψηλότερες θερμοκρασίες, δεν είναι ιδιαίτερα ακριβείς με τη μέθοδο της ενεργού θερμοχωρητικότητας. Στο μόνο σημείο που μπορεί να χρησιμεύσει είναι ως μια πρόχειρη πρώτη ένδειξη της θερμικής σταθερότητας του υλικού. Ο λόγος είναι ότι οι επιρροές των χημικών αντιδράσεων και των αλλαγών φάσης εκφράστηκαν εν μέρει από το μέγεθος C_{peff}. Παρόλα αυτά όταν οι συνθήκες του πειράματος διατηρούνται σταθερές μπορούμε να παρατηρήσουμε έμμεσα τη εξάρτηση της ταχύτητας της αντίδρασης από την θερμοκρασία και να εντοπίσουμε με σχετική ακρίβεια στην καμπύλη του C_{peff} το τμήμα εκείνο στο οποίο έχει ολοκληρωθεί η αντίδραση, κατά την διάρκεια της θέρμανσης του υλικού στον κλίβανο. Στον παρακάτω πίνακα παρατίθενται οι σχέσεις υπολογισμού της θερμοχωρητικότητας για την παραφίνη με την μέθοδο ενθαλπίας και με τη μέθοδο της ενεργού θερμοχωρητικότητας.

Paraffin $c_p(T)$	Melting	Solidification
Enthalpy method	$c_p(T) = \begin{cases} 247T^2 + 515T + 3606, & 10^\circ\text{C} \leq T < 20^\circ\text{C} \\ 146T^3 - 9123T + 191658, & 20^\circ\text{C} \leq T \leq 27^\circ\text{C} \\ 11285T^2 - 652T + 9424, & 27^\circ\text{C} \leq T \leq 29^\circ\text{C} \\ 2400, & T > 29^\circ\text{C} \end{cases}$ $h_c = 75 \text{ W m}^{-2} \cdot \text{K}^{-1} \text{ when } T > 20^\circ\text{C}$	$c_p(T) = \begin{cases} 327T^2 - 671T + 4548, & 10^\circ\text{C} \leq T < 19^\circ\text{C} \\ 3205T^2 - 124276T + 1207500, & 19^\circ\text{C} \leq T \leq 23^\circ\text{C} \\ -11543T^2 + 536878T - 6197600, & 23^\circ\text{C} < T \leq 25^\circ\text{C} \\ -7374T + 194125, & 25^\circ\text{C} < T \leq 26^\circ\text{C} \\ 2400, & T > 26^\circ\text{C} \end{cases}$ $h_c = 0 \text{ W m}^{-2} \cdot \text{K}^{-1}$
Effective heat capacity method	$c_p(T) = \begin{cases} 1800, & T < 21 \\ 18067, & 21 \leq T \leq 28 \\ 2400, & T > 28 \end{cases}$ $h_c = 75.03 \text{ W m}^{-2} \cdot \text{K}^{-1} \text{ when } T > 21^\circ\text{C}$ $c_p(T) = \begin{cases} 1800, & T < 25 \\ 116866, & 25 \leq T \leq 27 \\ 2400, & T > 27 \end{cases}$ $h_c = 69 \text{ W m}^{-2} \cdot \text{K}^{-1} \text{ when } T > 25^\circ\text{C}$	$c_p(T) = \begin{cases} 1800, & T < 20 \\ 26740, & 20 \leq T \leq 25 \\ 2400, & T > 25 \end{cases}$ $c_p(T) = \begin{cases} 1800, & T < 25 \\ 127698, & 25 \leq T \leq 27 \\ 2400, & T > 27 \end{cases}$ $h_c = 0 \text{ W m}^{-2} \cdot \text{K}^{-1}$

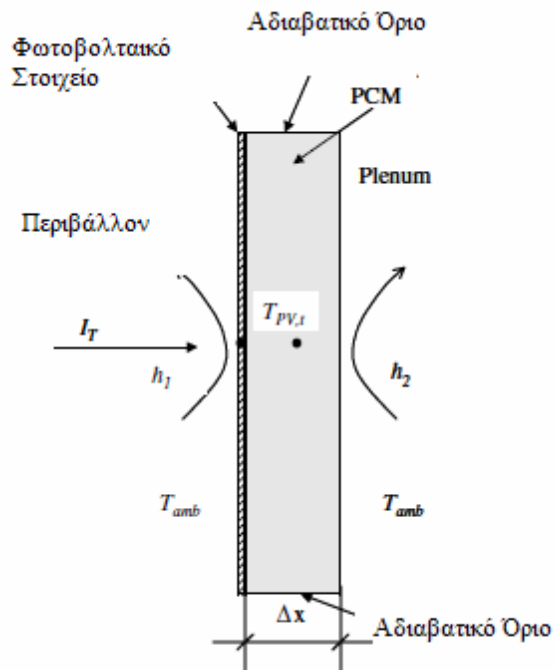
Εικόνα 9.7.2.2 Ειδική θερμοχωρητικότητα και συντελεστής συναγωγής για την παραφίνη

9.8 Εφαρμογές PCM [80,81]

Οι εφαρμογές των συστημάτων αποθήκευσης ενέργειας υπό λανθάνουσα μορφή είναι αρκετά εκτεταμένες. Τα πλεονεκτήματά τους είναι η μεγάλη πυκνότητα αποθήκευσης ενέργειας με μικρότερη θερμοκρασιακή διακύμανση κατά την ανάκτησή της. Οι πρακτικές δυσκολίες που ανακύπτουν οφείλονται στη χαμηλή τιμή του συντελεστή αγωγιμότητας, στη μεταβολή της πυκνότητας, στην αξιοπιστία-σταθερότητα των ιδιοτήτων σε μακροχρόνια χρήση καθώς και στο διαχωρισμό των φάσεων με ενδεχόμενη αλλαγή χημικής σύστασης των υλικών και εμφάνιση φαινομένου supercooling. Η αποθήκευση θερμότητας είναι ένα πολύ σημαντικό μέσο εξοικονόμησης ενέργειας, βελτιώνοντας την αξιοποίηση της ήδη υπάρχουσας ενέργειας. Μικρής διάρκειας αποθήκευση είναι απαραίτητη σχεδόν σε όλες τις εφαρμογές, ενώ μελετώνται εγκαταστάσεις μεγάλης αποθήκευσης ενέργειας (εποχιακή αποθήκευση). Λαμβάνοντας υπ' όψη την περιοδικότητα των ενεργειακών φαινομένων στη φύση, οι εφαρμογές που συνδυάζουν ηλιακά συστήματα θα πρέπει να προβλέπουν επαρκή ικανότητα ενεργειακής αποθήκευσης για την περίσσεια της ενέργειας και την διανομή της, τις ώρες μη διαθέσιμης ενέργειας από την πηγή. Ακολουθεί μία σύντομη παρουσίαση σημαντικών εφαρμογών που χρησιμοποιούν τα PCMs για αποθήκευση θερμικής ενέργειας.

9.8.1 Φωτοβολταϊκά πλαίσια

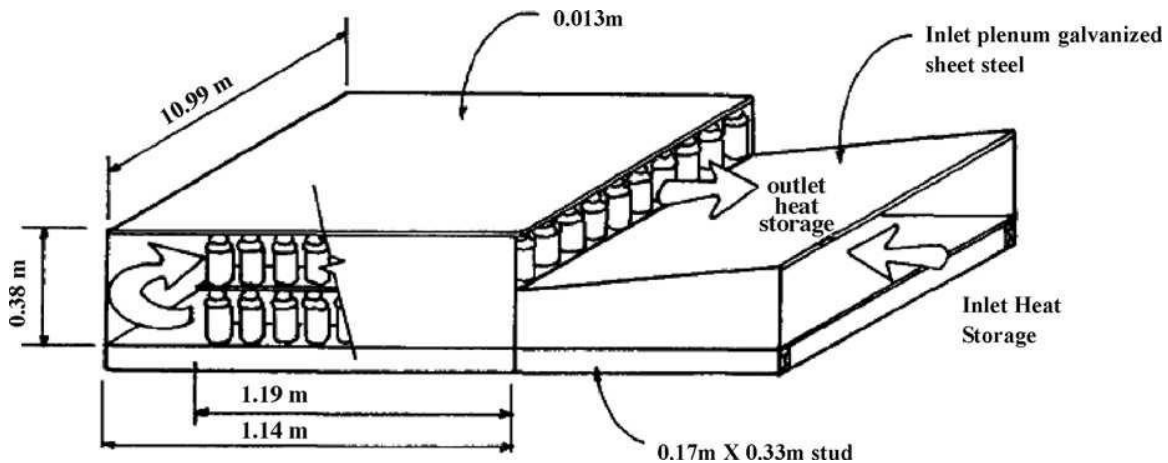
Έχει παρατηρηθεί, ότι λόγω των υψηλών θερμοκρασιών που αναπτύσσονται σε κτίρια, όπου γίνεται χρήση φωτοβολταϊκών, η μετατροπή της ηλιακής ενέργειας σε ηλεκτρική γίνεται με αρκετά σημαντικές απώλειες. Κάθε φωτοβολταϊκό στοιχείο έχει σχεδιαστεί για να εργάζεται υπό συγκεκριμένες συνθήκες. Μια χαρακτηριστική τιμή θερμοκρασίας είναι οι 25 οC. Όταν η θερμοκρασία στην επιφάνεια του στοιχείου ξεπεράσει αυτή την τιμή, η απόδοση μετατροπής της ηλιακής ενέργειας σε ηλεκτρική μειώνεται κατά 0,5% K⁻¹. Για να ξεπεραστεί αυτό το πρόβλημα κρίθηκε απαραίτητη η εισαγωγή PCM σε φωτοβολταϊκά στοιχεία όπως φαίνεται στο παρακάτω σχήμα. Το PCM όντας τοποθετημένο σε αδιαβατικό προς το περιβάλλον πλαίσιο, απορροφά την εξέχουσα θερμότητα, διατηρώντας το φωτοβολταϊκό στοιχείο σε σταθερή θερμοκρασία, εξασφαλίζοντας την αποδοτικότερη λειτουργία του.



Εικόνα 9.8.1.1 Φωτοβολταϊκό στοιχείο με ενσωματωμένο PCM [81]

9.8.2 Ηλιακό Θερμοκήπιο [79,82]

Άλλη μια εφαρμογή στην οποία έχουν χρησιμοποιηθεί τα PCMs είναι και το θερμοκήπιο για την αποθήκευση της ηλιακής ενέργειας η οποία θα χρησιμοποιηθεί μετέπειτα για την διαδικασία της ξήρανσης καθώς και της φυτικής παραγωγής. Οι Kern και Aldrich ενσωμάτωσαν 1.650 kg $\text{CaCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ σε φιάλες με αεροσόλ που η κάθε μια ζύγιζε 0,74 kg και τις χρησιμοποίησε για να ερευνήσει τις πιθανότητες αποθήκευσης ενέργειας εντός και εκτός ενός θερμοκηπίου έκτασης 36 m² που καλύπτονταν από tedlar με επικάλυψη fiberglass. Οι φιάλες με τα PCMs τοποθετήθηκαν σε ένα "ράφι" με κενό 22,86 mm ανάμεσά τους και δύο ράφια που περιείχαν διαφορετικές ποσότητες από το PCM τοποθετήθηκαν, το ένα εντός και το άλλο εκτός του θερμοκηπίου. Κατά τη διάρκεια της ημέρας η μονάδα αποθήκευσης ενέργειας στο εσωτερικό του θερμοκηπίου συλλέγει τον ζεστό αέρα από το κάλυμμα του θερμοκηπίου και τη νύχτα η κατεύθυνση της ροής του αέρα αναστρέφεται για την διάθεση της αποθηκευμένης ενέργειας.

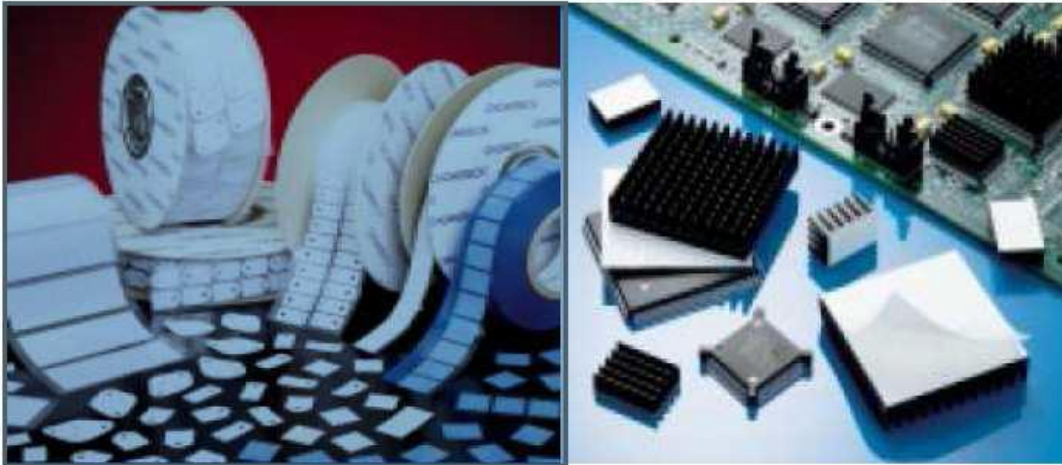


Εικόνα 9.8.2.1 Μονάδα αποθήκευσης ενέργειας στο εσωτερικό του θερμοκηπίου [79]

9.8.3 Ηλεκτρονικά εξαρτήματα [83]

Τα ηλεκτρονικά κυκλώματα είναι ιδιαίτερος ευαίσθητα στη υπερθέρμανση, επηρεάζοντας αρνητικά τη διάρκεια ζωής και την αξιοπιστία του εξαρτήματος στο οποίο ανήκουν. Οι ηλεκτρικές αντιστάσεις που συναντά το ρεύμα καθώς διαπερνά τα καλώδια, τα επίπεδα πυριτίου, τα transistor των επιμέρους ηλεκτρονικών εξαρτημάτων, αυξάνουν τη θερμοκρασία τους με αποτέλεσμα να υπάρχει κίνδυνος φθοράς ή ακόμα και καταστροφής. Στόχος είναι να διατηρηθεί η θερμοκρασία των εξαρτημάτων αυτών εντός κάποιων ορίων ασφαλούς λειτουργίας του εκάστοτε εξαρτήματος, χωρίς συνακόλουθη αύξηση του συνολικού μεγέθους του. Σήμερα χρησιμοποιούνται μεταλλικά πτερύγια ενσωματωμένα σε ανεμιστήρες μικρού μεγέθους που συμβάλλουν στην απαγωγή θερμότητας από τα ηλεκτρονικά εξαρτήματα, ενισχύοντας έτσι την ψύξη τους. Η χρησιμοποίηση των PCMs σε τέτοια συστήματα ψύξης για την προστασία του εξαρτήματος, είναι απολύτως αξιόπιστη, καθώς το PCM ανανεώνεται από μόνο του και επανέρχεται στην αρχική κατάσταση, μεταξύ δυο διαδοχικών σημείων όπου η θερμοκρασία μεγιστοποιείται και επίσης δεν απαιτείται κάποιου είδους κινητήρας ή διάταξη μέτρησης θερμοκρασίας. Γνωρίζουμε ότι τα PCMs δρουν σε τρεις φάσεις. Κατά την πρώτη φάση η θερμοκρασία του στερεού PCM αυξάνεται μέχρι το σημείο τήξης του, καθώς αυξάνεται η θερμοκρασία του περιβάλλοντός του. Κατά τη δεύτερη φάση, η θερμοκρασία του PCM παραμένει σταθερή καθώς αυτό λιώνει. Κατά τη τρίτη φάση η θερμοκρασία του υγρού PCM συνεχίζει να αυξάνεται. Για να εισαχθούν τα PCMs επιτυχώς στις ηλεκτρονικές εφαρμογές, θα πρέπει θεωρητικά να μην βρεθούν στην τρίτη

φάση, αλλά να παραμείνουν στη δεύτερη, έτσι ώστε να αποφευχθεί η υπερθέρμανση. Πλέον, από πολλές εταιρίες διατίθενται στο εμπόριο προϊόντα ειδικά σχεδιασμένα για τοποθέτηση σε ηλεκτρονικές διατάξεις, που είναι ιδιαίτερος αποδοτικά. Τα περισσότερα από αυτά τα προϊόντα, θυμίζουν δεσμίδες με μικρά αυτοκόλλητα χαρτιά, έρχονται σε άμεση επαφή με το εξάρτημα για το οποίο προορίζονται.



Εικόνα 9.8.3.1 Προϊόντα με PCMs για ψύξη ηλεκτρονικών εξαρτημάτων [83]

9.8.4 Μεταφορά ευαίσθητων προϊόντων [84]

Στον τομέα των μεταφορών σε αρκετές περιπτώσεις απαιτείται η μεταφορά προϊόντων τα οποία είναι ευαίσθητα στις θερμοκρασιακές μεταβολές και απαιτούν πολύ συγκεκριμένα και στενά θερμοκρασιακά πλαίσια κατά τη μεταφορά τους. Είτε τα μεταφερόμενα αγαθά απαιτούν χαμηλές είτε υψηλές θερμοκρασίες, στο συνολικό κόστος μεταφοράς, προστίθεται ένα υψηλό κόστος το οποίο έχει να κάνει με τη διατήρηση της θερμοκρασίας, είτε πρόκειται για όχημα- ψυγείο, είτε για όχημα με κάποια θερμομαντική διάταξη. Τα οχήματα αυτά καθιστούν σχεδόν απαγορευτική από πλευράς κόστους τη λειτουργία τους, καθώς χρησιμοποιούν σαν καύσιμο ντίζελ. Το κόστος της ενέργειας η οποία παράγεται από ντίζελ είναι περίπου 6 φορές μεγαλύτερο από το αντίστοιχο κόστος της συμβατικής ηλεκτρικής ενέργειας. Το τεράστιο πλεονέκτημα των PCMs είναι ότι μπορούν να απορροφήσουν και να αποδώσουν ικανοποιητικά ποσά θερμότητας

σχεδόν ισοθερμοκρασιακά. Είναι προφανές ότι ανάλογα με τις θερμοκρασιακές απαιτήσεις της κάθε εφαρμογής επιλέγεται και υλικό με αντίστοιχο σημείο τήξης.

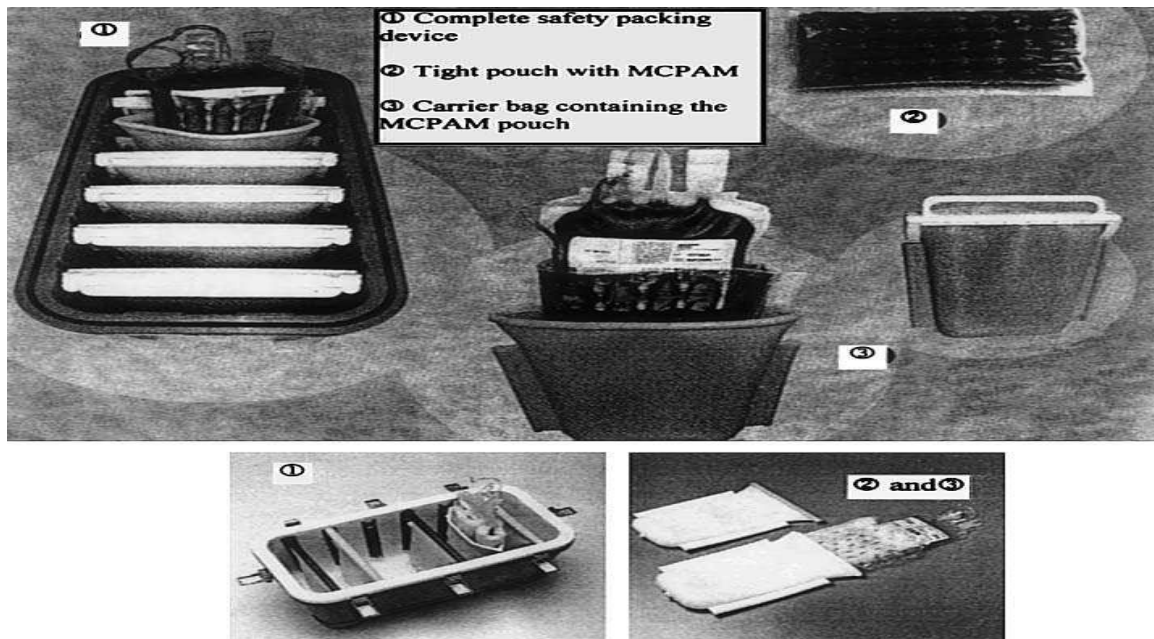
Σε γενικές γραμμές, πριν από τη μεταφορά φορτίζονται τα PCMs είτε σε ψυγείο, είτε σε φούρνο, ώστε να είναι έτοιμα για χρήση. Μία ηλεκτρική θερμαντική μονάδα δεν μπορεί να είναι διαθέσιμη υπό οποιεσδήποτε συνθήκες, και σε αυτές τις περιπτώσεις τα PCMs προσφέρουν την ιδανική λύση, αφού επιτρέπουν την κατασκευή ενός αυτοθερμαινόμενου σκεύους μεταφοράς. Η κατασκευή των δοχείων μεταφοράς προβλέπει την προθέρμανση των πλακών που περιέχουν τα PCMs σε ένα κοινό φούρνο ή μέσω ηλεκτρικών αντιστάσεων. Μόλις οι πλάκες με το PCM φορτιστούν, αποθηκεύοντας ένα μεγάλο ποσό λανθάνουσας θερμότητας τοποθετούνται στα θερμικά μονωμένα δοχεία σαν εσωτερική επένδυση. Επιπρόσθετα πρέπει να σημειωθεί, ότι ένα μεγάλο πλεονέκτημα των PCMs στην εφαρμογή αυτή είναι ότι η αποφόρτιση του PCM γίνεται σε σταθερή περίπου θερμοκρασία, χωρίς να επιβαρύνεται επιπλέον το εσωτερικό του δοχείου.



Εικόνα 9.8.4.1 Πλάκες με PCM για ενίσχυση των δοχείων μεταφοράς ευαίσθητων προϊόντων [84]

9.8.5 Ιατρικά προϊόντα [85]

Σχετικά με όσα αναφέρθηκαν παραπάνω τα PCMs χρησιμοποιούνται ακόμη και στον ιατρικό εξοπλισμό κυρίως στις εφαρμογές εκείνες που απαιτούν μια παθητική διαχείριση της θερμοκρασίας στον ανθρώπινο οργανισμό. Χρησιμοποιούνται για την επίτευξη της θερμικής άνεσης σε περιπτώσεις στις οποίες δεν είναι δυνατή η συχνή μετατόπιση κάποιων βοηθημάτων, για την ανακούφιση των ασθενών όπως οι ζώνες αντιμετώπισης ορθοπεδικών προβλημάτων, οι οποίες συνήθως είναι αρκετά σφικτές και έτσι προκαλούν εφίδρωση. Επίσης πολύ χρήσιμη εφαρμογή είναι τα καλύμματα για την πλάτη και το κάθισμα αναπηρικών αμαξιδίων, τα οποία απορροφούν τη θερμότητα από το σώμα του ασθενούς, διατηρώντας σταθερή τη θερμοκρασία, αποφεύγοντας έτσι το αίσθημα δυσφορίας λόγω της αύξησης της θερμοκρασίας και της εφίδρωσης. Επίσης τα PCMs χρησιμοποιούνται και ως παθητικά συστήματα ψύξης για τη συντήρηση ανθρώπινων οργάνων κατά τη μεταφορά τους με κάποιο μεταφορικό μέσο. Η διατήρηση μιας χαμηλής θερμοκρασίας είναι ζωτικής σημασίας κατά τη μεταφορά των ευπαθών σε θερμοκρασίες ανθρώπινων οργάνων ή του ανθρώπινου αίματος. Το σημαντικότερο πλεονέκτημα των PCMs στις εφαρμογές αυτές είναι η μεγάλη αξιοπιστία που παρουσιάζουν, καθώς στις εφαρμογές αυτές είναι ιδιαίτερα σημαντικό να μην εμφανίζεται διακύμανση της θερμοκρασίας.



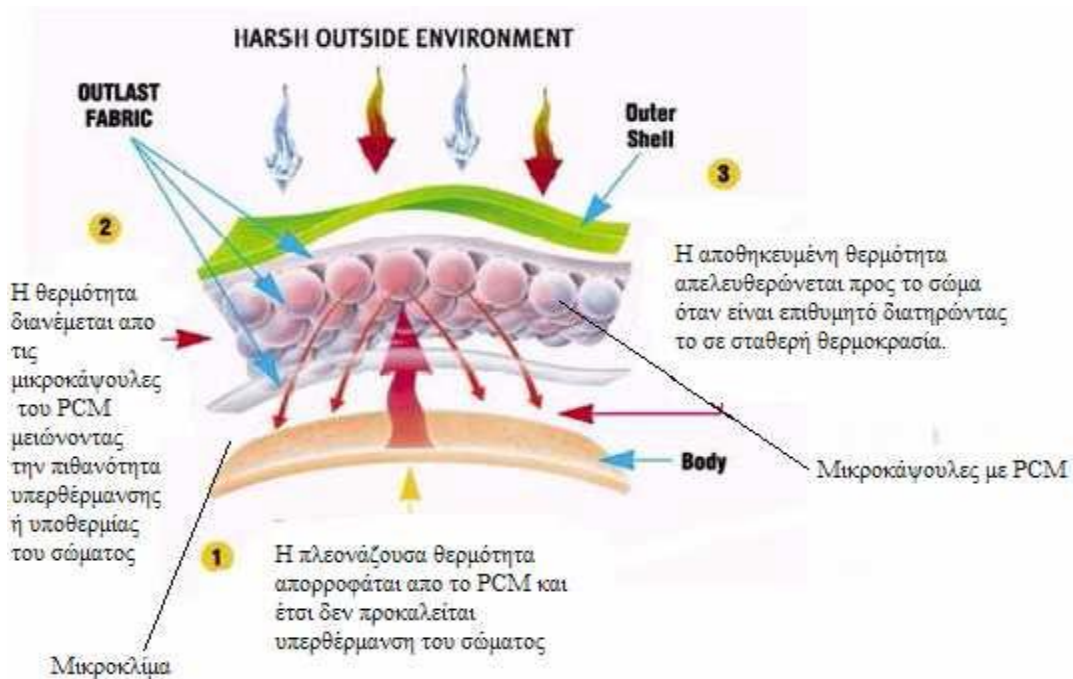
Εικόνα 9.8.5.1 PCMs ενσωματωμένα σε δοχεία μεταφοράς ανθρώπινων οργάνων [86]

9.8.6 Θερμική ένδυση [87]

Η εισαγωγή των PCMs στα ρούχα έχει ως στόχο να παρέχουν θερμική άνεση, ομοιόμορφα κατανεμημένη θερμοκρασία και συνεπώς έκκριση λιγότερου ιδρώτα από το ανθρώπινο σώμα. Η χρήση των PCMs σε ρούχα ξεκίνησε από διαστημικές εφαρμογές, στις στολές των αστροναυτών, για τη προστασία τους από τις απότομες θερμοκρασιακές μεταβολές. Σήμερα οι εφαρμογές των PCMs στα ρούχα και γενικότερα στα υφάσματα έχουν επεκταθεί. Χρησιμοποιούνται σε στολές που εκτίθενται σε ακραίες θερμοκρασίες, όπως για παράδειγμα σε πυροσβεστικές, ορειβατικές και αγωνιστικές στολές. Η χρήση τους όμως έχει επεκταθεί και σε καθημερινά ρούχα και άλλα υφάσματα, όπως κουβέρτες, κάλτσες, παπούτσια.

Στα ενδύματα χρησιμοποιούνται κυρίως οργανικά PCMs σε μικροκάψουλες, για να μην εμφανίζονται διαρροές κατά τη μετάβαση στην υγρή φάση. Το πλεονέκτημά τους είναι ότι μπορούν να ελαττώσουν το ρυθμό μεταφοράς θερμότητας και να αυξήσουν τη θερμοχωρητικότητα (του ενδύματος) μέχρι και 10 φορές. Αυτά τα ανεπτυγμένα θερμικά χαρακτηριστικά μπορούν να εμφανιστούν στα σύγχρονα ρούχα με εμβάπτιση των ινών του υφάσματος σε διάλυμα που περιέχει μικροκάψουλες με PCMs ή με την προσθήκη των μικροκαψούλων σε πολυμερή. Συνήθως επιλέγεται οι μικροκάψουλες με τα PCMs, να τοποθετούνται κατά στρώματα και σε σχετικά πειράματα έχει αποδειχθεί η αποδοτικότερη είναι χρήση δύο στρωμάτων με PCMs. Οι εφαρμογές στις οποίες η μέθοδος αυτή μπορεί να χρησιμοποιηθεί είναι διάφορες όπως μπουφάν, αδιάβροχα, κουβέρτες, προστατευτικά φωτιάς για πυροσβέστες, στολές κατάδυσης και άλλα. Η χρήση των PCMs είναι πολύ αξιόπιστη πλέον στον τομέα της ένδυσης. Χάρη στις μικροκάψουλες με τα PCMs, η θερμότητα που απορροφάται οδηγεί το υλικό να αλλάξει φάση σε μοριακό επίπεδο, αποθηκεύοντας ή απελευθερώνοντας ενέργεια, ανάλογα με τη θερμοκρασία του δέρματος. Η θερμότητα αυτή διατηρείται στο PCM και είναι απαραίτητο απελευθερώνεται ομοιόμορφα και σταδιακά, δημιουργώντας ένα πολύ πιο θερμομονωτικό στρώμα σταθερής θερμοκρασίας μεταξύ του δέρματος και του εξωτερικού περιβάλλοντος. Επιπρόσθετα, πρόσφατες έρευνες δείχνουν την καταλληλότητα των PCMs σε κράνη, με σκοπό την ψύξη του κεφαλιού. Συγκεκριμένα το PCM απορροφά τη θερμότητα που εκλύεται από το κεφάλι του ατόμου αλλά και την ανεπιθύμητη θερμότητα που προέρχεται από το περιβάλλον. Η θερμότητα αποθηκεύεται στο κράνος χωρίς να γίνεται δυσάρεστη στον ανθρώπινο οργανισμό για χρονικό διάστημα που σήμερα φτάνει μέχρι τις δυο ώρες. Βέβαια, αυτή η θερμότητα δεν

αποβάλλεται προς το περιβάλλον, οπότε θα πρέπει πριν ξαναχρησιμοποιηθεί το κράνος να αποφορτισθεί βυθίζοντάς το σε κρύο νερό για σύντομο χρονικό διάστημα. Τα PCMs που έχουν ήδη χρησιμοποιηθεί για τα κράνη είναι τόσο τα οργανικά, αλλά και κάποια ανόργανα άλατα. Τέλος πρέπει να σημειωθεί ότι έχει γίνει χρήση των PCMs σε υποδήματα και πάτους υποδημάτων προσφέροντας στο χρήστη, ένα άνετο περιβάλλον για τα πόδια του. Έτσι επιτυγχάνεται πέραν της θερμικής άνεσης, λιγότερη κόπωση, λιγότερος ιδρώτας, ο συνδυασμός του οποίου με υψηλές θερμοκρασίες οδηγεί σε μυκητιάσεις και άλλες δερματοπάθειες. Τα τελευταία είναι ιδιαίτερος σημαντικά σε περιπτώσεις όπως των αθλητών ή άλλων επαγγελματιών που είναι υποχρεωμένοι να φορούν συγκεκριμένα υποδήματα.



Εικόνα 9.8.6.1 Μηχανισμός λειτουργίας ενδυμάτων με ενσωματωμένο PCM [79].

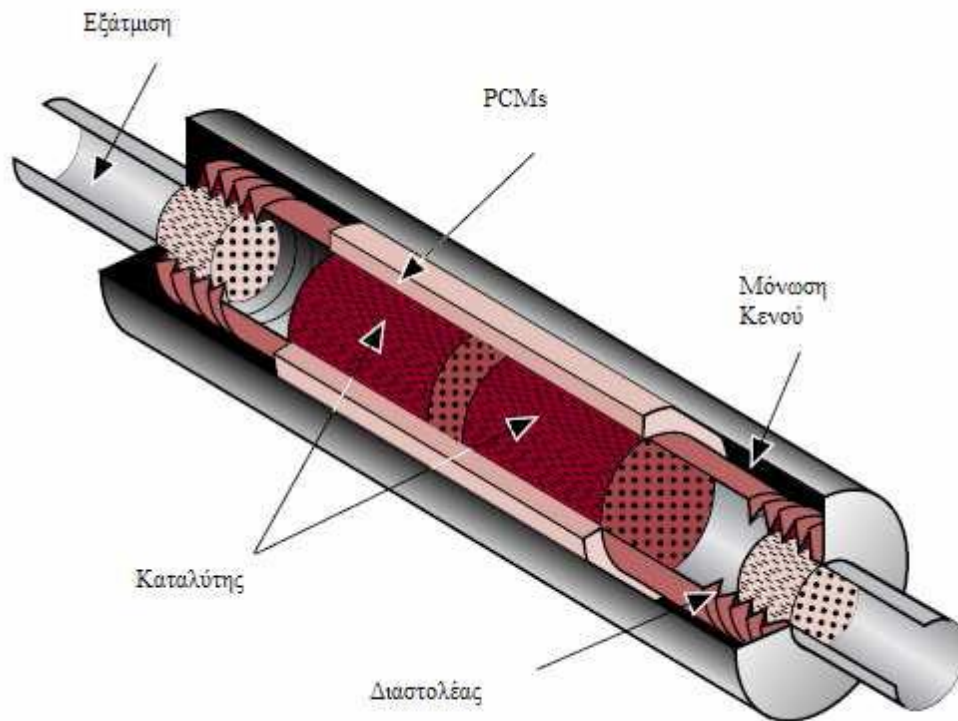


Εικόνα 9.8.6.2 Ενδύματα , υποδήματα και κράνη με ενσωματωμένα PCMs [87]

9.8.7 Οχήματα [88]

Η πλέον ενδιαφέρουσα χρήση των PCMs σήμερα γίνεται στην αυτοκινητοβιομηχανία. Τα PCMs χρησιμοποιούνται σήμερα σε μία μπαταρία λανθάνουσας θερμότητας, την οποία προσφέρει η BMW σαν προαιρετικό εξοπλισμό στα μοντέλα της σειράς 5. Η αρχή λειτουργίας της μπαταρίας είναι αρκετά απλή. Το υλικό αποθήκευσης ενέργειας είναι συνδεδεμένο με το ψυγείο του αυτοκινήτου και αποθηκεύει την πλεονάζουσα θερμότητα όταν ο κινητήρας λειτουργεί στα θερμοκρασιακά όρια σχεδίασης. Αυτή η θερμότητα χρησιμοποιείται στο επόμενο ξεκίνημα του οχήματος με κρύο κινητήρα, ώστε να θερμανθεί ο κινητήρας γρηγορότερα, οπότε έτσι βελτιώνεται ο συνολικός συντελεστής κατανάλωσης καυσίμου όπως επίσης και στη θέρμανση της καμπίνας του οχήματος. Χάρη στην εξαιρετική μόνωση της μπαταρίας λανθάνουσας θερμότητας, μπορεί να διατηρήσει την αποθηκευμένη ενέργεια με το όχημα σταματημένο σε περιβάλλον έως και -20°C για τουλάχιστον δύο εικοσιτετράωρα. Άλλη μια εφαρμογή των PCMs βρίσκεται στο σύστημα εξαγωγής των καυσαερίων του οχήματος. Με χρήση των PCMs διατηρείται ο καταλύτης στη θερμοκρασία σχεδιασμού, ελαττώνοντας σημαντικά τις αυξημένες εκπομπές άκαυστων υδρογονανθράκων κατά το ξεκίνημα του κρύου κινητήρα. Ο καταλύτης που πλέον είναι απαραίτητο εξάρτημα των σύγχρονων αυτοκινήτων,

μετατρέπει μέσω οξειδωσης τα ευγενή μέταλλα που περιέχει (Ρόδιο, Παλλάδιο, Λευκόχρυσος) τα μονοξειδία αζώτου και άνθρακα από την καύση του καυσίμου στον κύλινδρο, σε λιγότερο βλαβερά και όχι δηλητηριώδη διοξειδία. Για να επιτευχθεί όμως αυτό, θα πρέπει η θερμοκρασία του καταλύτη να είναι πολύ υψηλή. Αυτή όμως η θερμοκρασία δεν αναπτύσσεται άμεσα κατά την εκκίνηση του αυτοκινήτου, αλλά μετά από λίγα λεπτά. Έχει παρατηρηθεί ότι κατά την περίοδο της «κρύας εκκίνησης» εκλύεται το 60%-80% των τοξικών καυσαερίων. Για την αντιμετώπιση του προβλήματος αυτού σχεδιάστηκε ένας τριοδικός καταλύτης ενισχυμένος με PCMs, που θα αποθηκεύουν τη θερμότητα κατά την κίνηση του αυτοκινήτου και θα την απελευθερώνουν στην επόμενη εκκίνησή του. Στα οχήματα που εφαρμόστηκε το συγκεκριμένο σύστημα τα αποτελέσματα είναι εντυπωσιακά καθώς διαπιστώθηκε με μετρήσεις ότι οι εκπομπές υδρογονανθράκων και μονοξειδίου του άνθρακα ήταν μειωμένες κατά 84% και 91% αντίστοιχα, συγκρινόμενες με τις εκπομπές κινητήρων με συμβατικό καταλύτη.



Εικόνα 9.8.7.1 Καταλύτης αυτοκινήτου με χρήση των PCMs [88]

9.8.8 Τηλεπικοινωνίες [89,90]

Τα συστήματα των τηλεπικοινωνιών εμπεριέχουν μηχανήματα και ηλεκτρονικά εξαρτήματα τα οποία είναι υπεύθυνα για την εύρυθμη λειτουργία του αντίστοιχου δικτύου. Τέτοιου είδους εξαρτήματα περιέχουν πολύπλοκα ηλεκτρονικά κυκλώματα, ιδιαίτερα ακριβά και καταναλωτικά από άποψης ενέργειας, όπως επίσης και πολύ ευαίσθητα στις υψηλές θερμοκρασίες. Πολλά από αυτά, είναι διασκορπισμένα ανά την επικράτεια για την κατά τόπους ενίσχυση και σωστή διανομή του σήματος του δικτύου. Το καλύτερο δυνατό σημείο τοποθέτησης των κουβουκλίων που περιέχουν τέτοια μηχανήματα είναι σε ανοιχτούς χώρους (κοιλιάδες) και κατά το δυνατόν υψηλότερα (υψώματα, βουνά, κλπ). Ως εκ τούτου, είναι συνήθως τοποθετημένα σε προσβάσιμες περιοχές αλλά μακριά από κατοικημένους χώρους, οπότε και είναι δύσκολη η συνεχής επιτήρηση της θερμοκρασιακής διακύμανσής τους. Τα PCMs έχουν βρει εφαρμογή σε αυτά τα συστήματα και παρακάτω παρουσιάζεται μία τέτοια εφαρμογή.

Τα τηλεπικοινωνιακά κουβούκλια είναι μονωμένα, και κλιματιζόμενα φυλάκια, τα οποία προστατεύουν την καρδιά της κινητής τηλεφωνίας, τον Πομποδέκτη Βάσης (Base Station Subsystem (BSS)). Είναι το τμήμα ενός κλασσικού δικτύου κινητής τηλεφωνίας το οποίο διαχειρίζεται την κίνηση και το σήμα του δικτύου. Εκτελεί, μάλιστα, διάφορες εργασίες σχετικά κυρίως με το δίκτυο, όπως την αποκωδικοποίηση της συνομιλίας, το διαχωρισμό των καναλιών του δικτύου από άλλα δίκτυα (ραδιοφωνικά, αεροπορικά, τηλεοπτικά, κλπ) και τη διαχείριση του σήματος για εξυπηρέτηση όλης της περιοχής κάλυψης. Ο πομποδέκτης βάσης, καθώς επίσης και η αντίστοιχη μπαταρία είναι ιδιαιτέρως θερμοευαίσθητα μηχανήματα και ο περιβάλλον χώρος τους πρέπει να διατηρείται διαρκώς κάτω από τους 35 οC. Σε κάποιες χώρες, εμφανίζεται συχνά το φαινόμενο της διακοπής του ρεύματος, καθώς και μονοφασικού ρεύματος, αναγκάζοντας τις εταιρίες κινητής τηλεφωνίας να εφοδιάζουν τα καταλύματα αυτά με ντιζελογεννήτριες για να υποστηρίξουν το σύστημα κλιματισμού του κουβουκλίου στην περίπτωση διακοπής ή μονοφασικού ρεύματος. Τα PCMs που εγκαθίστανται σε αυτά τα κουβούκλια απορροφούν θερμότητα από το εσωτερικό (θερμότητα η οποία παράγεται από τη λειτουργία του BSS) ελαχιστοποιώντας ή ακόμα και εξαλείφοντας την ανάγκη χρήσης της γεννήτριας για κλιματισμό, επομένως προκύπτει οικονομικό όφελος λόγω της μικρότερης ποσότητας καυσίμου που καταναλώνει η γεννήτρια. Το PCM θα επαναφορτιστεί όποτε είναι διαθέσιμη η πηγή ενέργειας, οπότε και θα δουλεύει το

κανονικό σύστημα κλιματισμού, άρα αργότερα θα αποβάλλει την αποθηκευμένη θερμότητα .

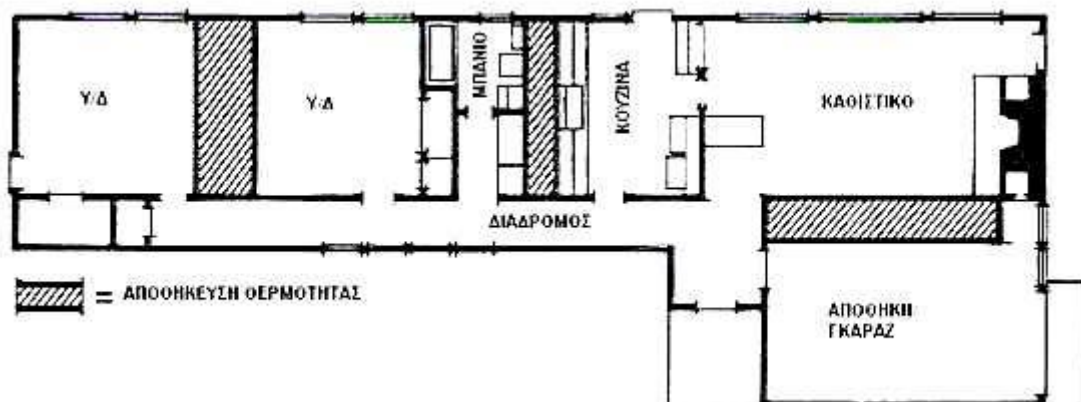


Εικόνα 9.8.8.1 Συσκευασίες PCM (πλάκες και κύλινδροι) που χρησιμοποιούνται σε τηλεπικοινωνιακά κουβούκλια. [90]

9.9 Αναδρομή των εφαρμογών των PCMs σε κτιριακές εγκαταστάσεις

9.9.1 Ιστορική ανασκόπηση της χρήσης των PCMs [50,91,92,93]

Οι πρώτες προσπάθειες έγιναν μόλις από τη δεκαετία του 1920, ενώ κάποιες πειραματικές κατασκευές σπιτιών για πειράματα μεγάλης κλίμακας παρατηρήθηκαν από το 1940 έως το 1970. Παρόλο ότι τα συστήματα αυτά θα μπορούσαν να χαρακτηριστούν επιτυχημένα, δεν ακολούθησε περαιτέρω εξέλιξη ή μελέτη, αφού δεν υπήρξε σημαντική χρηματοδότηση, λόγω κυρίως έλλειψης εμπιστοσύνης για την επιτυχία του όλου εγχειρήματος. Παρακάτω ακολουθεί ιστορική ανασκόπηση των σημαντικότερων εφαρμογών των PCMs σε κτίρια, σαν ένα δείγμα της εξελικτικής πορείας των συστημάτων. Η πρώτη που αποφάσισε να ασχοληθεί με την εφαρμογή των PCMs σε κτίρια ήταν η Δρ. Maria Telkes. Το 1948 κατασκεύασε το πρώτο μεγάλης κλίμακας πείραμά της, στην περιοχή Dover Mass, στη Βοστώνη των ΗΠΑ. Η περιοχή επελέγη από την Telkes λόγω των ετήσιων επιπέδων ηλιοφάνειας, που για την περιοχή ήταν πάνω από τις μέσες τιμές, κάτι που εξασφάλιζε τη μέγιστη δυνατή εκμετάλλευση του ηλιακού συστήματος. Το πείραμα αφορούσε ένα σπίτι ενός ορόφου, πέντε δωματίων εκ των οποίων τα δύο ήταν υπνοδωμάτια, συνολικής επιφάνειας 135 m². Η ηλιακή ακτινοβολία παρείχε θερμότητα μέσω ηλιακών συλλεκτών, η οποία μετά μέσω ανεμιστήρων οδηγείται σε τρία δοχεία αποθήκευσης θερμότητας. Τα δοχεία χρησιμοποιούσαν σαν PCM το άλας του Glauber. Συνολικά περιλαμβάνονταν 21 tη PCM, συνολικής αποθηκευτικής ικανότητας 11MJ και σημείου τήξης 32 οC. Με τα οικονομικά δεδομένα της εποχής ήταν μία αρκετά ακριβή κατασκευή, κοστίζοντας 20.000 \$, από τα οποία τα 3.000 \$ αφορούσαν το θερμαντικό σύστημα (15% περίπου του συνολικού κόστους). Τα πρώτα δύο έτη λειτουργίας το σύστημα θέρμανσης αποδείχθηκε ιδιαίτερα αποτελεσματικό ακόμα και σε περιόδους με επτά ημέρες συνεχόμενης συννεφιάς. Το σύστημα λειτούργησε με επιτυχία παρέχοντας ένα θερμικά άνετο περιβάλλον θερμοκρασίας γύρω στους 21 οC, χωρίς να χρειαστεί οποιοδήποτε βοηθητικό σύστημα θέρμανσης. Τον τρίτο χρόνο όμως, το σύστημα άρχισε να εμφανίζει σοβαρά προβλήματα, καθώς το άλας του Glauber είχε διαχωριστεί σε διάλυμα και άλυτο άλας (Na₂SO₄), χάνοντας έτσι την αποθηκευτική του ιδιότητα. Παρατηρήθηκε επίσης ότι τα δοχεία αποθήκευσης άρχισαν να διαβρώνονται, με αποτέλεσμα να αυξάνονται δραματικά οι απώλειες του συστήματος.



Εικόνα 9.9.1.1 Κάτοψη πειραματικού σπιτιού Telkes

Το 1953 ο Lawrence Gardshire κατασκεύασε ένα ηλιακό σπίτι με PCM στη περιοχή του New Mexico. Το κτίριο ήταν δυο ορόφων και κάθε όροφος είχε επιφάνεια 102 m². Ο Gardshire χρησιμοποίησε «δοχεία» αποθήκευσης με PCM χωρητικότητας 1,9 m³. Το μόνο που διαφοροποίησε το πείραμα του από αυτό της Telkes ήταν να μην εγκαταστήσει τα δοχεία ανάμεσα στα δωμάτια όπως η Telkes αλλά στη στέγη δίπλα στους ηλιακούς συλλέκτες. Μια καινοτομία επίσης ήταν ότι πρόσθεσε διφθορικό νάτριο στο άλας του Glauber σαν πηκτικό παράγοντα, ώστε να βοηθά στην στερεοποίηση του αλάτος και να αποφύγει όσο ήταν δυνατόν τον διαχωρισμό. Δυστυχώς και αυτή η κατασκευή αντιμετώπισε τα ίδια προβλήματα με την κατασκευή της Telkes, αργότερα βέβαια, λόγω της αύξησης του χρόνου ζωής του PCM που προήλθε από την προσθήκη του διφθορικού νατρίου.

Η επόμενη προσπάθεια για ένα ηλιακό σπίτι με PCM την έκαναν το 1959 οι J.Hodgins και T.Hoffman στον Καναδά. Το κτίριο αυτό ήταν δύο ορόφων, επιφάνειας 111 m². Το σχεδιασμό για την αποθήκευση ενέργειας τον ανέλαβε η Telkes λόγω της προηγούμενης εμπειρίας της. Και σε αυτή τη περίπτωση η Telkes χρησιμοποίησε ως υλικό αλλαγής φάσης το άλας του Glauber (ένυδρο άλας, Na₂SO₄ · 10H₂O, σημείο τήξης τους 32oC). Όμως για να ξεπεραστούν τα προηγούμενα προβλήματα, το σύστημα αποθήκευσης ενέργειας εκτός από τους 12 tn PCM που περιελάμβανε, ήταν εμπλουτισμένο και με πυριτικό άλας νατρίου και χρώμιο, ουσία η οποία εμποδίζει τη διάβρωση. Τα PCMs ήταν ενσωματωμένα σε κυλινδρικά δοχεία χάλυβα, διαμέτρου 0,1 m και ύψους 0,6 m, τα οποία ήταν τοποθετημένα κάθετα στους τοίχους. Παρόλο που τα

αποτελέσματα της μελέτης ήταν ικανοποιητικά, οι προσπάθειες δεν συνεχίστηκαν περαιτέρω από αυτή την ομάδα επιστημόνων .

9.9.2 Ερευνητική Δραστηριότητα

Το πρώτο μεγάλο ερευνητικό πρόγραμμα έλαβε χώρα στο πανεπιστήμιο της Πενσυλβάνια το 1971. Σε αυτό συμμετείχαν οι S.Freedman, M.Telkes, M.Altman. Ο ερευνητικός σκοπός ήταν να ανακαλυφθεί ο αριθμός των PCM's που να είναι κατάλληλα για ψυκτικές και θερμαντικές εφαρμογές, με λεπτομερή ανάλυση παράπλευρων παραγόντων, όπως τα διάφορα κόστη (κτήσης, εγκατάστασης, συντήρησης), οικονομική ανάλυση επένδυσης και αποθηκευτική ικανότητα υλικού. Η έρευνα βασίστηκε στις βασικές ομάδες PCM's: ένυδρα άλατα, οργανικά PCM, ανόργανα PCM, εύτηκτα μίγματα (οργανικά /ανόργανα) . Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι το $K_2HPO_4 \cdot 6H_2O$ (ανόργανο PCM) και ορισμένα μίγματα παραφίνης (οργανικό PCM) είναι κατάλληλα για εφαρμογές κλιματισμού , ενώ για θέρμανση χώρου τα πιο ελπιδοφόρα για επιτυχημένη χρήση PCM's είναι τα: $Zn(NO_3)_2 \cdot 6H_2O$ και $Ca(NO_3)_2 \cdot 4H_2O$. Η δεκαετία του 1970 ήταν ορόσημο για τα PCM και γενικότερα για τις εναλλακτικές μορφές ενέργειας. Συγκεκριμένα το 1973 με τον αραβικό αποκλεισμό πετρελαίου εμφανίζεται η πρώτη πετρελαϊκή κρίση. Αυτό ώθησε τις κυβερνήσεις διάφορων χωρών να αναζητήσουν τρόπους εξοικονόμησης ενέργειας. Το πεδίο μεγάλου ενδιαφέροντος ήταν οι τομείς της ηλιακής ενέργειας και της αποδοτικής αποθήκευσης θερμότητας. Από το σημείο αυτό και μετά η μέθοδοι αποθήκευσης λανθάνουσας θερμότητας έγιναν σημαντικό κομμάτι του προγράμματος ανανεώσιμων πηγών ενέργειας και άρχισαν να επενδύονται σημαντικά κονδύλια στην έρευνα και ανάπτυξη των συστημάτων αυτών. Από το 1973 και μετά ξεκινά η κυβερνητική χρηματοδότηση ερευνητικών προγραμμάτων πάνω στα PCM σε χώρες όπως οι Η.Π.Α., η Αγγλία, η Γερμανία και η Γαλλία. Αποτέλεσμα της ανάγκης για εύρεση PCM, στα τέλη της δεκαετίας του 1970, ήταν κυβερνητικοί επιστημονικοί οργανισμοί των ΗΠΑ να διεξάγουν πειράματα ελέγχοντας 20.000 διαφορετικά υλικά ως προς τις προοπτικές που έδιναν για χρήση ως PCM. Μόλις το 1% θεωρήθηκε υποψήφιο υλικό και συγκεκριμένα κάποια ένυδρα άλατα με την ιδιότητα της ομογενούς τήξης και συγκεκριμένες κατηγορίες οργανικών υλικών. Η μετέπειτα ερευνητική δραστηριότητα παγκοσμίως απέδειξε ότι όντως αυτά τα υλικά είναι τα πλέον κατάλληλα για τέτοιου εφαρμογές.

9.10 Εφαρμογές των PCMs σε παθητικά συστήματα κτιρίων [42,53,94]

Η χρήση των PCMs στα κτίρια έχει αρχίσει να μελετάται εδώ και μερικές δεκαετίες. Η χρήση τους στον τοίχο Trombe , σε τοίχο συλλογής θερμότητας για αερισμό του κτιρίου, σε τοίχο με γυψοσανίδα, σε παντζούρια, σε πάνελ οροφής, σε ενδοδαπέδια θέρμανση συμβάλλει στη θέρμανση και ψύξη των κτιρίων. Η εφαρμογή των PCMs στα κτίρια έχει δυο στόχους. Πρώτον τη χρήση της φυσικής θερμότητας που παρέχει η ηλιακή ενέργεια για θέρμανση ή την ψύχρα της νύχτας για ψύξη. Δεύτερον τη χρήση των πηγών θερμότητας ή ψύξης που έχουν κατασκευαστεί από τον άνθρωπο. Σε κάθε περίπτωση η αποθήκευση της θερμότητας ή της ψύξης είναι απαραίτητη για την εξισορρόπηση της διαθεσιμότητας και της ζήτησης στη διάρκεια της ημέρας. Οι βασικοί μέθοδοι για τη χρήση των PCMs στα κτίρια είναι οι εξής τρεις : i) η προσθήκη των PCMs στους τοίχους, ii) η προσθήκη των PCMs σε συστατικά μέρη του σπιτιού εκτός των τοίχων, iii) η χρήση των PCMs σε ψυχρές και θερμές μονάδες αποθήκευσης. Τα πρώτα δυο αναφέρονται σε παθητικά συστήματα, όπου η θέρμανση και η ψύξη που αποθηκεύονται αποδίδονται αυτόματα όταν η εσωτερική ή η εξωτερική θερμοκρασία αυξηθεί ή μειωθεί κάτω από το σημείο τήξης. Το τρίτο αναφέρεται σε ενεργητικό σύστημα, όπου η αποθηκευμένη θερμότητα ή ψύξη βρίσκεται μέσα σε κάλυμμα, θερμικά μονωμένο από το κτίριο με μόνωση. Έτσι, η θερμότητα ή η ψύξη χρησιμοποιείται μόνο όταν χρειάζεται και όχι αυτόματα.

9.10.1 Τοίχος Trombe με ενσωματωμένο PCM

Ο τοίχος Trombe αποτελείται από ένα λεπτό τοίχο στη νότια πλευρά του σπιτιού. Ένα μονό ή διπλό στρώμα γυαλιού ή πλαστικό τζάμι είναι τοποθετημένο περίπου 4 in μπροστά από την επιφάνεια του τοίχου. Η ηλιακή θερμότητα συλλέγεται στο χώρο μεταξύ του τοίχου και του τζαμιού. Η εξωτερική επιφάνεια του τοίχου είναι μαύρου χρώματος και απορροφά τη θερμότητα, η οποία στη συνέχεια αποθηκεύεται στη μάζα του τοίχου. Η θερμότητα διαχέεται από τον τοίχο Trombe στο σπίτι κατά τη διάρκεια αρκετών ωρών. Τότε η εσωτερική θερμοκρασία πέφτει κάτω από αυτή της επιφάνειας του τοίχου και έτσι η θερμότητα ξεκινά να διασκορπίζεται στο δωμάτιο. Οι απώλειες θερμότητας από τον τοίχο Trombe μπορούν να ελεγχθούν μέσω μιας κουρτίνας με μόνωση, η οποία είναι κλειστή τη νύχτα στο χώρο μεταξύ του τζαμιού και του τοίχου. Στους τοίχους Trombe, χρησιμοποιούνται PCMs όπως ένυδρα άλατα και υδρογονάνθρακες.

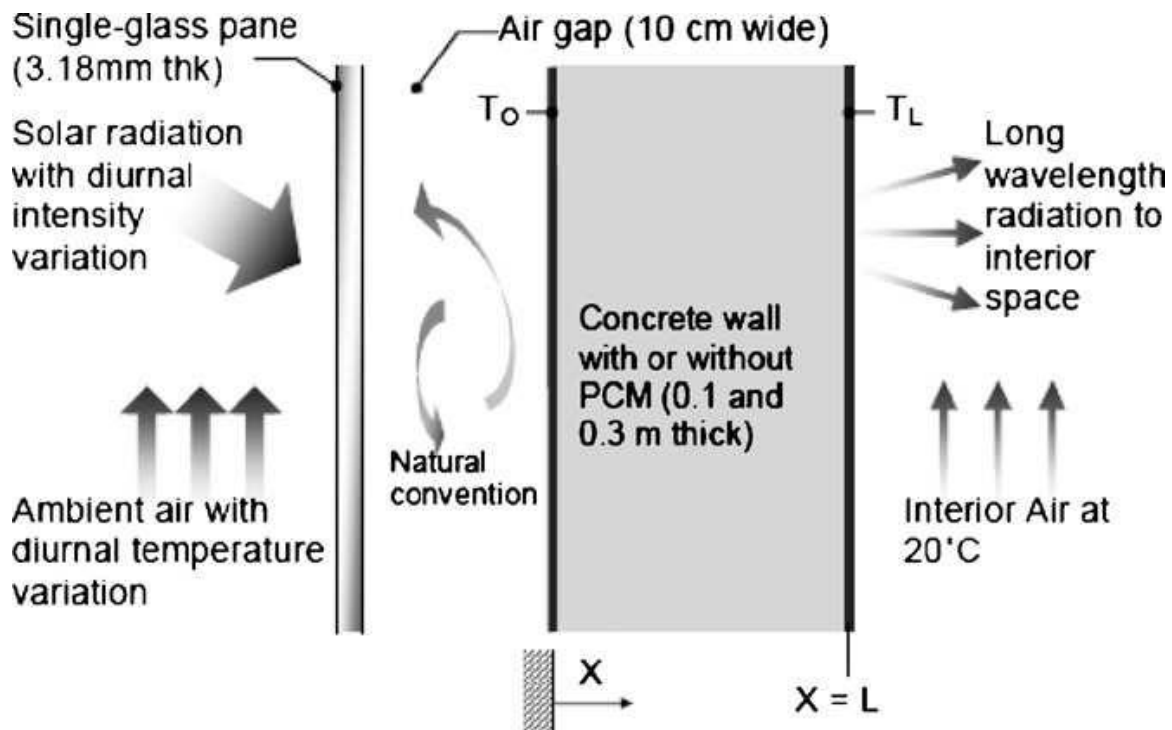
Η Telkes [107] πρότεινε την τοποθέτηση PCM's σε τοίχους, μεσότοιχους, ταβάνια και πατώματα, για να λειτουργούν ως ρυθμιστές θερμοκρασίας. Τα PCM's χρησιμοποιήθηκαν για να αντικαταστήσουν τη λιθοποιία σε ένα τοίχο Trombe.

Ο Askew [108] χρησιμοποίησε ένα πίνακα συλλεκτών φτιαγμένο από μια λεπτή πλάκα κεριού παραφίνης και το τοποθέτησε πίσω από το διπλό τζάμι του κτιρίου και βρήκε ότι η θερμική αποδοτικότητα είναι ανάλογη με τους τυπικούς επίπεδους συλλέκτες.

Οι Farouk και Guceri [109] μελέτησαν τη χρησιμότητα του εγκατεστημένου τοίχου με PCM σε ένα κτίριο για νυχτερινή οικιακή θέρμανση, χρησιμοποιώντας ένα μίγμα από το άλας του glauber και κερί SUNOCO P-116. Παρατηρήθηκε ότι εάν ο τοίχος με PCM ήταν κατάλληλα σχεδιασμένος, περιορίζονταν μερικά από τα μη επιθυμητά χαρακτηριστικά του κανονικού τοίχου.

Ο Bourdeau [110] μελέτησε δύο τοίχους παθητικής θερμικής αποθήκευσης που χρησιμοποιούσαν εξαένυδρο χλωριούχο ασβέστιο, με σημείο τήξης 29°C. Κατέληξε ότι ένας τοίχος πάχους 8,1 cm με PCM παρουσίαζε ελαφρώς καλύτερη θερμική αποθηκευτική ικανότητα από έναν κλασσικό τοίχο πάχους 40 cm.

Οι Buddhi και Sharma [111] μέτρησαν το κατά πόσο μεταφέρεται ηλιακή ακτινοβολία μέσω ενός PCM για διαφορετικές θερμοκρασίες και πάχη του υλικού. Ως PCM επιλέχθηκε στεατικό οξύ, και οι μετρήσεις κατέληξαν στο ότι στο PCM η ηλιακή ακτινοβολία μεταφέρεται πολύ πιο γρήγορα σε σχέση με το γυαλί για το ίδιο πάχος και μάλιστα πρότεινε μια καινούρια εφαρμογή, την εισαγωγή του σε τοίχους και παράθυρα, ως ένα διάφανο υλικό μόνωσης.

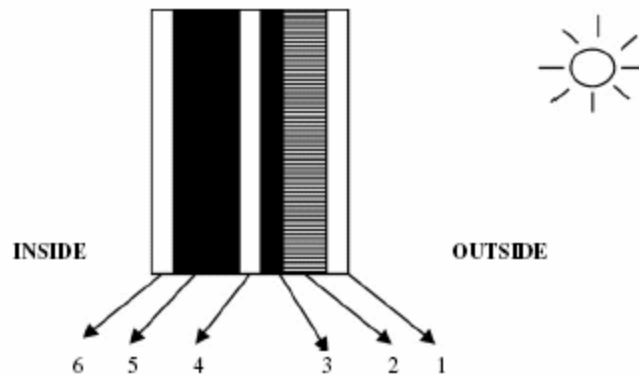


Εικόνα 9.10.1.1 Σχηματική απεικόνιση ενός τοίχου Trombe με ή χωρίς ενσωμάτωση PCM [53]

9.10.2 Τοίχος συλλογής θερμότητας για αερισμό κτιρίου με ενσωματωμένο PCM

Ένας τοίχος με PCMs έχει την δυνατότητα να αιχμαλωτίζει μεγάλο μέρος της ηλιακής ακτινοβολίας που προσπίπτει πάνω του. Εξαιτίας της μεγάλης θερμικής του μάζας μπορεί να ελαχιστοποιεί τις επιπτώσεις των διακυμάνσεων της εξωτερικής θερμοκρασίας στο εσωτερικό του κτιρίου. Επιπλέον, είναι πολύ αποτελεσματικός στην μετατόπιση του φορτίου σε περιόδους μικρότερης ζήτησης. Οι Arkar και Medved [38] σχεδίασαν και εξέτασαν ένα σύστημα αποθήκευσης λανθάνουσας θερμότητας για τον αερισμό ενός κτιρίου. Σφαιρικές κάψουλες πολυαιθυλένης τοποθετήθηκαν σε ένα κανάλι του συστήματος αερισμού του κτιρίου και λειτούργησαν ως ένα πορώδες μέσο αποθήκευσης και απορρόφησης. Η θερμότητα που απορροφήθηκε χρησιμοποιήθηκε για να προθερμάνει τον αέρα που εισέρχεται στο κτίριο. Ο "ηλιακός" τοίχος είναι μία εφαρμογή τοίχου με ενσωματωμένα PCMs. Σε αυτή την περίπτωση η ακτινοβολία που προσπίπτει στον τοίχο απορροφάται από το PCM και "θάβεται" στον τοίχο. Οι Stritih και Novak κατασκεύασαν έναν πειραματικό τοίχο, ο οποίος περιείχε μαύρο κερί παραφίνης

ως PCM. Η αποθηκευμένη θερμότητα χρησιμοποιήθηκε για την θέρμανση και τον αερισμό του κτιρίου και τα αποτελέσματα, σύμφωνα με τους ερευνητές, ήταν πολλά υποσχόμενα. Ο τοίχος αποτελείται από έξι κυρίως μέρη όπως φαίνεται και στο σχήμα που δίδεται παρακάτω.



Εικόνα 9.10.2.1 Στοιχεία PCM στον “ηλιακό” τοίχο.

Η ηλιακή ακτινοβολία μικρού μήκους κύματος περνάει μέσα από το τζάμι με το διαφανές μονωτικό υλικό (1,2), το οποίο εμποδίζει την συναγωγή και την μεταφορά της θερμότητας με ακτινοβολία. Στη συνέχεια το PCM (3), το οποίο βρίσκεται σε μια διαφανή πλαστική θήκη από πολυανθρακικό, απορροφά και αποθηκεύει την ενέργεια, κυρίως ως λανθάνουσα θερμότητα. Ο αέρας για τον αερισμό του κτιρίου θερμαίνεται στο κανάλι (4) και οδηγείται στο δωμάτιο, ενώ η μόνωση και ο γύψος (5) και (6) αντίστοιχα αποτελούν δεδομένα στοιχεία. Ο “ηλιακός” τοίχος παρουσιάζει πολλά πλεονεκτήματα σε σχέση με άλλα συστήματα. Κατ’ αρχήν, η μετατροπή της ηλιακής ενέργειας σε λανθάνουσα θερμότητα με τόσο υψηλή αποδοτικότητα οφείλεται στην απορρόφηση της ηλιακής ακτινοβολίας κατ’ ευθείαν από το PCM μέσω του διαφανούς πλαστικού τζαμιού, το οποίο ταυτόχρονα λειτουργεί και ως μονωτικό, εμποδίζοντας τις απώλειες συναγωγής και ακτινοβολίας προς το περιβάλλον. Επιπλέον, οι απώλειες λόγω της αγωγής στο δωμάτιο μειώνονται στην επιφάνεια του τοίχου.

9.10.3 Γυψοσανίδα με ενσωματωμένο PCM

Οι γυψοσανίδες είναι φθηνές και ευρέως χρησιμοποιούμενες σε μια ποικιλία εφαρμογών, πράγμα που τις κάνει κατάλληλες για την ενσωμάτωση των PCMs σε κάψουλες.

Ο Shapiro [113] και οι συνεργάτες του, ανακάλυψαν μεθόδους για διαποτισμό γύψινου τοίχου και άλλων αρχιτεκτονικών υλικών με PCMs. Ο Shapiro [114] απέδειξε ότι διάφορα PCMs είναι κατάλληλα για εισαγωγή σε γύψινο τοίχο, με πιθανές εφαρμογές θερμικής αποθήκευσης για το κλίμα της Φλόριντα.

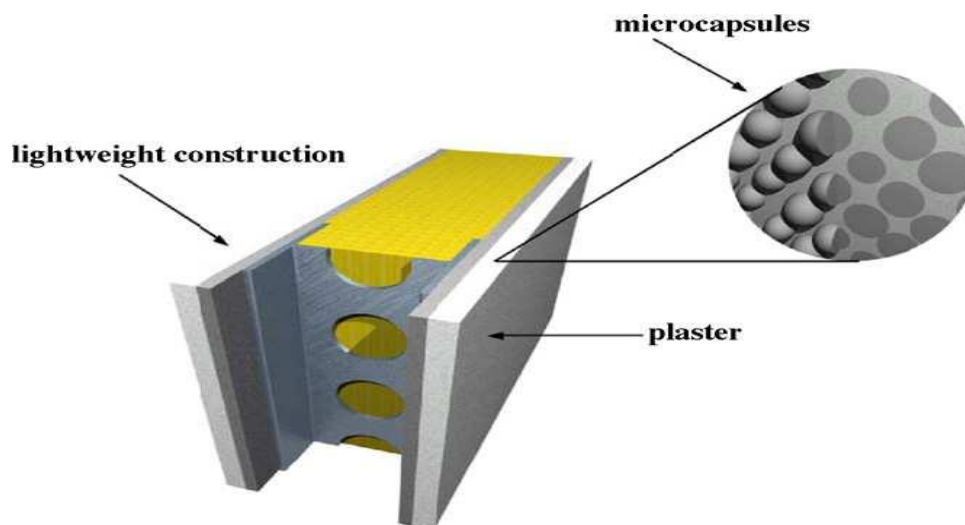
Ο Feldman [115-117] και οι συνεργάτες του, διεξήγαγαν εκτενή έρευνα όσον αφορά τη χρήση και τη σταθερότητα των οργανικών συστατικών για τη λανθάνουσα θερμότητα αποθήκευσης, συμπεριλαμβανομένων των λιπαρών οξέων. Επιπροσθέτως διεξήχθη έρευνα και για τα υλικά τα οποία συμπεριφέρονται ως απορροφητές των PCMs.

Ο Neerer [118] έχει εξετάσει την δυναμική μιας γυψοσανίδας με ενσωματωμένα λιπαρά οξέα και κεριά παραφίνης ως PCM που υπόκεινται στην ημερήσια θερμοκρασιακή διακύμανση του δωματίου, χωρίς όμως να προσπίπτει άμεσα σε αυτά η ηλιακή ακτινοβολία. Η παρατήρηση που έκανε είναι ότι η μέγιστη τιμή της ημερήσιας αποθηκευμένης ενέργειας προκύπτει όταν η τιμή της θερμοκρασίας τήξης του PCM σε κάψουλες πλησιάζει την μέση τιμή της θερμοκρασίας που δημιουργεί την αίσθηση της άνεσης. Μάλιστα, η ημερήσια αποθηκευμένη ενέργεια μειώνεται όταν η αλλαγή φάσης πραγματοποιηθεί σε ένα εύρος θερμοκρασιών.

Οι προσομοιώσεις των ενεργειακών κτιρίων βοηθούν στην εκτίμηση των διάφορων εφαρμογών των PCMs για λόγους αποθήκευσης θερμότητας στα κτίρια. Γι' αυτό το λόγο το Fraunhofer Institute προσομοίωσε την θερμική συμπεριφορά των στοιχείων κτιρίου, προκειμένου να συγκρίνει την δυναμική απόδοση των διαφόρων ειδών τοίχων, που περιείχαν ποικίλα PCMs. Η βάση τους είναι ένα μοντέλο, που εξετάζει την αλλαγή φάσης και είναι εμπειρικά επικυρωμένο από μετρήσεις σε δείγματα τοίχων, διαστάσεων 0,5 x 0,5 m². Ερεύνησαν την επίδραση που έχουν τα PCMs ως συνάρτηση του θερμοκρασιακού εύρους της αλλαγής φάσης, της ποσότητας του PCM, της κατασκευής και χρήσης του κτιρίου. Με την βοήθεια θερμογράφων, φάνηκε ποσοτικά η επίδραση του PCM στα κατασκευαστικά υλικά, δηλαδή σε τέσσερα δείγματα τοίχων με διαφορετική ποσότητα PCM ενσωματωμένη στο καθένα, τα οποία είχαν θερμανθεί σε ένα φούρνο και στη συνέχεια παρακολουθούνταν η ψύξη τους. Όσο μεγαλύτερη είναι η ποσότητα του PC τόσο περισσότερο διαρκεί και η αποβολή της θερμότητας που έχουν απορροφήσει.

Επομένως, σε συγκεκριμένο θερμοκρασιακό εύρος, η θερμική μάζα ενός στοιχείου του κτιρίου μπορεί να αυξηθεί σημαντικά λόγω της διαδικασίας αλλαγής φάσης, ώστε η θερμική άνεση που συνδέεται με τις βαριές κατασκευές των κτιρίων να μπορεί να προσεγγισθεί και από κατασκευαστικά υλικά που είναι κατάλληλα για πιο ελαφριές κατασκευές.

Ο Kissock και οι συνεργάτες του [119], έχουν παρουσιάσει τα αποτελέσματα της πειραματικής μελέτης τους πάνω στην θερμική συμπεριφορά γυψοσανίδων, οι οποίες έχουν απορροφήσει 30% κατά βάρος εμπορική παραφίνη. Στις προσομοιώσεις που έκαναν, η ηλιακή ακτινοβολία, η θερμοκρασία του γύρω χώρου και οι εσωτερικές θερμοκρασίες στα κελιά των δοκιμών παρακολουθούνταν για 14 ημέρες. Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι η μέγιστη θερμοκρασία κατά την διάρκεια της αλλαγής φάσης στο δοκιμαστικό κελί με PCM ήταν σχεδόν 10 φορές μικρότερη από την αντίστοιχη στο κελί αναφοράς τις θερμές ημέρες. Από την άλλη πλευρά, οι γυψοσανίδες με PCMs παρουσιάζουν και κάποια μειονεκτήματα. Η κατάλληλη μεταβατική θερμοκρασία διαφέρει ανάλογα με το κλίμα της εκάστοτε περιοχής, ενώ το να πετύχεις την σωστή θερμοκρασία γίνεται πολύ δύσκολο σε περιοχές που έχουν ανάγκη τόσο από θέρμανση όσο και από ψύξη. Άλλα ζητήματα που προκύπτουν είναι η διάβρωση, η αναφλεξιμότητά τους και άλλα παραδοσιακά θέματα που αφορούν στην εφαρμογή τους, όπως η δυνατότητα να βαφτεί ο τοίχος.



Εικόνα 9.10.3.1 Σχηματική απεικόνιση τοίχου ελαφράς κατασκευής με χρήση PCM.

9.10.4 Σκίαστρα με ενσωματωμένο PCM

Σε αυτή την εφαρμογή, το σκίαστρο που περιέχει PCMs τοποθετείται έξω από τις επιφάνειες των παραθύρων. Κατά την διάρκεια της ημέρας είναι ανοιχτό προς το περιβάλλον, η εξωτερική του πλευρά εκτίθεται σε ηλιακή ακτινοβολία, απορροφάται θερμότητα και έτσι το PCM λιώνει. Κατά τη διάρκεια της νύχτας, κλείνουμε το παραθυρόφυλλο, ανοίγουμε το παράθυρο και θερμότητα από το PCM εισέρχεται λόγω ακτινοβολίας στον χώρο.

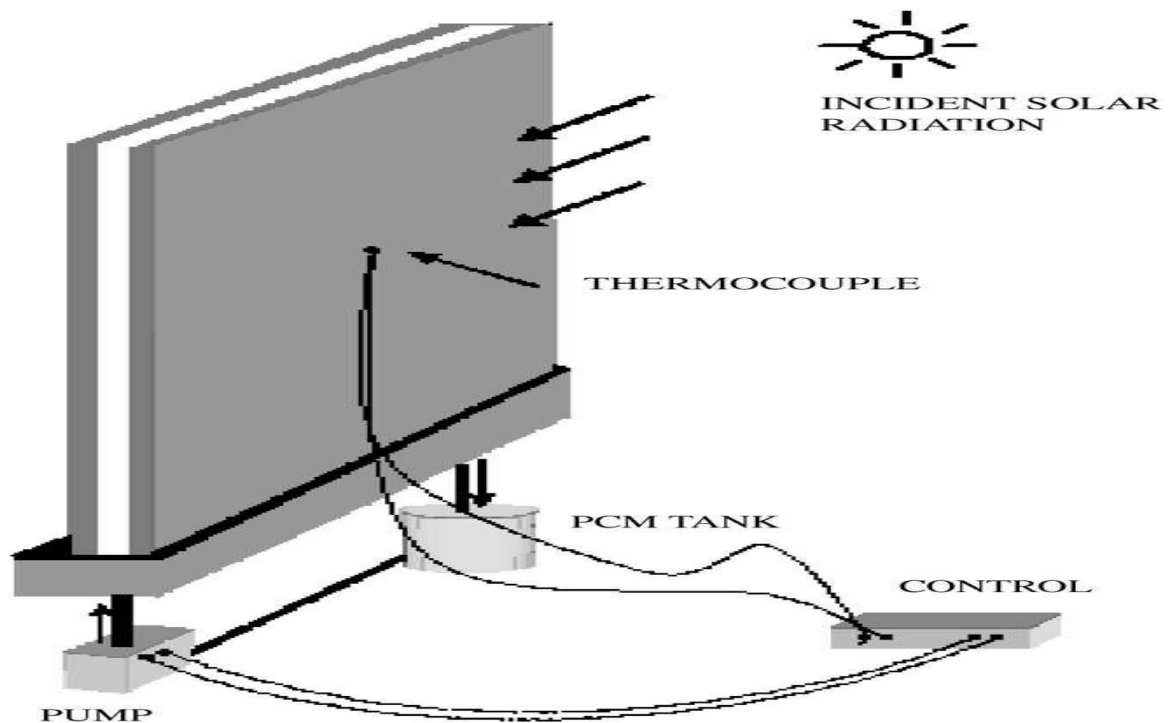
Ο Budhi και οι συνεργάτες του [120] ερεύνησαν την θερμική συμπεριφορά ενός δοκιμαστικού δωματίου διαστάσεων 1m x 1m x 1m , με και χωρίς PCM. Ως υλικό αποθήκευσης της λανθάνουσας μορφής θερμότητας χρησιμοποιήθηκε το CG λαυρικό οξύ και βρέθηκε ότι η ικανότητα θερμικής αποθήκευσης του δωματίου αυξήθηκε κατά 4oC για 4-5 ώρες όταν χρησιμοποιείται νύχτα, χάρη στην παρουσία του PCM. Επίσης παρατηρήθηκε ότι με τη χρήση αυτών των σκιάστρων η μέγιστη θερμοκρασία λόγω της σκίασης καθυστέρησε να εμφανιστεί κατά 3 ώρες καθώς και η θερμοκρασία του δωματίου μειώθηκε κατά 2°C.



Εικόνα 9.10.4.1 Σκίαστρα με ενσωματωμένα PCMs.

9.10.5 Κουρτίνες με ενσωματωμένο PCM

Ο Ismail και οι συνεργάτες του [121] πρότειναν την προσθήκη PCMs σε κινούμενες κουρτίνες αξιοποιώντας θερμικά τα παράθυρα με ένα εναλλακτικό τρόπο όπως φαίνεται παρακάτω στο σχήμα. Το παράθυρο έχει δυο στρώματα με κενό στο ενδιάμεσο και μια σχισμή για να διέρχεται ο αέρας στην επάνω γωνία. Οι πλευρές και το κάτω μέρος είναι σφραγισμένα εκτός των δυο οπών που βρίσκονται στο κάτω μέρος οι οποίες ενώνονται με μια αντλία και τη δεξαμενή που περιέχει το PCM. Η αντλία συνδέεται με τη δεξαμενή που φέρει το PCM το οποίο βρίσκεται σε υγρή φάση. Η λειτουργία της αντλίας ελέγχεται μέσω ενός αισθητήρα θερμότητας. Όταν η θερμοκρασιακή διαφορά φτάσει μια καθορισμένη τιμή η αντλία ξεκινά τη λειτουργία της και το υγρό PCM απομακρύνεται από την δεξαμενή για να γεμίσει το κενό μεταξύ των υαλοπινάκων. Έτσι το PCM αρχίζει να ψύχεται εξαιτίας της χαμηλότερης θερμοκρασίας της εξωτερικής επιφάνειας, σχηματίζοντας ένα στερεό στρώμα που αυξάνεται σε πάχος με την πάροδο του χρόνου κι έτσι αποτρέπει την μείωση της εσωτερικής θερμοκρασίας. Αυτό συνεχίζεται μέχρι να στερεοποιηθεί όλη η ποσότητα του PCM. Ένα σωστά σχεδιασμένο τέτοιο σύστημα παραθύρου μπορεί να διασφαλίσει ότι η εξωτερική θερμοκρασία θα σταματήσει να μειώνεται πριν την ολική στερεοποίηση του PCM. Η ιδέα αυτή είναι εφικτή και θερμικά αποτελεσματική. Ακόμη έχει αποδειχθεί ότι η παρουσία του PCM μεταξύ των υαλοπινάκων φιλτράρει την θερμική ακτινοβολία και μειώνει το θερμικό κέρδος ή τις απώλειες, διότι η περισσότερη ενέργεια που μεταφέρεται απορροφάται κατά τη διάρκεια της αλλαγής φάσης του PCM. Το διπλό τζάμι που περιέχει PCM είναι πιο αποτελεσματικό από ένα παρόμοιο τζάμι που περιέχει αέρα. Αξίζει να τονιστεί πως το χρωματισμένο PCM είναι πιο αποτελεσματικό όσον αφορά τη μείωση της ακτινοβολίας και το πράσινο χρώμα έχει αποδειχθεί ως το πιο αποτελεσματικό από όλα.



Εικόνα 9.10.5.1 Απεικόνιση παραθύρου με κινητή κουρτίνα.

9.10.6 Πάνελ οροφής με ενσωματωμένο PCM

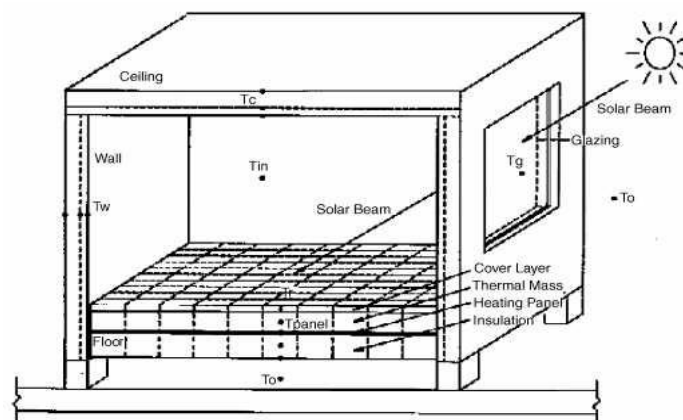
Η τοποθέτηση PCM σε πάνελ οροφής έχει μελετηθεί εκτενώς από αρκετούς επιστήμονες. Η βασική αρχή λειτουργίας του συστήματος αυτού είναι πως το PCM στα πάνελ οροφής λιώνει κατά τη διάρκεια της μέρας όταν εκτίθεται στα θερμικά φορτία και παγώνει κατά τη διάρκεια της νύχτας με τη βοήθεια ενός συστήματος ενσωματωμένων σωλήνων που μεταφέρουν νερό. Η προσωρινή αποθήκευση της θερμικής ενέργειας στο PCM μειώνει το εύρος διακύμανσης των θερμοκρασιών στο κτίριο ενώ επιτρέπει στην διαδικασία αποβολής θερμότητας να μην είναι ταυτόχρονη με το κέρδος θερμότητας. Ενδείκνυται η συσκευασία του PCM σε μικροκάψουλες οι οποίες θα είναι τοποθετημένες σε κατάλληλο υλικό όπως ο γύψος για αποφευχθεί ο κίνδυνος πυρκαγιάς σε ενδεχόμενη διαρροή υγρού PCM.

Ένα σύστημα θέρμανσης χώρου το οποίο περιλαμβάνει PCM τοποθετημένο στην οροφή αναπτύχθηκε από τους Gutherz και Schiller [122]. Ηλιακοί ανακλαστήρες χρησιμοποιούνται για να κατευθύνουν την ηλιακή ενέργεια να εισέλθει μέσω των παραθύρων στα PCMs. Το κύριο πλεονέκτημα του συστήματος αυτού είναι ότι επιτρέπει

σε μια μεγάλη περιοχή να αποθηκεύσει θερμότητα χωρίς να απαιτεί μεγάλες ποσότητες αποθηκευτικού μέσου όπως θα απαιτούνταν στην περίπτωση αποθήκευσης αισθητής θερμότητας. Έχει αποδειχθεί ότι η χρήση ενός τέτοιου συστήματος έχει τη δυνατότητα να ανακτήσει 17-36 % της θερμότητας που χάνεται .

9.10.7 Ενδοδαπέδια θέρμανση με ενσωματωμένο PCM

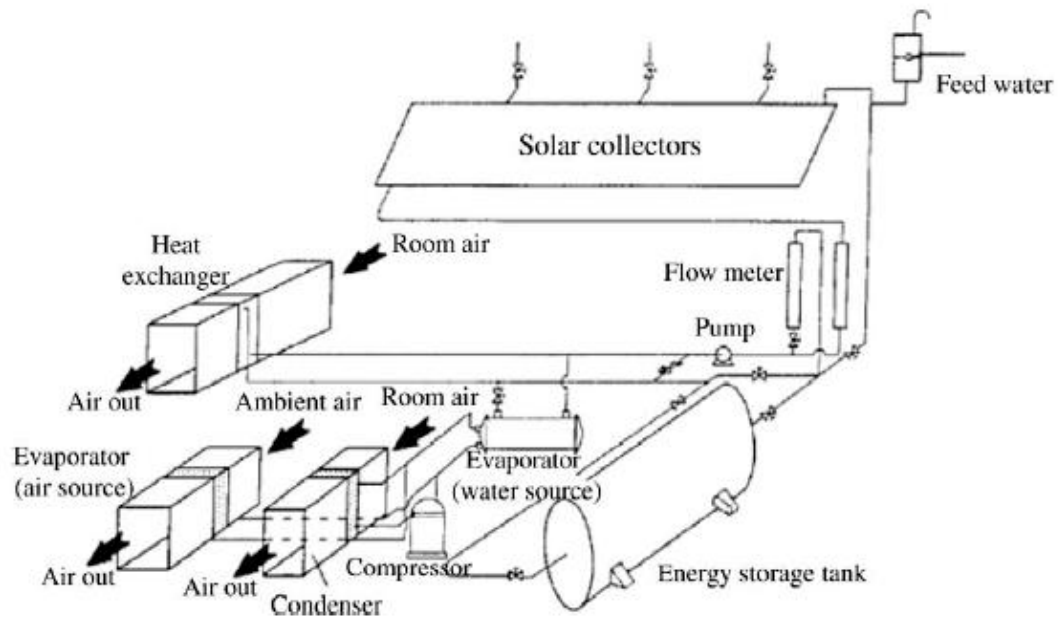
Το δάπεδο είναι ένα εξίσου σημαντικό σημείο ενός κτιρίου και επομένως δοκιμάστηκε και η χρήση αυτού για την θέρμανση και την ψύξη. Οι Ahtienities και Chen [50], ερεύνησαν την παροδική μεταφορά θερμότητας στα συστήματα θέρμανσης του πατώματος. Η μελέτη τους επικεντρώθηκε στην επίδραση του καλύμματος και της ηλιακής ακτινοβολίας στην θερμοκρασιακή κατανομή του δαπέδου και στην κατανάλωση ενέργειας. Περιοχές καλυμμένες εξ ολοκλήρου ή μερικώς από χαλί, λήφθηκαν υπ' όψιν, όπως επίσης και περιοχές με ξύλινη επικάλυψη του τσιμέντου ή του μίγματος γύψου-τσιμέντου θερμικής αποθήκευσης. Πειραματικά αποτελέσματα από προσομοιώσεις για ένα εξωτερικό δωμάτιο δοκιμών, αποκαλύπτουν ότι η οριζόντια ακτινοβολία μπορεί να οδηγήσει σε αύξηση της θερμοκρασίας της περιοχής του πατώματος που φωτίζεται κατά 8 οC περισσότερο σε σχέση με αυτή που βρίσκεται υπό σκιά. Η μερική κάλυψη του πατώματος με χαλί, αυξάνει την θερμοκρασιακή διαφορά του πατώματος στους 15οC όταν απορροφάται ηλιακή ακτινοβολία. Η ηλιακή ακτινοβολία που αποθηκεύεται στην θερμική μάζα του πατώματος αποδείχτηκε ότι μειώνει την κατανάλωση ενέργειας για θερμότητα κατά 30% περίπου, ενώ η αύξηση της θερμικής μάζας από 5 cm σε 10 cm δεν έδειξε να οδηγεί σε περαιτέρω εξοικονόμηση ενέργειας. Παρακάτω δίνεται η σχηματική αναπαράσταση του δωματίου δοκιμών.



Εικόνα 9.10.7.1 Σχηματική απεικόνιση του δωματίου δοκιμών.

9.11 Εφαρμογές των PCMs σε ενεργητικά συστήματα κτιρίων [95]

Στις εφαρμογές στα κτίρια, τα υλικά αλλαγής φάσης μπορούν να ενσωματωθούν σε άλλα συστήματα, όπως συστήματα ηλιακής θέρμανσης με χρήση αντλίας, συστήματα ανάκτησης θερμότητας, συστήματα ενδοδαπέδιας θέρμανσης ως ενεργητικές εφαρμογές προκειμένου να εξυπηρετήσουν λειτουργικούς σκοπούς και να βελτιώσουν την ικανότητα μεταφοράς θερμότητας των PCMs. Η αποτελεσματικότητα του συνδυασμού των συστημάτων με χρήση αντλίας με το PCM (π.χ. το $\text{CaCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$) για θέρμανση χώρου ερευνάται σε διάφορες μελέτες. Στην παρακάτω εικόνα παρουσιάζεται η συνολική διάταξη αυτού του πειραματικού συστήματος θέρμανσης που εξετάζεται στις μελέτες.

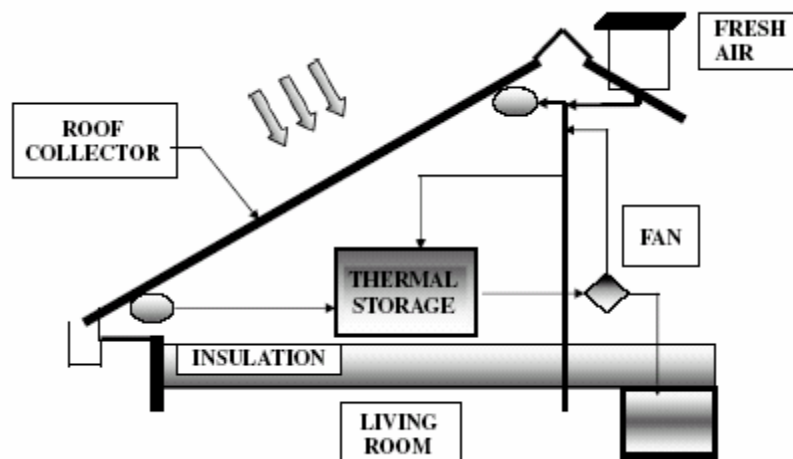


Εικόνα 9.11.1 Πειραματικό σύστημα θέρμανσης [96].

Η επίδραση των διάφορων παραμέτρων του συστήματος στη θερμοκρασία του αέρα στο εσωτερικό του κτιρίου, η διακύμανση της θερμοκρασίας του PCM στην δεξαμενή αποθήκευσης και οι θερμοκρασίες του νερού που μεταφέρει τη θερμότητα στους ηλιακούς συλλέκτες και στη δεξαμενή αποθήκευσης ερευνώνται σε μελέτες. Επιπλέον αποδείχθηκε ότι το PCM είναι ένα συστατικό καίριας σημασίας για συστήματα ηλιακής θέρμανσης με χρήση σωλήνων.

9.11.1 Σύστημα θέρμανσης χώρου ενσωματωμένο στην οροφή [94]

Το πανεπιστήμιο της βόρειας Αυστραλίας (UniSA), έχει αναπτύξει ένα σύστημα αποθήκευσης της ηλιακής θερμότητας, το οποίο είναι ενσωματωμένο στην οροφή και το οποίο χρησιμοποιεί μεταλλικά φύλλα οροφής με αυλακώσεις ως ηλιακό συλλέκτη για την θέρμανση του αέρα. Μία μονάδα θερμικής αποθήκευσης PCM χρησιμοποιείται για την αποθήκευση της θερμότητας την ημέρα, ώστε αυτή να μπορεί να διανεμηθεί κατά τη διάρκεια της νύχτας διότι δεν υπάρχει ηλιοφάνεια. Το σύστημα αυτό λειτουργεί με τρεις διαφορετικούς τρόπους. Όσο έχει ηλιοφάνεια και όταν απαιτείται θέρμανση ο αέρας περνάει μέσα από τον συλλέκτη και εν συνεχεία μέσα στο σπίτι. Όταν δεν απαιτείται θέρμανση ο αέρας περνάει από την μονάδα θερμικής αποθήκευσης, λιώνει το PCM και το φορτίζει έτσι για μελλοντική χρήση. Όταν δεν υπάρχει ηλιοφάνεια, ο αέρας του δωματίου περνάει από την μονάδα θερμικής αποθήκευσης, ζεσταίνεται και μετά ωθείται στο σπίτι. Επαρκή ποσά καθαρού αέρα εισάγονται όταν το σύστημα ηλιακής θέρμανσης διανέμει θερμότητα στον χώρο, όπως φαίνεται και στο παρακάτω σχήμα:



Εικόνα 9.11.1.1 Απεικόνιση του συστήματος ηλιακής θέρμανσης.

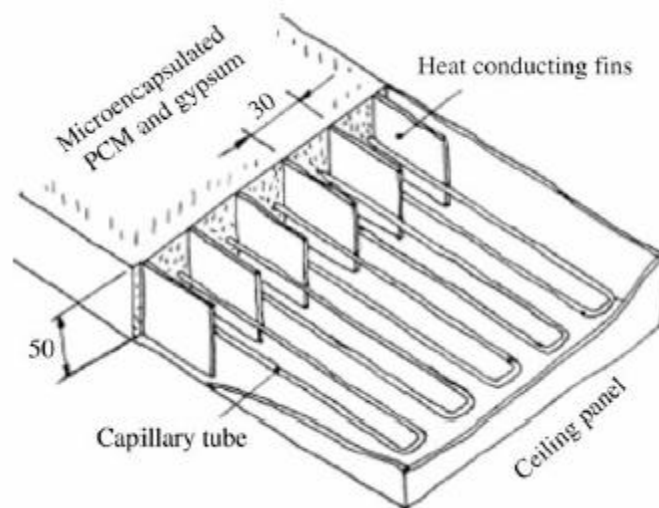
Το σύστημα αυτό παρουσιάζει τα εξής πλεονεκτήματα:

Οι επιδράσεις της αισθητής θερμότητας γίνονται εμφανείς στις αρχικές περιόδους τόσο της τήξης όσο και της ψύξης. Για την περίπτωση της θέρμανσης αυτό σημαίνει σημαντική αύξηση της θερμότητας κατά την αρχική περίοδο διανομής του αέρα στον χώρο, γεγονός που συμβάλλει στην αύξηση της θερμικής άνεσης. Η υψηλότερη θερμοκρασία του εισερχόμενου αέρα στο σύστημα αυξάνει τους

ρυθμούς μεταφοράς της θερμότητας και μειώνει τον χρόνο τήξης. Αντίθετα, κατά την διάρκεια της ψύξης η χαμηλότερη θερμοκρασία του εισερχόμενου αέρα αυξάνει την μεταφορά θερμότητας και μειώνει τον χρόνο ψύξης. Η υψηλότερη ροή αέρα αυξάνει τον ρυθμό μεταφοράς θερμότητας και μειώνει τον χρόνο τήξης, αυξάνοντας όμως την θερμοκρασία του αέρα εξόδου από το σύστημα (και άρα εισόδου στο δωμάτιο). Για την ψύξη, ο υψηλότερος ρυθμός ροής του αέρα αυξάνει την μεταφορά θερμότητας και μειώνει τον χρόνο ψύξης, μειώνοντας όμως και την θερμοκρασία του αέρα εξόδου από το σύστημα.

9.11.2 Ενεργητικό πάνελ οροφής με ενσωματωμένο PCM [95]

Ένα θερμικό ενεργητικό πάνελ οροφής με PCM, όπως φαίνεται στο σχήμα μελετήθηκε στην αναφορά για ελαφρές και ανακαινισμένες κατασκευές. Το PCM στα πάνελ οροφής λιώνει κατά τη διάρκεια της μέρας λόγω της έκθεσης του στα θερμικά φορτία του ήλιου και παγώνει κατά τη διάρκεια της νύχτας χρησιμοποιώντας ένα ενιαίο δίκτυο σωληνώσεων νερού. Η προσομοίωση που έγινε με το πρόγραμμα TRNSYS και οι δοκιμές στο εργαστήριο έδειξαν ότι ένα στρώμα PCM πάχους 5cm συσκευασμένο σε μικροκάψουλες (25% κατά βάρος) και γύψο είναι αρκετό ώστε να διατηρήσει μια θερμοκρασία άνεσης στο δωμάτιο σε ένα κτίριο με γραφεία.

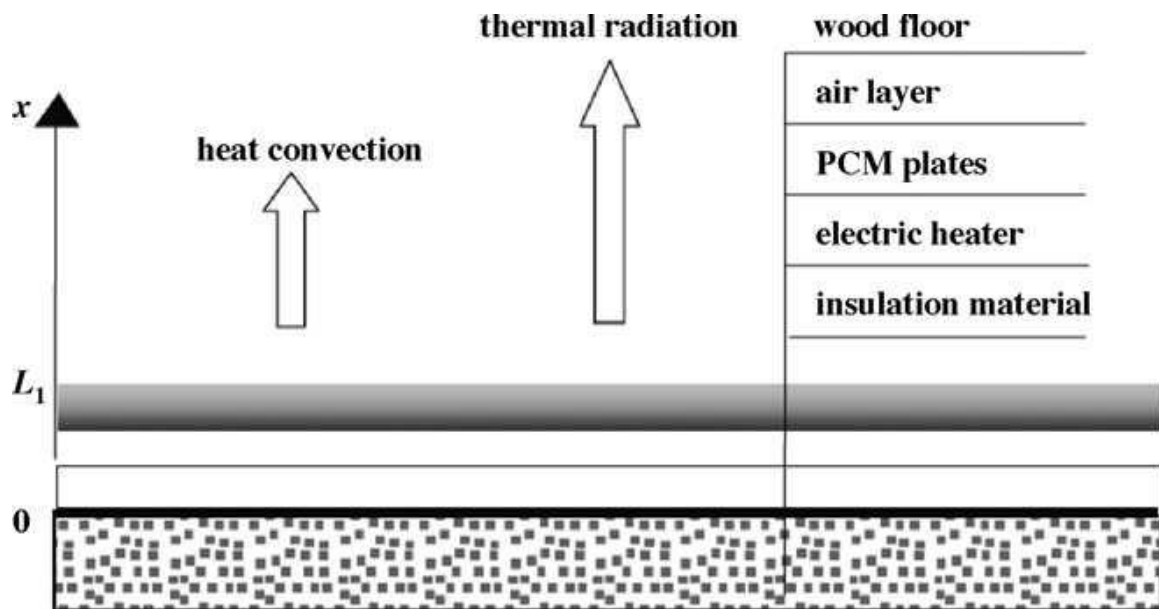


Εικόνα 9.11.2.1 Θερμικό ενεργητικό πάνελ οροφής με ενσωματωμένο PCM .[97]

9.11.3 Ενδοδαπέδια θέρμανση με ενσωματωμένο PCM [94,95,98,99,100,112]

Η Kunping Lina και οι συνεργάτες της προωθούν ένα νέο είδος ενδοδαπέδιου ηλεκτρικού συστήματος θέρμανσης με πλάκες PCM σταθερού σχήματος. Διαφοροποιημένα από τα συμβατικά PCMs, τα σταθερού σχήματος PCMs μπορούν να κρατήσουν το σχήμα τους αμετάβλητο κατά τη διαδικασία της αλλαγής φάσης. Συνεπώς ο κίνδυνος διαρροής τους αποφεύγεται. Το σύστημα αυτό μπορεί να φορτιστεί χρησιμοποιώντας το νυχτερινό φθινό ρεύμα και να αποδώσει την αποθηκευμένη ενέργεια κατά της διάρκεια της ημέρας. Για να υπολογιστεί η θερμική απόδοση του ενδοδαπέδιου ηλεκτρικού συστήματος θέρμανσης με πλάκες PCM σταθερού σχήματος, ένα πειραματικό σπίτι εξοπλίστηκε με αυτό το σύστημα και τις πλάκες PCM σταθερού σχήματος στο πανεπιστήμιο της Tsinghua στο Πεκίνο.

Οι διαστάσεις του πειραματικού σπιτιού ήταν 3m(μήκος) x 2m (πλάτος) x 2m (ύψος). Διέθετε ένα 1,6m x 1,5m παράθυρο νοτίου προσανατολισμού με διπλό τζάμι καλυμμένο με μαύρη κουρτίνα. Η οροφή και οι τοίχοι ήταν κατασκευασμένοι από πολυεστερίνη πάχους 100mm καλυμμένη από μέταλλο. Το ενδοδαπέδιο σύστημα θέρμανσης περιελάμβανε μόνωση πολυεστερίνης πάχους 120mm, ηλεκτρικούς θερμαντήρες, PCM πάχους 15mm, μερικά ξύλινα στηρίγματα, στρώμα αέρα πάχους 10mm και δάπεδο πάχους 8mm. Στο σχήμα 7.4 αναπαριστάται η κατασκευή του συστήματος θέρμανσης.



Εικόνα 9.11.3.1 Απεικόνιση του ενδοδαπέδιου ηλεκτρικού συστήματος θέρμανσης με πλάκες PCM σταθερού σχήματος.[42]

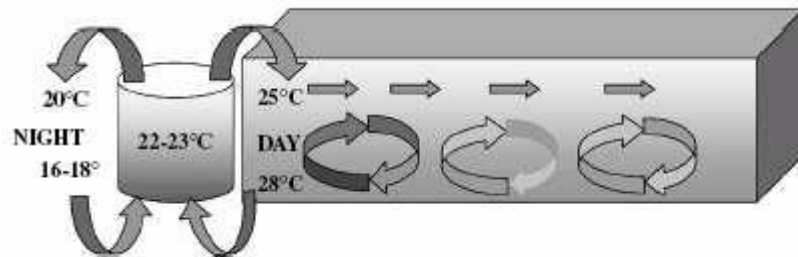
Από το πείραμα εξάχθηκαν τα εξής συμπεράσματα:

- Το σύστημα αύξησε την εσωτερική θερμοκρασία χωρίς ταυτόχρονη αύξηση της θερμοκρασιακής διαφοράς .
- Η θερμοκρασία του PCM διατηρήθηκε στην θερμοκρασία αλλαγής φάσης για ένα μεγάλο χρονικό διάστημα μετά το τέλος της λειτουργίας των θερμαντήρων. Πάνω από τη μισή ηλεκτρική θερμική ενέργεια μεταφέρθηκε από την περίοδο της μέγιστης ζήτησης σε περίοδο μικρότερης ζήτησης κάτι το οποίο παρέχει σημαντικό οικονομικό όφελος λόγω του διαφορετικού κόστους του ηλεκτρικού ρεύματος μεταξύ μέρας και νύχτας.
- Η μικρή διαφορά στην εσωτερική θερμοκρασία κατά μήκος της κατακόρυφης διεύθυνσης εμφανίστηκε λόγω του γεγονότος ότι η ενδοδαπέδια θέρμανση μπορούσε να ζεστάνει τον εσωτερικό αέρα ομοιόμορφα. Οπότε το σύστημα θέρμανσης αποδείχθηκε άνετο και ενεργειακά αποδοτικό. Οι δυνατότητες της χρήσης PCM σε ενδοδαπέδια θέρμανση μελετήθηκαν στις αναφορές. Τα αποτελέσματα της προσομοίωσης από την αναφορά έδειξαν ότι ένα στρώμα PCM με πάχος 30mm τοποθετημένο ανάμεσα στον θερμαντήρα και στα πλακάκια του δαπέδου με σημείο τήξης κοντά στους 40 οC είναι ικανό να παρέχει την αναγκαία θερμότητα κατά τη διάρκεια της μέρας, όταν ο θερμαντήρας χρησιμοποιείται μόνο οκτώ ώρες κατά τη διάρκεια της νύχτας , και επιτρέπει μια μεταφορά θερμότητας της τάξεως των 7,2 MJ/m² ανά ημέρα ηλεκτρικής ενέργειας από τις περιόδους αυξημένης ζήτησης στις περιόδους περιορισμένης ζήτησης. Στην αναφορά [38] δυο πλάκες σκυροδέματος με διαστάσεις 0,5m x 0,5m x 0,5m κατασκευάστηκαν για να προσομοιώσουν τα συστήματα ενδοδαπέδιας θέρμανσης με και χωρίς PCMs. Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι σύστημα με μέσο αποθήκευσης θερμότητας το CaCl₂ 6H₂O είναι ικανό να εξασφαλίσει ομοιόμορφη θέρμανση κατά τη διάρκεια της μέρας και να κρατήσει την επιφάνεια του δαπέδου κοντά στην επιθυμητή θερμοκρασία των 24 °C .

9.11.4 Free Cooling [94,101,102]

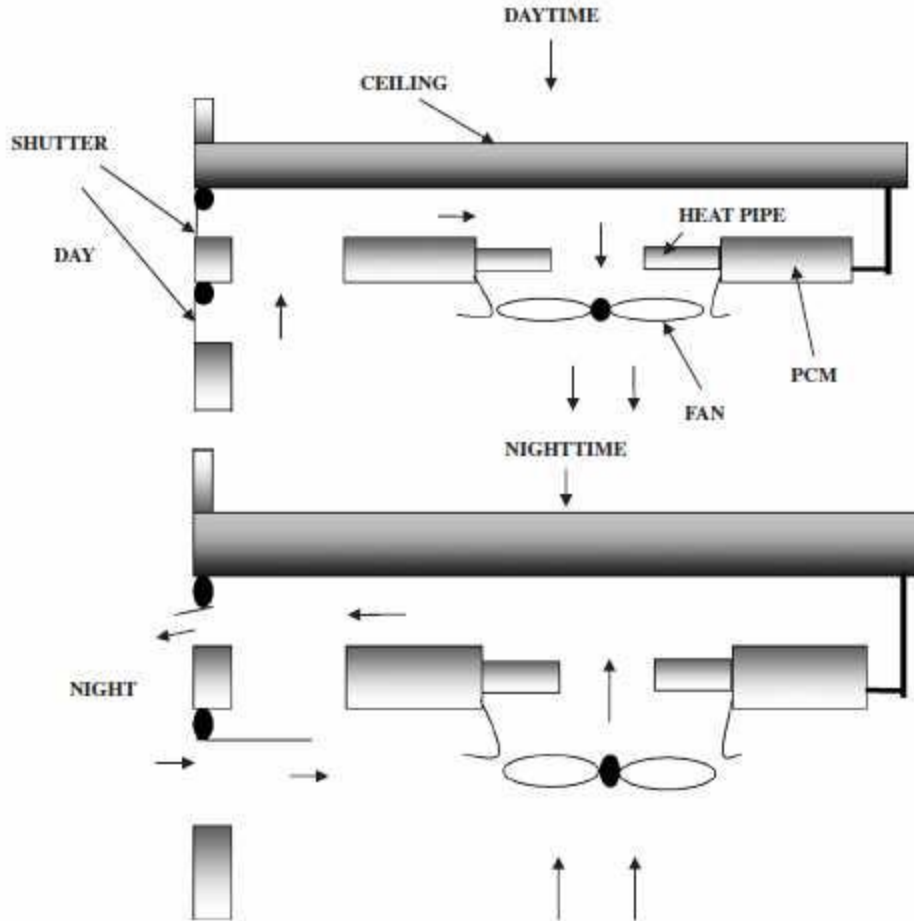
Μια μορφή κλιματισμού γνωστή με το όνομα “free cooling ” μελετήθηκε στο πανεπιστήμιο της Σαραγόσα από τον Zalba . Στόχος της μελέτης ήταν να σχεδιαστεί και να κατασκευαστεί μια πειραματική εγκατάσταση για τη μελέτη των PCMs με

θερμοκρασία τήξης μεταξύ των 20 °C και 25 °C, όπως φαίνεται και στο σχήμα που ακολουθεί. Αυτό το θερμοκρασιακό εύρος φαίνεται να είναι το πιο κατάλληλο για το free cooling καθώς η θερμοκρασία του περιβάλλοντος την νύχτα συνήθως πέφτει κάτω από τους 20 -25 °C και επομένως είναι αρκετά χαμηλές ώστε να ψύχουν τον αέρα στα κτίρια. Η εγκατάσταση του free cooling απαιτεί κλίματα, όπου η διαφορά θερμοκρασίας μεταξύ ημέρας και νύχτας τους καλοκαιρινούς μήνες είναι μεγαλύτερη των 15 °C , ώστε να μπορεί να αποθηκεύει κρύο κατά τη διάρκεια της νύχτας και να το αποδίδει την ημέρα.



Εικόνα 9.11.4.1 Η ιδέα του free cooling .

Στο πανεπιστήμιο του Νότιγχαμ έγινε μια προσέγγιση κατά την οποία το πλήρες σύστημα κλιματισμού αντικαταστάθηκε από το καινούριο σύστημα το οποίο είναι ένα σύστημα βραδινής ψύξης που είναι επίσης εύκολο να προσαρμοστεί. Το προτεινόμενο μοντέλο παρουσιάζεται στο σχήμα 8.4.2 . Είναι τοποθετημένο στην οροφή και υπάρχει και ένας ανεμιστήρας που ρίχνει αέρα γύρω από τα εκτεθειμένα άκρα των σωλήνων θερμότητας. Το άλλο άκρο των σωλήνων θερμότητας βρίσκεται μέσα σε ένα χώρο αποθήκευσης με PCM. Κατά τη διάρκεια της μέρας , ο ζεστός αέρας που εισέρχεται στο κτίριο ψύχεται από το PCM και θερμότητα αποθηκεύεται στο PCM. Κατά τη διάρκεια της νύχτας η λειτουργία του ανεμιστήρα αντιστρέφεται και τα στόρια είναι ανοιχτά έτσι ώστε ο κρύος αέρας από τον εξωτερικό χώρο να περνάει διαμέσου των σωλήνων και να αφαιρεί την θερμότητα απο τα PCMs. Ο κύκλος επαναλαμβάνεται την επόμενη μέρα. Οι θερμοκρασίες τήξης και πήξης είναι περίπου 22 °C και 20 °C αντίστοιχα . Η πλήρης τήξη συμβαίνει όταν η θερμοκρασιακή διαφορά μεταξύ PCM και αέρα είναι 2°C για μια χρονική περίοδο 8 ωρών και για θερμοκρασιακή διαφορά μεταξύ PCM και αέρα 3,5 °C για μια χρονική περίοδο 3 ωρών. Τα μεταφερόμενα ποσά θερμότητας είναι 80 και 200 W/ μονάδα αντίστοιχα.

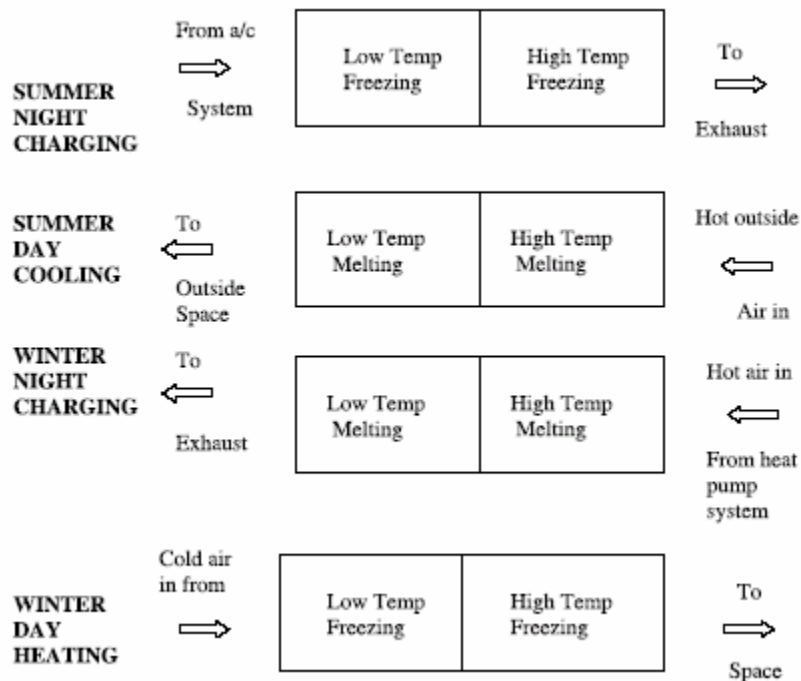


Εικόνα 9.11.4.2 Το προτεινόμενο μοντέλο του πανεπιστημίου του Νότιγχαμ .

9.11.5 PCM σε συνδυασμένο σύστημα θέρμανσης-ψύξης [94,103]

Το κέντρο βιώσιμης ενέργειας στη UniSA, άρχισε να ασχολείται με τα PCMs στα μέσα της δεκαετίας του 1990, με την ανάπτυξη μίας μονάδας αποθήκευσης, η οποία θα μπορούσε να χρησιμοποιηθεί και για θέρμανση και για ψύξη του χώρου. Η φόρτιση της μονάδας αποθήκευσης κατά τη διάρκεια της νύχτας και η χρήση της ενέργειας την ημέρα, κατά την διάρκεια είτε θερμότερων είτε ψυχρότερων εποχών, γίνεται μέσω ενός συστήματος αποθήκευσης ενέργειας που αποτελείται από δύο διαφορετικά PCMs τα οποία είναι ενσωματωμένα σε ένα σύστημα αντιστρεπτού κύκλου. Το σύστημα αυτό χρησιμοποιεί ηλεκτρική ενέργεια που δεν παράγεται τις ώρες αιχμής. Καθώς ο αέρας ωθείται στο σύστημα, υπόκειται σε μία διαδικασία θέρμανσης ή ψύξης δύο βημάτων. Πρώτα περνάει από το ένα PCM και μετά από το δεύτερο, όπως φαίνεται και στην

παρακάτω εικόνα. Το σημείο τήξης-στερεοποίησης του πρώτου υλικού είναι κάτω από την θερμοκρασία που δημιουργεί την αίσθηση της άνεσης, ενώ το δεύτερο έχει σημείο τήξης- στερεοποίησης πάνω από αυτή την θερμοκρασία.



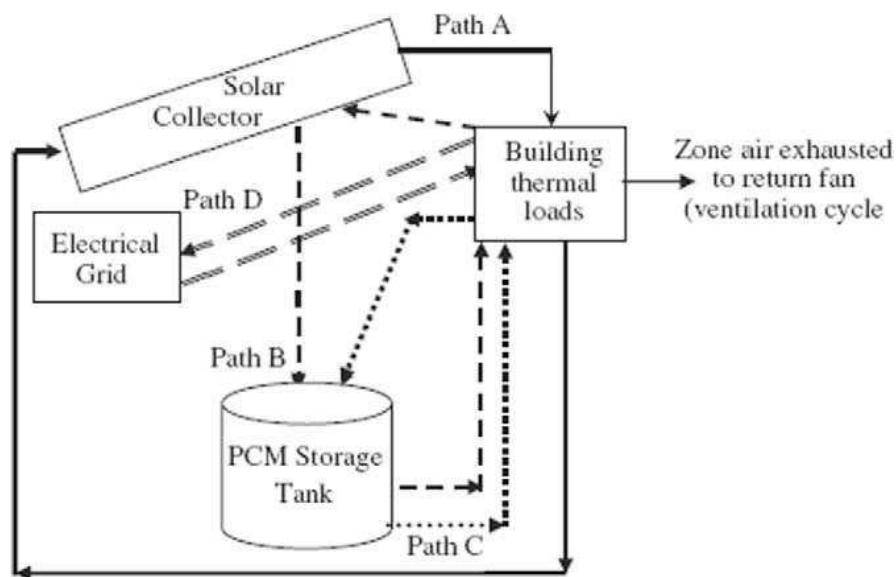
Εικόνα 9.11.5.1 Φόρτιση κατά της διάρκεια της νύχτας και χρήση κατά τη διάρκεια της μέρας.

Κατά την διάρκεια του χειμώνα , η ροή του αέρα καθορίζεται έτσι ώστε το σύστημα να αποθηκεύει θερμότητα τη νύχτα (με την τήξη και των δύο υλικών) και να αποδίδει την θερμότητα σε μία θερμοκρασία πάνω από τις συνθήκες άνεσης κατά τη διάρκεια της ημέρας. Το καλοκαίρι, η κατεύθυνση της ροής του αέρα αντιστρέφεται και το σύστημα αποθηκεύει ψυχρή ενέργεια τη νύχτα και αποδίδει τον ψυχρό αέρα κάτω από την θερμοκρασία άνεσης την ημέρα. Το ποσοστό της μείωσης για την απαιτούμενη ικανότητα του κλιματιστικού και οι ποσότητες των θερμών και ψυχρών φορτίων που μεταφέρονται στις περιόδους χαμηλής ζήτησης, αναφέρθηκαν από αυτούς χρησιμοποιώντας ένα υπολογιστικό μοντέλο για το σύστημα αποθήκευσης.Μάλιστα το τελευταίο έχει την δυνατότητα να υπολογίζει και το ετήσιο κέρδος από την εξοικονόμηση ενέργειας. Χρησιμοποιώντας ένα σύστημα αποθήκευσης θερμότητας που περιέχει δύο διαφορετικά PCMs μπορεί να μειώσει την απαιτούμενη ικανότητα και το αρχικό κόστος

του κλιματιστικού για μία κατοικία. Μπορεί επιπλέον να μετατοπίσει μία ποσότητα από τα φορτία θέρμανσης και ψύξης στις ώρες που δεν είναι αιχμής, οπότε και η τιμή του ρεύματος είναι χαμηλότερη. Οι υπολογισμοί για ένα τυπικό σπίτι στην Αδελαΐδα έδειξαν ότι το σύστημα αποθήκευσης θερμότητας αποτελούμενο από 100 kg PCM θερμοκρασίας 29 οC και από 80 kg PCM θερμοκρασίας 18οC μείωσαν το ονομαστικό ποσοστό του φορτίου που απαιτείται στο 50% του συνολικού φορτίου. Επιπλέον, το ετήσιο ηλεκτρικό κόστος μειώθηκε κατά 32% εξ αιτίας της μετατόπισης του φορτίου σε ώρες χαμηλής ζήτησης.

9.11.6 Διάφορα ενεργητικά συστήματα σε κτίρια [95,104,105,106]

Οι Hassan και Baliveau μελέτησαν τη χρήση ενός συλλέκτη σε σχήμα επίπεδου πιάτου και μιας δεξαμενής αποθήκευσης με PCMs για να προσφέρει ενέργεια σε κατοικημένες περιοχές. Το σύστημα λειτουργούσε ελέγχοντας το σωλήνα κυκλοφορίας και τη διαδρομή του υγρού. Η διαδρομή του υγρού είχε τη δυνατότητα να αλλάζει βασιζόμενη σε αλλαγές στο σύστημα ή στο επίπεδο της ηλιακής ακτινοβολίας και της εξωτερικής θερμοκρασίας. Στο σχήμα 8.6.1 παρουσιάζονται οι εναλλακτικές διαδρομές παροχής ενέργειας. Τα αποτελέσματα της προσομοίωσης που έγινε σε ένα κτίριο στο Blacksburg έδειξε ότι το προτεινόμενο σύστημα μπορεί να καλύψει ως και το 88% της ζήτησης για θέρμανση χώρων και ζεστού νερού και εξοικονομώντας περίπου 61,5% του ετήσιου λογαριασμού της θέρμανσης .



Εικόνα 9.11.6.1 Εναλλακτικές διαδρομές παροχής ενέργειας [104]

ενέργειας με χρήση MPCM και ασβεστόγαλα επιτρέπει στην ψύξη, που γίνεται μέσω της εξάτμισης, να αποθηκεύεται στο μίγμα κατά τη διάρκεια του 24ώρου οπότε η θερμοκρασία υγρού βολβού να φτάνει σε κάποιο προκαθορισμένο επιθυμητό σημείο. Τα αποτελέσματα που ξάχθηκαν από την προσομοίωση έδειξαν ότι το σύστημα μπορεί να εξοικονομήσει ενέργεια της τάξης του 80% στην βορειοδυτική Κίνα και του 10% στην νοτιοανατολική Κίνα .

Β' ΜΕΡΟΣ: ΘΕΩΡΗΤΙΚΗ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗ

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 10: Θερμική συμπεριφορά τοίχου αναφοράς στην περιοχή της Αθήνας

10.1 Υπολογισμός προσπίπτουσας στιγμιαίας ηλιακής ακτινοβολίας κεκλιμένου επιπέδου, G_T

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

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

όπου

- G_b είναι η άμεση στιγμιαία ακτινοβολία οριζοντίου επιπέδου
- G_d είναι η διάχυτη στιγμιαία ακτινοβολία οριζοντίου επιπέδου
- R_b είναι ο λόγος της άμεσου ακτινοβολίας κεκλιμένου επιπέδου προς την άμεσο οριζοντίου επιπέδου
- ρ είναι η ανακλαστικότητα του 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 0,2.
- β είναι η κλίση του επιπέδου, είναι δηλαδή η γωνία που σχηματίζει μια επίπεδη επιφάνεια με το οριζόντιο επίπεδο. Επομένως, εφόσον σκοπός μας είναι ο υπολογισμός της προσπίπτουσας στιγμιαίας ολικής ακτινοβολίας των υαλοπινάκων, καθώς αυτοί είναι κάθετοι στην οριζόντιο επίπεδο, η γωνία β ισούται με 90° .
- $\left(\frac{1 + \cos \beta}{2} \right)$ και $\left(\frac{1 - \cos \beta}{2} \right)$ είναι οι παράγοντες όρασης ουρανού και εδάφους αντιστοίχως του κεκλιμένου επιπέδου.

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

Gd, για κάθε ώρα της μέρας που υπάρχει ηλιοφάνεια, χρησιμοποιούνται οι ακόλουθες σχέσεις :

$$\bullet \quad G_b = M_t + A_t \sin \left(\frac{360}{365} D - Pt \right) \quad [\text{KW/m}^2] \quad (10.1.2)$$

$$\bullet \quad G_d = m_t + a_t \sin \left(\frac{360}{365} D - Pt \right) \quad [\text{KW/m}^2] \quad (10.1.3)$$

όπου

- Mt, At, Pt, mt , at και pt είναι οι συντελεστές δίνονται για κάθε ώρα t στον πίνακα που ακολουθεί,
- D είναι ο αριθμός της ημέρας του έτους (1÷365).

Θεωρήσαμε ότι τις πολύ πρωινές ώρες (πριν τις 07:00) και τις βραδινές ώρες (μετά τις 18:00) η ηλιοφάνεια ήταν μηδενική.

Πίνακας 10.1.1.1: Τιμές των συντελεστών των εξισώσεων (10.1.2) και (10.1.3).

t [hrs]	Gb			Gd		
	Mt[kW/m ²]	At[kW/m ²]	Pt[°]	Mt[kW/m ²]	at[kW/m ²]	Pt[°]
07.00	0,007	0,046	86,18	0,048	0,111	81,23
08.00	0,057	0,068	87,31	0,134	0,127	82,45
09.00	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

Με εφαρμογή των δύο παραπάνω εξισώσεων (Εξ. 10.1.2 και 10.1.3) και με τις τιμές του Πίνακα 10.1.1.1 προκύπτουν οι τιμές στιγμιαίας άμεσου και διάχυτης ακτινοβολίας για την 21η Νοεμβρίου, Δεκεμβρίου, Ιανουαρίου, Φεβρουαρίου και Μαρτίου που

αποτυπώνονται στους παρακάτω πίνακες (Πίνακες 10.1.1.2 - 10.1.1.6) αλλά και στη συνέχεια μέσω διαγραμμάτων.

Τόσο η άμεση στιγμιαία, G_b , όσο και η διάχυτη στιγμιαία, G_d , ακτινοβολία οριζόντιου επιπέδου υπολογίστηκαν αρχικά σε μονάδες KW/m^2 και στη συνέχεια έγινε η μετατροπή τους σε μονάδες W/m^2 , για την ευκολότερη παρατήρηση και σύγκριση των τιμών τους.

Πίνακας 10.1.1.2: Τιμές G_b , G_d για κάθε ώρα της 21ης Νοεμβρίου με $D=325$ και $\delta=-20,44$.

t [hrs]	G_b	G_d
7	0	0
8	2,52	26,18
9	36,37	96,96
10	89,02	155,40
11	138,76	187,75
12	181,51	190,58
13	193,98	173,86
14	178,20	143,44
15	134,15	108,37
16	57,73	77,11
17	0	43,91
18	0	0

Πίνακας 10.1.1.3: Τιμές G_b , G_d για κάθε ώρα της 21ης Δεκεμβρίου με $D=355$ και $\delta=-23,45$.

t [hrs]	G_b	G_d
7	0	0
8	0	7,10
9	15,96	75,29
10	63,31	132,59
11	106,97	166,62
12	141,32	176,10
13	151,36	162,04
14	143,39	127,64
15	103,93	90,17
16	36,09	57,76
17	0	26,42
18	0	0

Πίνακας 10.1.1.4: Τιμές Gb ,Gd για κάθε ώρα της 21ης Ιανουαρίου με D=21 και δ=-20,14.

t [hrs]	Gb(W/m2)	Gd
7	0	0
8	0	22,14
9	23,11	89,26
10	71,74	144,19
11	115,51	176,67
12	148,48	187,12
13	159,58	171,99
14	157,18	133,87
15	117,94	94,88
16	53,95	60,58
17	0	29,62
18	0	0

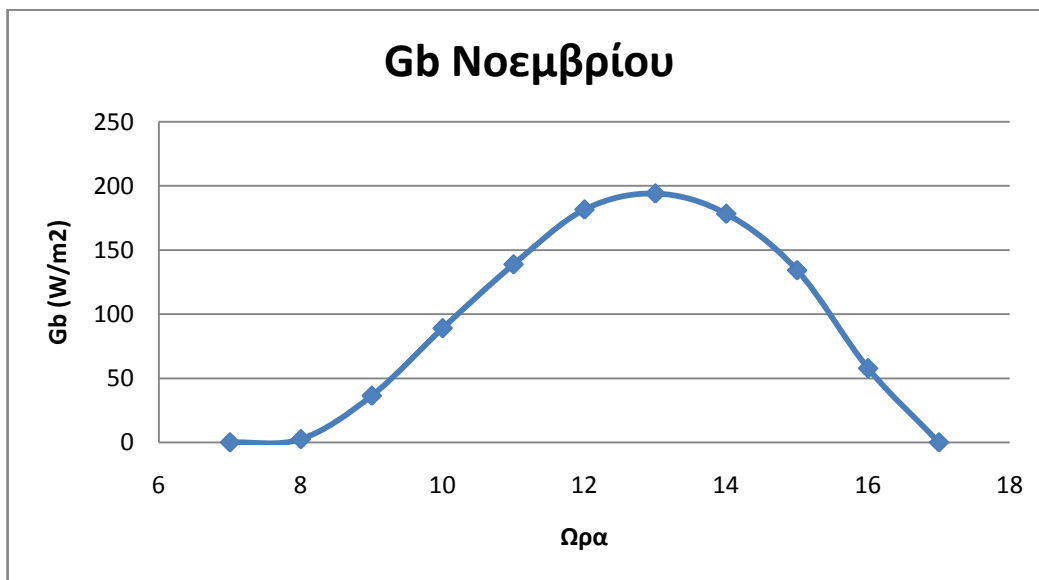
Πίνακας 10.1.1.5: Τιμές Gb ,Gd για κάθε ώρα της 21ης Φεβρουαρίου με D=52 και δ=-11,23.

t [hrs]	Gb	Gd
7	0	0
8	17,01	68,28
9	56,92	136,24
10	113,33	188,28
11	163,67	216,29
12	203,06	221,47
13	218,52	201,69
14	217,64	161,28
15	173,95	122,15
16	107,70	85,77
17	15,37	53,49
18	0	0

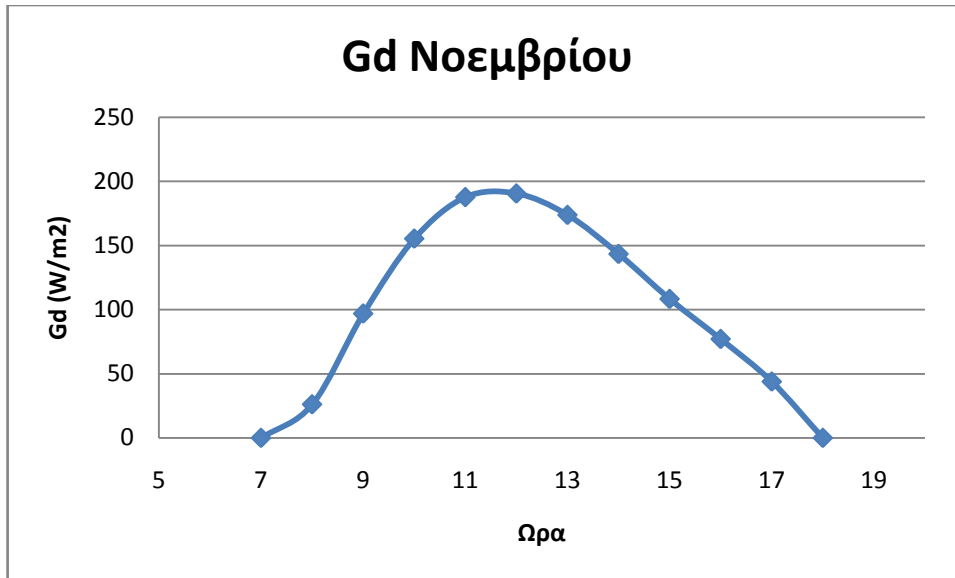
Πίνακας 10.1.1.6: Τιμές G_b , G_d για κάθε ώρα της 21ης Μαρτίου με $D=80$ και $\delta=-0,4$.

t [hrs]	G_b	G_d
6	0	0
7	1,17	43,50
8	47,06	126,15
9	102,67	196,33
10	169,92	245,96
11	230,26	268,45
12	280,70	264,69
13	301,94	238,70
14	298,56	197,98
15	247,86	159,96
16	174,80	122,02
17	75,84	87,41
18	0	38,51
19	0	0

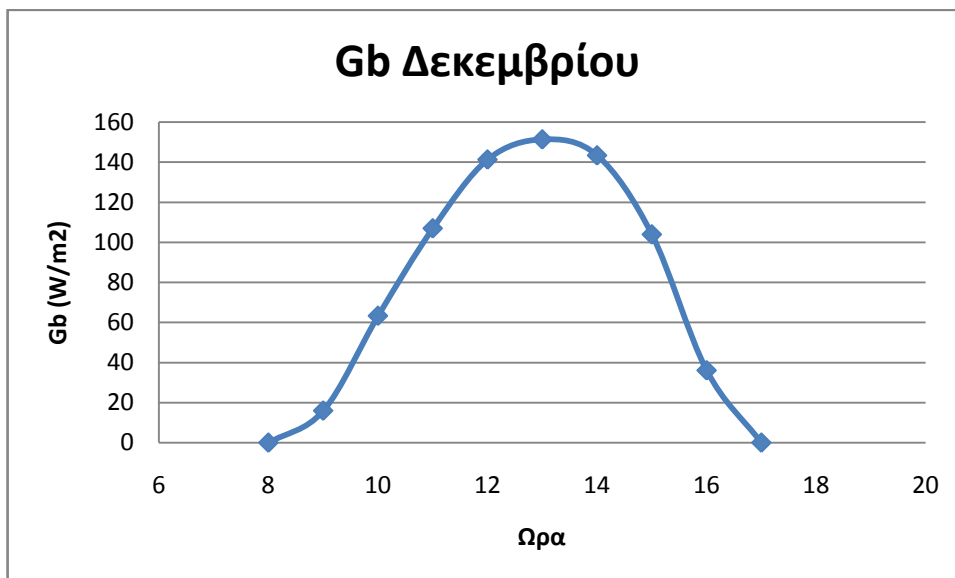
Τα αντίστοιχα διαγράμματα για τους μήνες είναι:



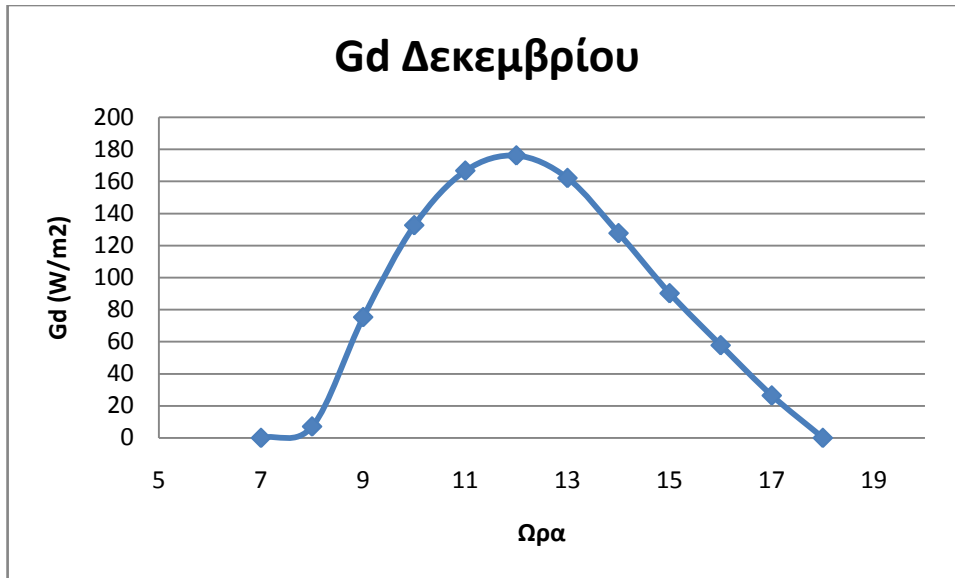
Διάγραμμα 10.1.1.1: Διακύμανση της στιγμιαίας αμέσου ακτινοβολίας οριζοντίου επιπέδου G_b , ανά ώρα για την 21η Νοεμβρίου.



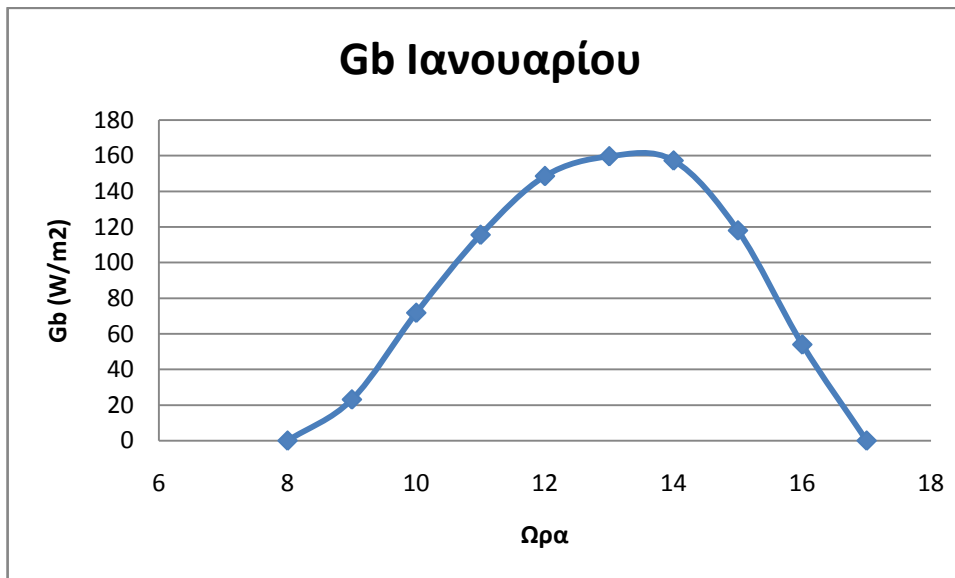
Διάγραμμα 10.1.1.2: Διακύμανση της στιγμιαίας διάχυτης ακτινοβολίας οριζοντίου επιπέδου Gd, ανά ώρα για την 21η Νοεμβρίου.



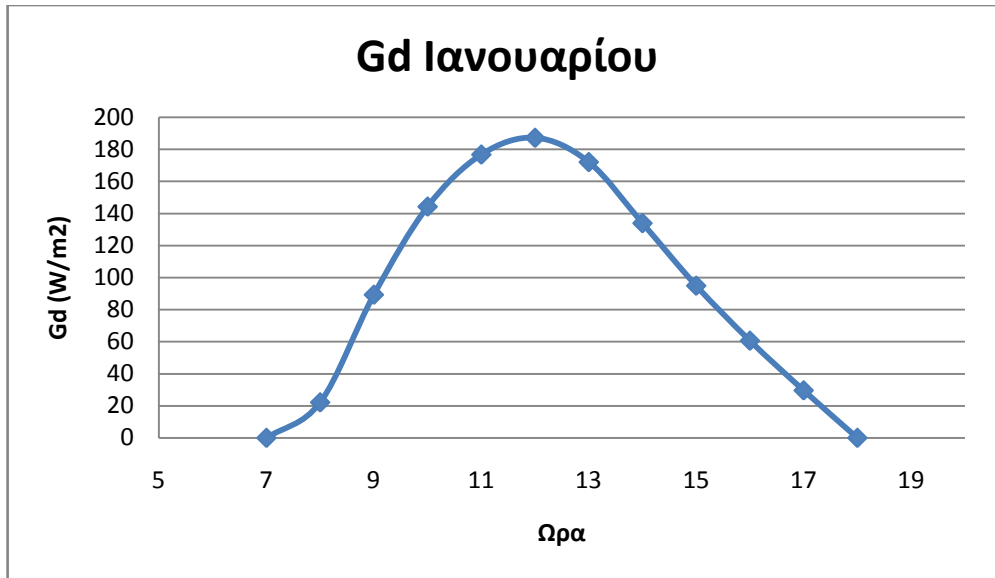
Διάγραμμα 10.1.1.3: Διακύμανση της στιγμιαίας αμέσου ακτινοβολίας οριζοντίου επιπέδου Gb, ανά ώρα για την 21η Δεκεμβρίου.



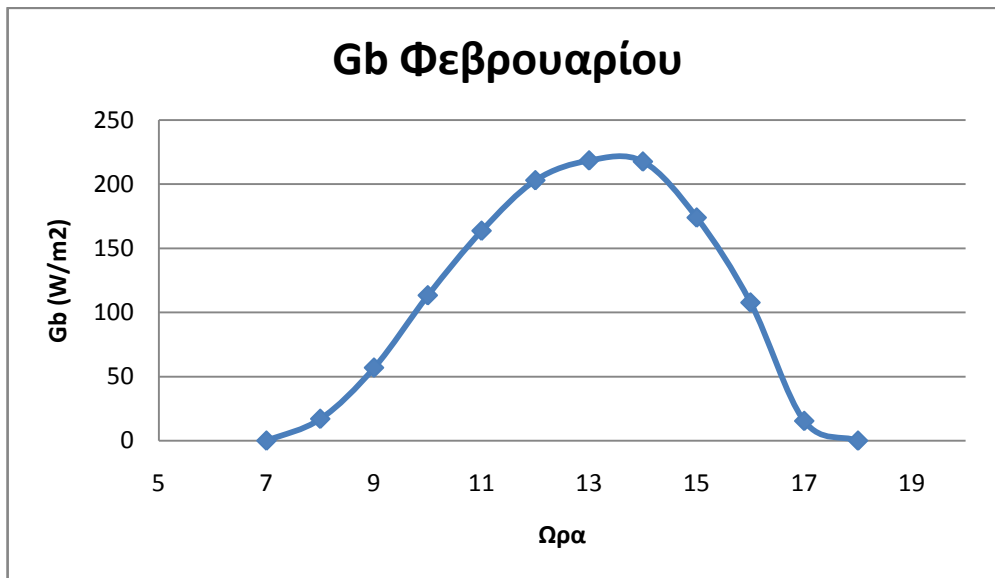
Διάγραμμα 10.1.1.4: Διακύμανση της στιγμιαίας διάχυτης ακτινοβολίας οριζοντίου επιπέδου Gd, ανά ώρα για την 21η Δεκεμβρίου.



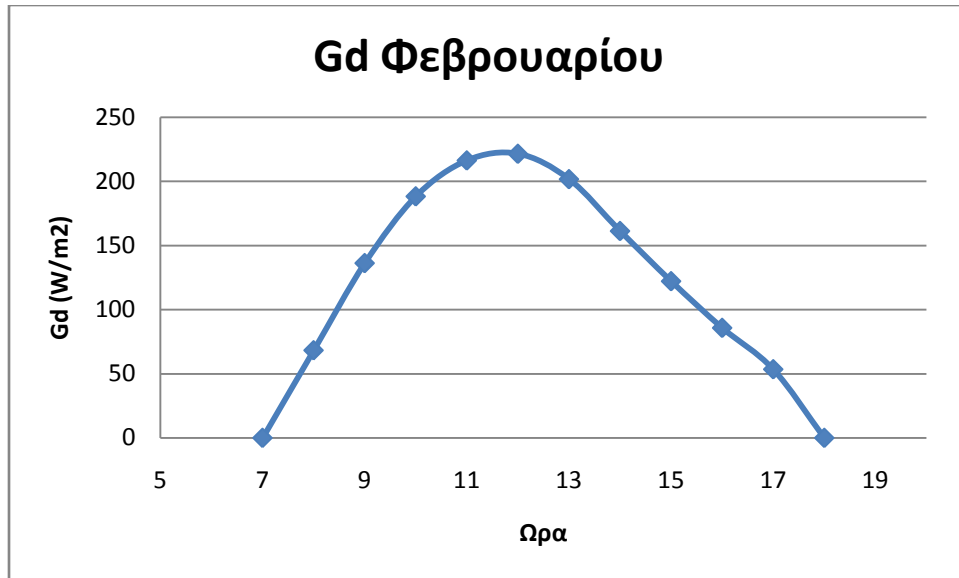
Διάγραμμα 10.1.1.5: Διακύμανση της στιγμιαίας αμέσου ακτινοβολίας οριζοντίου επιπέδου Gb, ανά ώρα για την 21η Ιανουαρίου.



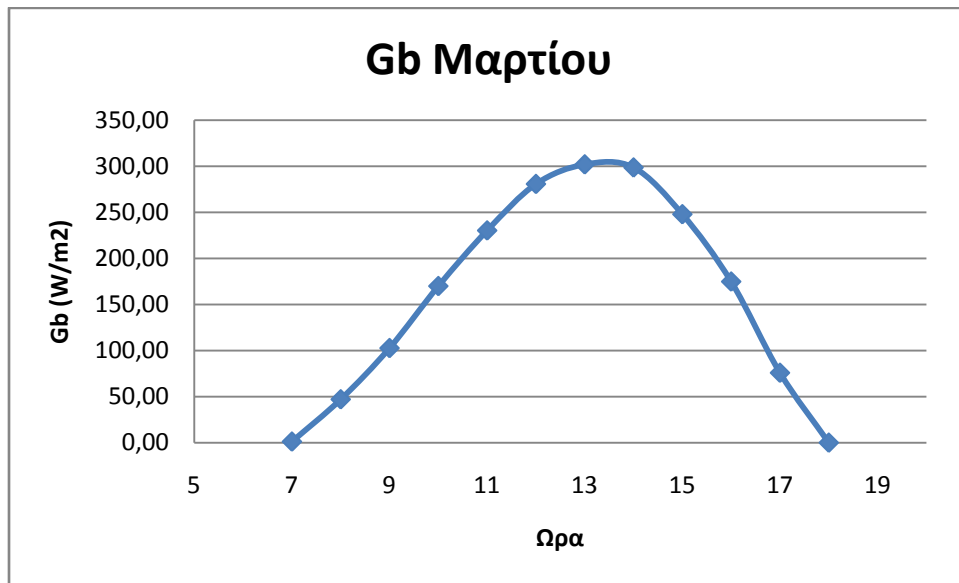
Διάγραμμα 10.1.1.6: Διακύμανση της στιγμιαίας διάχυτης ακτινοβολίας οριζοντίου επιπέδου Gd, ανά ώρα για την 21η Ιανουαρίου.



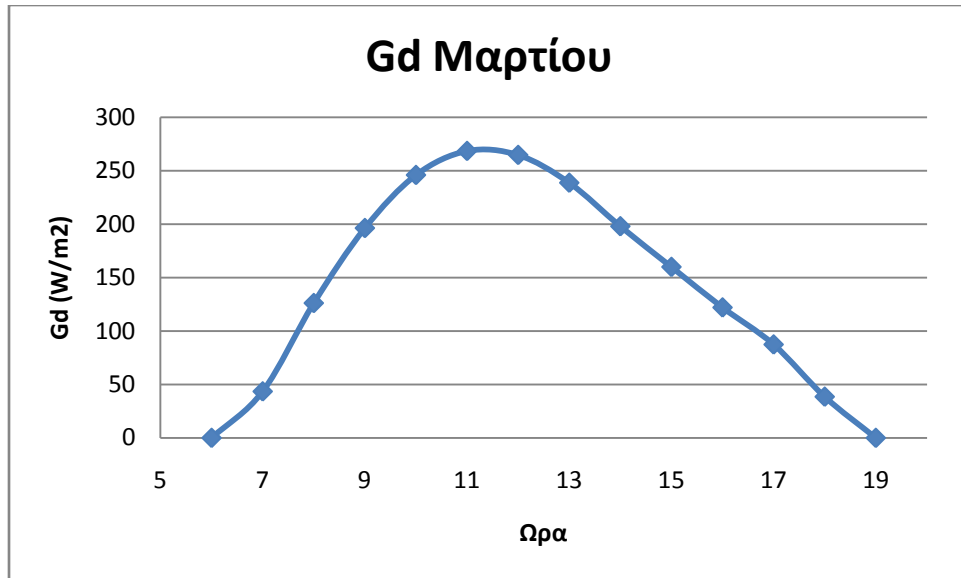
Διάγραμμα 10.1.1.7: Διακύμανση της στιγμιαίας αμέσου ακτινοβολίας οριζοντίου επιπέδου Gb, ανά ώρα για την 21η Φεβρουαρίου.



Διάγραμμα 10.1.1.8: Διακύμανση της στιγμιαίας διάχυτης ακτινοβολίας οριζοντίου επιπέδου Gd, ανά ώρα για την 21η Φεβρουαρίου.



Διάγραμμα 10.1.1.9: Διακύμανση της στιγμιαίας άμεσου ακτινοβολίας οριζοντίου επιπέδου Gb, ανά ώρα για την 21η Μαρτίου.



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

Παρατηρούμε 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.

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 τις ίδιες ώρες με πριν και για νότιο προσανατολισμό ($\gamma=0^\circ$), η σχέση που χρησιμοποιείται είναι η εξής :

$$\bullet \quad R_b = \frac{\sin \delta \sin (\varphi - \beta) + \cos \delta \cos (\varphi - \beta) \cos \omega}{\sin \delta \sin \varphi + \cos \delta \cos \varphi \cos \omega} \quad (10.1.4)$$

Όπου,

- δ : η ηλιακή απόκλιση που υπολογίζεται από τη σχέση, $\delta = 23,45 \sin \left(\frac{360 (284+n)}{365} \right)$, στην οποία n είναι ο αύξων αριθμός της μέρας που μελετάμε,
- $\varphi = 38^\circ$: το γεωγραφικό πλάτος της Αθήνας
- $\beta = 90^\circ$ η κλίση της επιφάνειας, διότι στη περίπτωση μας μελετάμε κατακόρυφο τοίχο,
- ω : η ωριαία γωνία η οποία δίνεται από τη σχέση $\omega = 0.25 \omega_s$ (min from solar noon) και ισχύει $\omega > 0$ για μ.μ και $\omega < 0$ για π.μ.

Σύμφωνα με τα παραπάνω, προκύπτουν οι ακόλουθοι πίνακες με τις τιμές του συντελεστή R_b , για το νότιο προσανατολισμο και για κάθε ένα από τους μήνες που μελετάμε.

Πίνακας 10.1.2.1: Τιμές του λόγου R_b κατά την 21η Νοεμβρίου

t [hrs]	R_b
7	0
8	3,65
9	2,22
10	1,82
11	1,67
12	1,63
13	1,67
14	1,82
15	2,22
16	3,65
17	0,00
18	0

Πίνακας 10.1.2.2: Τιμές του λόγου Rb κατά την 21η Δεκεμβρίου.

t [hrs]	Rb
7	0
8	5,10
9	2,67
10	2,10
11	1,89
12	1,84
13	1,89
14	2,10
15	2,67
16	5,10
17	0
18	0

Πίνακας 10.1.2.3: Τιμές του λόγου Rb κατά την 21η Ιανουαρίου.

t [hrs]	Rb
7	0
8	3,54
9	2,18
10	1,80
11	1,65
12	1,61
13	1,65
14	1,80
15	2,18
16	3,54
17	0
18	0

Πίνακας 10.1.2.4: Τιμές του λόγου Rb κατά την 21η Φεβρουαρίου.

t [hrs]	Rb
7	3,85
8	1,71
9	1,36
10	1,23
11	1,17
12	1,16
13	1,17
14	1,23
15	1,36
16	1,71
17	3,85
18	0

Πίνακας 10.1.2.5: Τιμές του λόγου Rb κατά την 21η Μαρτίου.

t [hrs]	Rb
6	0
7	0,83
8	0,80
9	0,80
10	0,79
11	0,79
12	0,79
13	0,79
14	0,79
15	0,80
16	0,80
17	0,83
18	0

Έχοντας πλέον υπολογίσει όλες τις παραμέτρους της εξίσωσης 10.1.1 μπορούμε να υπολογίσουμε την τιμή της προσπίπτουσας στιγμιαίας ακτινοβολίας κατακόρυφου επιπέδου G_t για την 21η ημέρα του Νοεμβρίου, Δεκεμβρίου, Ιανουαρίου, Φεβρουαρίου και Μαρτίου, για τις ώρες 7:00 έως 18:00 και για νότιο προσανατολισμο. Τα αποτελέσματα προκύπτουν σε W/m^2 .

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

t [hrs]	$G_t(W/m^2)$
7	0
8	25,17
9	142,61
10	264,44
11	358,11
12	427,68
13	447,45
14	428,79
15	376,43
16	262,67
17	26,35
18	0

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

t [hrs]	$G_t(W/m^2)$
7	0
8	4,26
9	89,46
10	219,06
11	313,17
12	379,19
13	398,88
14	392,57
15	342,43
16	222,42
17	15,85
18	0

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

t [hrs]	Gt(W/m ²)
7	0
8	13,28
9	106,29
10	222,67
11	307,98
12	365,74
13	382,21
14	378,66
15	326,09
16	232,74
17	17,77
18	0

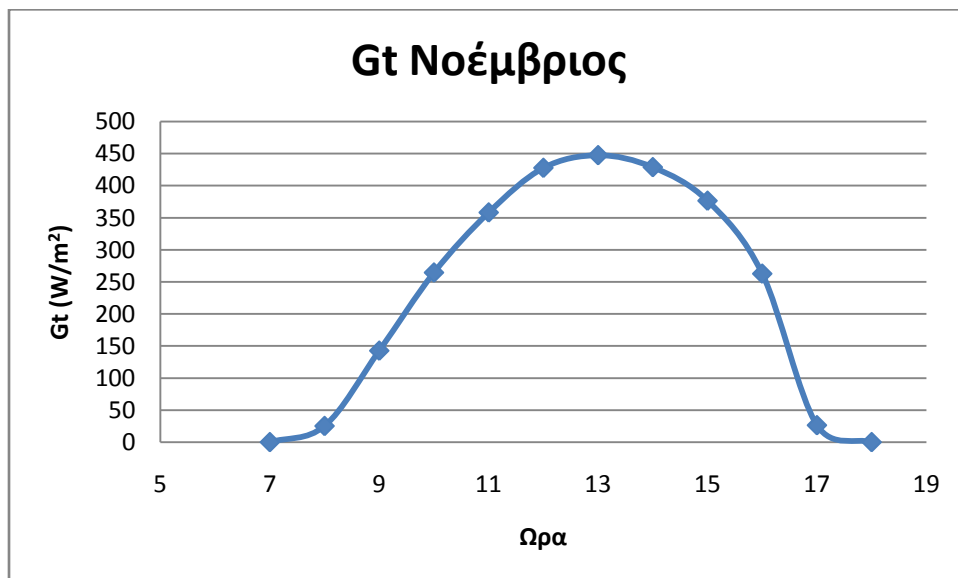
Πίνακας 10.1.2.9: Τιμές της στιγμιαίας ολικής ακτινοβολίας κατακόρυφου επιπέδου Gt για κάθε ώρα κατά την 21η Φεβρουαρίου.

t [hrs]	Gt(W/m ²)
7	0
8	71,69
9	164,77
10	263,64
11	338,33
12	388,41
13	399,46
14	386,13
15	327,04
16	245,96
17	92,85
18	0

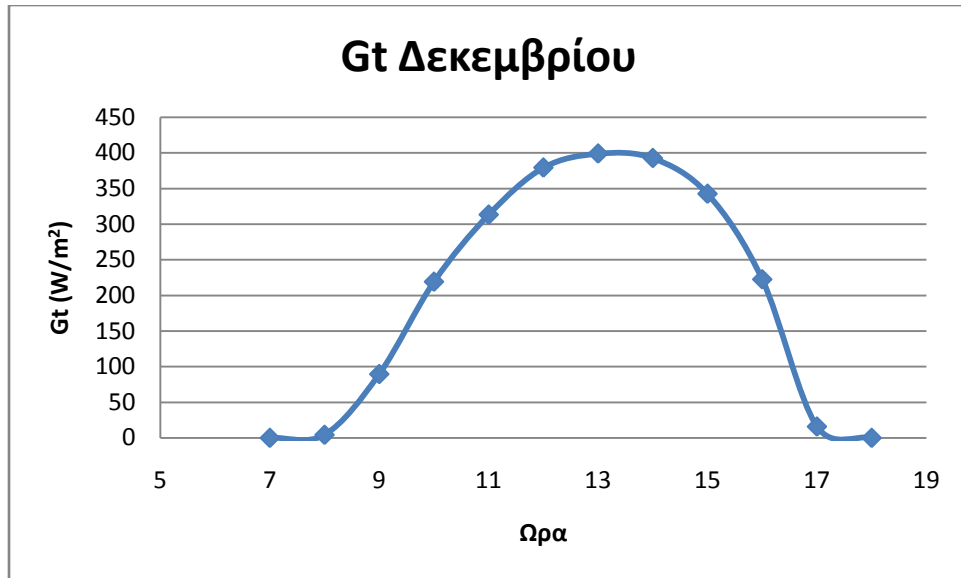
Πίνακας 10.1.2.10: Τιμές της στιγμιαίας ολικής ακτινοβολίας κατακόρυφου επιπέδου G_t για κάθε ώρα κατά την 21η Μαρτίου.

t [hrs]	$G_t(W/m^2)$
6	0
7	27,18
8	118,20
9	209,85
10	299,42
11	366,52
12	409,16
13	412,63
14	385,59
15	318,21
16	231,12
17	122,61
18	23,11
19	0

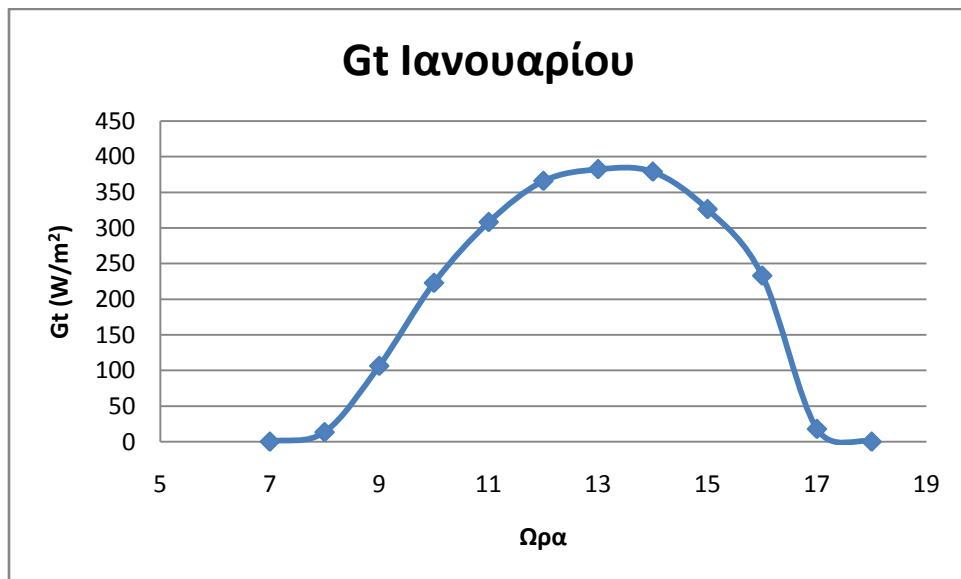
Τα αντίστοιχα διαγράμματα της στιγμιαίας ολικής ακτινοβολίας κατακόρυφου επιπέδου G_t για κάθε μήνα είναι:



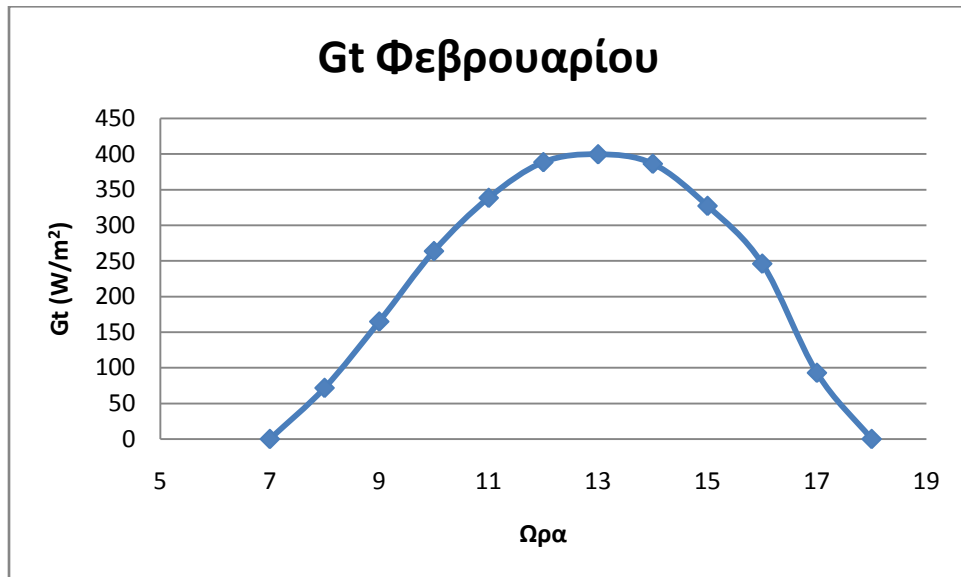
Διάγραμμα 10.1.2.1: Διακύμανση της στιγμιαίας ολικής ακτινοβολίας κατακόρυφου επιπέδου G_t ανά ώρα για την 21η Νοεμβρίου και για νότιο προσανατολισμό.



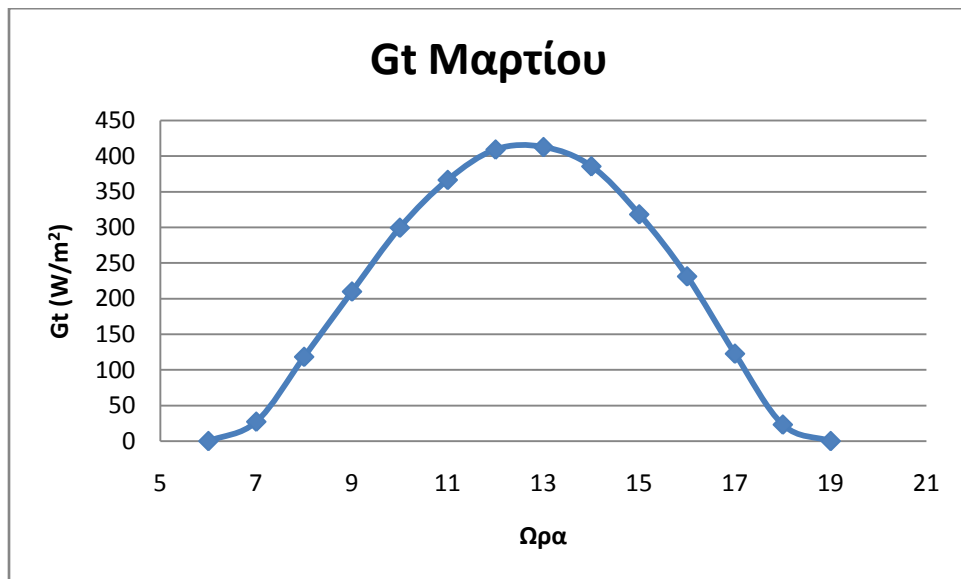
Διάγραμμα 10.1.2.2: Διακύμανση της στιγμιαίας ολικής ακτινοβολίας κατακόρυφου επιπέδου G_t ανά ώρα για την 21η Δεκεμβρίου και για νότιο προσανατολισμό.



Διάγραμμα 10.1.2.3: Διακύμανση της στιγμιαίας ολικής ακτινοβολίας κατακόρυφου επιπέδου G_t ανά ώρα για την 21η Ιανουαρίου και για νότιο προσανατολισμό.



Διάγραμμα 10.1.2.4: Διακύμανση της στιγμιαίας ολικής ακτινοβολίας κατακόρυφου επιπέδου Gt ανά ώρα για την 21η Φεβρουαρίου και για νότιο προσανατολισμό.

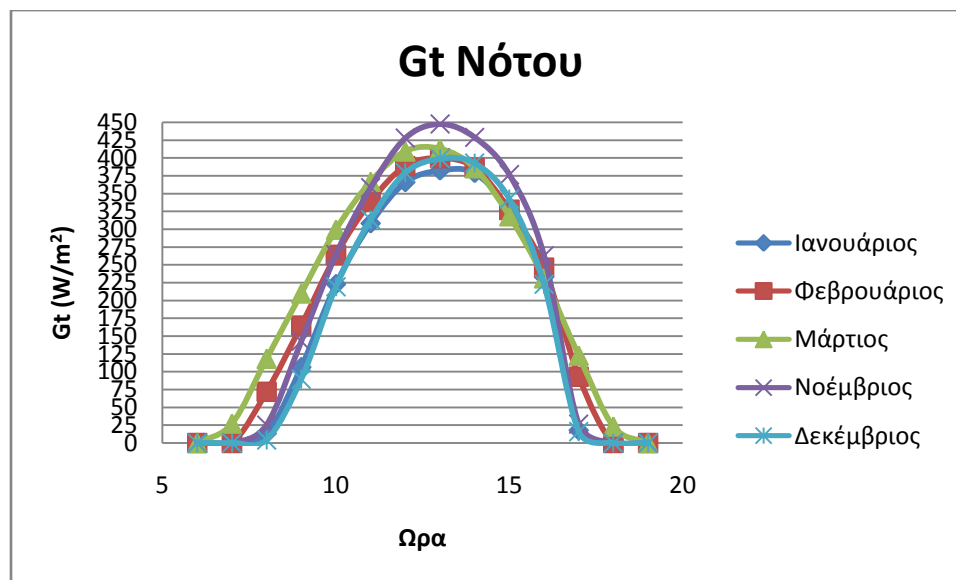


Διάγραμμα 10.1.2.5: Διακύμανση της στιγμιαίας ολικής ακτινοβολίας κατακόρυφου επιπέδου Gt ανά ώρα για την 21η Μαρτίου και για νότιο προσανατολισμό.

Συνοπτικά η στιγμιαία ολική ακτινοβολία κατακόρυφου επιπέδου G_t για όλους τους μήνες και για νότιο προσανατολισμό φαίνεται στον ακόλουθο πίνακα (10.1.2.11) όπως και στο διάγραμμα (10.1.2.6).

Πίνακας 10.1.2.11: Τιμές της στιγμιαίας ολικής ακτινοβολίας κατακόρυφου επιπέδου G_t για κάθε ώρα για όλους τους μήνες και για νότιο προσανατολισμό κατά την 21η Μαρτίου.

G_t					
t [hrs]	Ιανουάριος	Φεβρουάριος	Μάρτιος	Νοέμβριος	Δεκέμβριος
7	0	0	27,18	0	0
8	13,28	71,69	118,20	25,17	4,26
9	106,29	164,77	209,85	142,61	89,46
10	222,67	263,64	299,42	264,44	219,06
11	307,98	338,33	366,52	358,11	313,17
12	365,74	388,41	409,16	427,68	379,19
13	382,21	399,46	412,63	447,45	398,88
14	378,66	386,13	385,59	428,79	392,57
15	326,09	327,04	318,21	376,43	342,43
16	232,74	245,96	231,12	262,67	222,42
17	17,77	92,85	122,61	26,35	15,85
18	0,00	0,00	23,11	0,00	0,00



Διάγραμμα 10.1.2.6: Διακύμανση της στιγμιαίας ολικής ακτινοβολίας κατακόρυφου επιπέδου G_t ανά ώρα για όλους τους μήνες και για νότιο προσανατολισμό.

Παρατηρούμε ότι,

- Η στιγμιαία ολική ακτινοβολία κατακόρυφου επιπέδου G_t παρουσιάζει πτώση από τη μέγιστη τιμή της το Νοέμβριο όπως προχωράμε προς το Δεκέμβριο και τον Ιανουάριο αλλά όσο συνεχίζουμε προς το Φεβρουάριο και Μάρτιο αυξάνεται ξανά.

10.2 Υπολογισμός φορτίων

Αρχικά σκοπός αυτής της διπλωματικής ήταν η εύρεση των παραμέτρων που οδηγούν στην επίτευξη ψευδοαδιαβατικού τοίχου ενσωματωμένου μόνο με PCM. Γι' αυτό το λόγο και έχει γίνει εκτεταμένη ανάλυση των PCM στη θεωρητική ανασκόπηση. Όμως το στρώμα του PCM στον εξωτερικό τοίχο δεν απέδωσε αποτέλεσμα για επίτευξη ψευδοαδιαβατικού τοίχου, λόγω των μεγάλων ποσών θερμότητας που αποθηκεύει. Έτσι, αφαιρέσαμε αυτό το στρώμα και τοποθετήσαμε μόνωση στο τοίχο αναζητώντας τους συνδυασμούς των παραμέτρων του τοίχου και της μόνωσης (δηλαδή d_{ins} , k_{ins} , A_f , U_f) οι οποίοι καθιστούν το τοίχο μας ψευδοαδιαβατικό. Τα αποτελέσματα με ενσωματωμένο το PCM στον εξωτερικό τοίχο παρουσιάζονται στο τελευταίο κεφάλαιο καθαρά για βιβλιογραφικούς λόγους.

10.2.1 Περιγραφή τοίχου ανάλυσης

Στη συγκεκριμένη ενότητα εξετάζουμε για τους χειμερινούς μήνες (Ιανουάριο, Φεβρουάριο, Μάρτιο, Νοέμβριο, Δεκέμβριο) μεμονωμένα τον εξωτερικό τοίχο ενός δωματίου αναφοράς, ο οποίος περιλαμβάνει και υαλοπίνακα σε διάφορες τιμές επιφάνειας A_f . Θεωρούμε 1 εξωτερικό τοίχο τύπου G1 στην περιοχή της Αθήνας, νοτίου προσανατολισμού, με διαστάσεις μήκος x πλάτος = $(3m) \times (2,5m) = 7.5m^2$. Ο εξωτερικός τοίχος ξεκινώντας από την εξωτερική του πλευρά που βρίσκεται σε επαφή με τον εξωτερικό αέρα και προχωρώντας προς την εσωτερική αποτελείται από τα παρακάτω διαδοχικά στρώματα:

- Εξωτερικό επίχρισμα πάχους $w_1 = 0,02m$ και ειδικής θερμικής αγωγιμότητας $k_1 = 1,2 W/mK$.
- Δρομική οπτοπλινθοδομή πάχους $w_2 = 0,09m$ και ειδικής θερμικής αγωγιμότητας $k_2 = 0,72 W/mK$.
- Μόνωση πάχους $w_3 = 0,04m$ και ειδικής θερμικής αγωγιμότητας $k_3 = 0,051 W/mK$.

- Δρομική οπτοπλινθοδομή πάχους $w_4=0,09\text{m}$ και ειδικής θερμικής αγωγιμότητας $k_4=0,72 \text{ W/mK}$.
- Εσωτερικό επίχρισμα πάχους $w_5=0,02\text{m}$ και ειδικής θερμικής αγωγιμότητας $k_5=1,2 \text{ W/mK}$.
- Εξωτερικό συντελεστή συναγωγής $h_o=16 \text{ W/m}^2\text{K}$ και εσωτερικό $h_i=8 \text{ W/m}^2\text{K}$.

Η θερμοκρασία εσωτερικού περιβάλλοντος ισούται με 20°C . 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 :

$$\bullet \quad SHG = Gt * Af * 3600 \quad [\text{J/h}] \quad (10.2.1)$$

Όπου,

- $Af [m^2]$: η επιφάνεια των υαλοπινάκων σε m^2 ,
- $Gt [W/m^2]$: η προσπίπτουσα ηλιακή ακτινοβολία στους υαλοπίνακες όπως υπολογίστηκε στο προηγούμενο κεφάλαιο,
- 3600: υπολογίζεται το φορτίο για διάστημα μιας ώρας γι' αυτό και πολλαπλασιάζουμε με $60*60=3600\text{s}$.

Σύμφωνα με τους παραπάνω συντελεστές της Εξίσωσης (10.2.1) και για διάφορες επιφάνειες υαλοπινάκων Af , υπολογίζουμε παρακάτω το ηλιακό θερμικό κέρδος των υαλοπινάκων για νότιο προσανατολισμο στη διάρκεια του 24ωρου για την 21η ημέρα κάθε χειμερινού μήνα (Πίνακες 10.2.1 - 10.2.5). Για τα κλιματολογικά δεδομένα ελήφθησαν οι εξωτερικές τυπικές συνθήκες της Αθήνας και για λόγους καλύτερης εποπτείας μετατρέψαμε τα $[J/h]$ σε $[KJ/h]$.

Πίνακας 10.2.2.1: Τιμές του SHG για την 21η Ιανουαρίου για νότιο προσανατολισμό κάθε ώρα και για διάφορες τιμές του Af.

SHG ΙΑΝΟΥΑΡΙΟΥ						
		Af [m²]				
Time [h]	Gt [W/m²]	1	2	3	4	5
1	0	0	0	0	0	0
2	0	0	0	0	0	0
3	0	0	0	0	0	0
4	0	0	0	0	0	0
5	0	0	0	0	0	0
6	0	0	0	0	0	0
7	0	0	0	0	0	0
8	13,3	47,8	95,6	143,5	191,3	239,1
9	106,3	382,6	765,3	1147,9	1530,6	1913,2
10	222,7	801,6	1603,3	2404,9	3206,5	4008,1
11	308,0	1108,7	2217,4	3326,1	4434,9	5543,6
12	365,7	1316,7	2633,3	3950,0	5266,6	6583,3
13	382,2	1376,0	2751,9	4127,9	5503,9	6879,9
14	378,7	1363,2	2726,4	4089,6	5452,8	6815,9
15	326,1	1173,9	2347,9	3521,8	4695,7	5869,6
16	232,7	837,9	1675,7	2513,6	3351,5	4189,4
17	17,8	64,0	127,9	191,9	255,9	319,8
18	0	0	0	0	0	0
19	0	0	0	0	0	0
20	0	0	0	0	0	0
21	0	0	0	0	0	0
22	0	0	0	0	0	0
23	0	0	0	0	0	0
24	0	0	0	0	0	0
ΣΥΝΟΛΟ ΗΜΕΡΑΣ [KJoule/day]		8473	16947	25420	33894	42367

Πίνακας 10.2.2.2: Τιμές του SHG για την 21η Φεβρουαρίου για νότιο προσανατολισμό κάθε ώρα και για διάφορες τιμές του Af.

SHG ΦΕΒΡΟΥΑΡΙΟΥ						
Time [h]	Gt [W/m²]	Af [m²]				
		1	2	3	4	5
1	0	0	0	0	0	0
2	0	0	0	0	0	0
3	0	0	0	0	0	0
4	0	0	0	0	0	0
5	0	0	0	0	0	0
6	0	0	0	0	0	0
7	0	0	0	0	0	0
8	71,7	258,1	516,1	774,2	1032,3	1290,4
9	164,8	593,2	1186,4	1779,6	2372,8	2965,9
10	263,6	949,1	1898,2	2847,3	3796,5	4745,6
11	338,3	1218,0	2436,0	3654,0	4872,0	6090,0
12	388,4	1398,3	2796,5	4194,8	5593,1	6991,3
13	399,5	1438,0	2876,1	4314,1	5752,2	7190,2
14	386,1	1390,1	2780,1	4170,2	5560,3	6950,3
15	327,0	1177,4	2354,7	3532,1	4709,4	5886,8
16	246,0	885,5	1770,9	2656,4	3541,9	4427,4
17	92,9	334,3	668,6	1002,8	1337,1	1671,4
18	0	0	0	0	0	0
19	0	0	0	0	0	0
20	0	0	0	0	0	0
21	0	0	0	0	0	0
22	0	0	0	0	0	0
23	0	0	0	0	0	0
24	0	0	0	0	0	0
ΣΥΝΟΛΟ ΗΜΕΡΑΣ [KJoule/day]		9643	19286	28929	38571	48214

Πίνακας 10.2.2.3: Τιμές του SHG για την 21η Μαρτίου για νότιο προσανατολισμό κάθε ώρα και για διάφορες τιμές του Af.

SHG ΜΑΡΤΙΟΥ						
Time [h]	Gt [W/m²]	Af [m²]				
		1	2	3	4	5
1	0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
2	0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
3	0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
4	0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
5	0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
6	0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
7	27,2	97,9	195,7	293,6	391,4	489,3
8	118,2	425,5	851,0	1276,6	1702,1	2127,6
9	209,8	755,4	1510,9	2266,3	3021,8	3777,2
10	299,4	1077,9	2155,8	3233,7	4311,6	5389,5
11	366,5	1319,5	2638,9	3958,4	5277,8	6597,3
12	409,2	1473,0	2945,9	4418,9	5891,9	7364,8
13	412,6	1485,5	2970,9	4456,4	5941,8	7427,3
14	385,6	1388,1	2776,3	4164,4	5552,5	6940,6
15	318,2	1145,5	2291,1	3436,6	4582,2	5727,7
16	231,1	832,0	1664,1	2496,1	3328,2	4160,2
17	122,6	441,4	882,8	1324,2	1765,6	2206,9
18	23,1	83,2	166,4	249,6	332,8	416,0
19	0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
20	0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
21	0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
22	0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
23	0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
24	0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
ΣΥΝΟΛΟ ΗΜΕΡΑΣ [KJoule/day]		10526	21052	31578	42104	52630

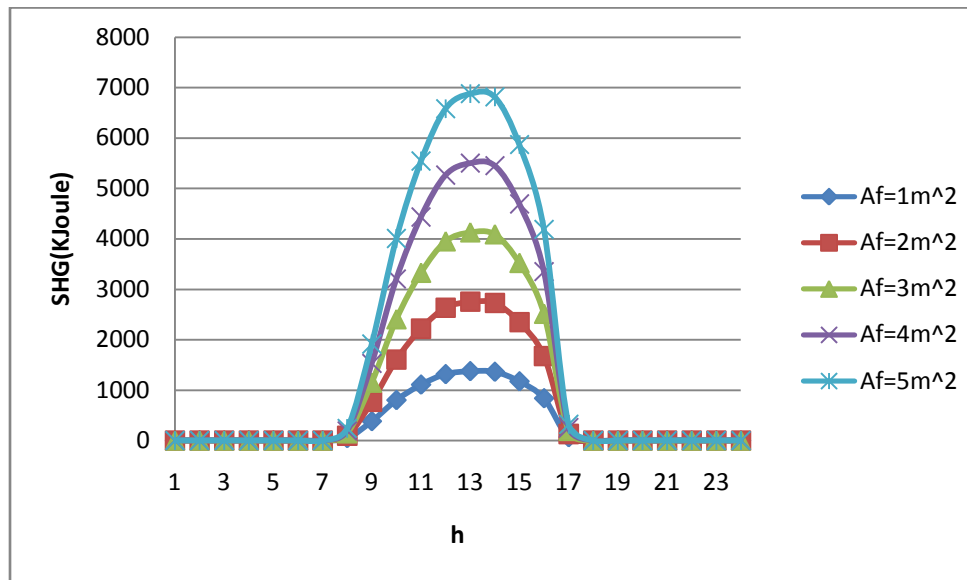
Πίνακας 10.2.2.4: Τιμές του SHG για την 21η Νοεμβρίου για νότιο προσανατολισμό κάθε ώρα και για διάφορες τιμές του Af.

SHG NOEMBΡΙΟΥ						
Time [h]	Gt [W/m²]	Af [m²]				
		1	2	3	4	5
1	0	0	0	0	0	0
2	0	0	0	0	0	0
3	0	0	0	0	0	0
4	0	0	0	0	0	0
5	0	0	0	0	0	0
6	0	0	0	0	0	0
7	0	0	0	0	0	0
8	25,2	90,6	181,2	271,8	362,4	453,0
9	142,6	513,4	1026,8	1540,1	2053,5	2566,9
10	264,4	952,0	1904,0	2855,9	3807,9	4759,9
11	358,1	1289,2	2578,4	3867,6	5156,8	6446,0
12	427,7	1539,6	3079,3	4618,9	6158,6	7698,2
13	447,5	1610,8	3221,7	4832,5	6443,3	8054,1
14	428,8	1543,6	3087,3	4630,9	6174,5	7718,1
15	376,4	1355,1	2710,3	4065,4	5420,6	6775,7
16	262,7	945,6	1891,2	2836,8	3782,4	4728,1
17	26,3	94,8	189,7	284,5	379,4	474,2
18	0	0	0	0	0	0
19	0	0	0	0	0	0
20	0	0	0	0	0	0
21	0	0	0	0	0	0
22	0	0	0	0	0	0
23	0	0	0	0	0	0
24	0	0	0	0	0	0
ΣΥΝΟΛΟ ΗΜΕΡΑΣ [KJoule/day]		9936	19872	29808	39743	49679

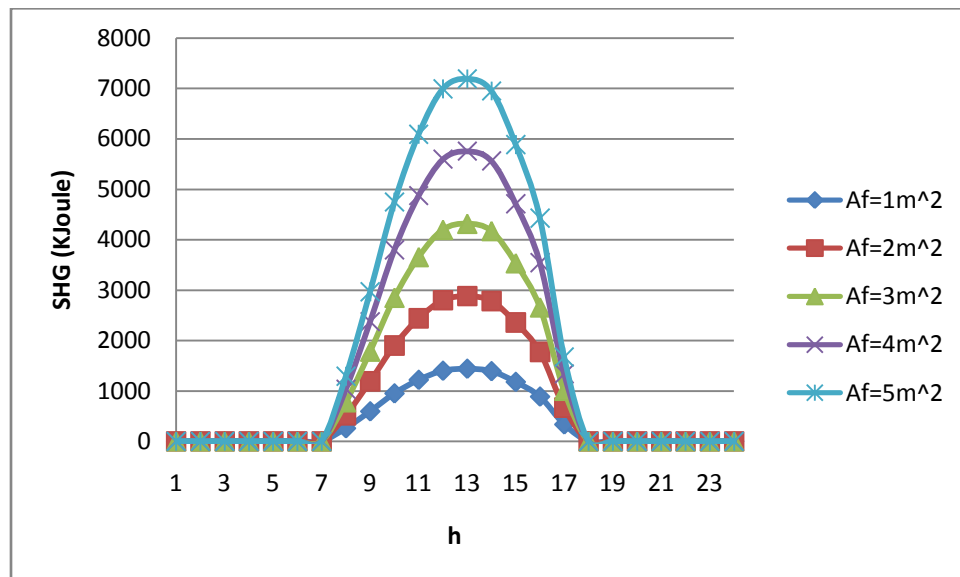
Πίνακας 10.2.2.5: Τιμές του SHG για την 21η Δεκεμβρίου για νότιο προσανατολισμό κάθε ώρα και για διάφορες τιμές του Af.

SHG ΔΕΚΕΜΒΡΙΟΥ						
	DECEMBER	Af [m²]				
Time [h]	Gt [W/m²]	1	2	3	4	5
1	0	0	0	0	0	0
2	0	0	0	0	0	0
3	0	0	0	0	0	0
4	0	0	0	0	0	0
5	0	0	0	0	0	0
6	0	0	0	0	0	0
7	0	0	0	0	0	0
8	4,3	15,3	30,7	46,0	61,4	76,7
9	89,5	322,1	644,1	966,2	1288,2	1610,3
10	219,1	788,6	1577,3	2365,9	3154,5	3943,2
11	313,2	1127,4	2254,8	3382,2	4509,6	5637,0
12	379,2	1365,1	2730,2	4095,3	5460,4	6825,5
13	398,9	1436,0	2871,9	4307,9	5743,9	7179,9
14	392,6	1413,2	2826,5	4239,7	5653,0	7066,2
15	342,4	1232,8	2465,5	3698,3	4931,0	6163,8
16	222,4	800,7	1601,4	2402,1	3202,8	4003,5
17	15,9	57,1	114,1	171,2	228,3	285,4
18	0	0	0	0	0	0
19	0	0	0	0	0	0
20	0	0	0	0	0	0
21	0	0	0	0	0	0
22	0	0	0	0	0	0
23	0	0	0	0	0	0
24	0	0	0	0	0	0
ΣΥΝΟΛΟ ΗΜΕΡΑΣ [KJoule/day]		8559	17119	25678	34237	42796

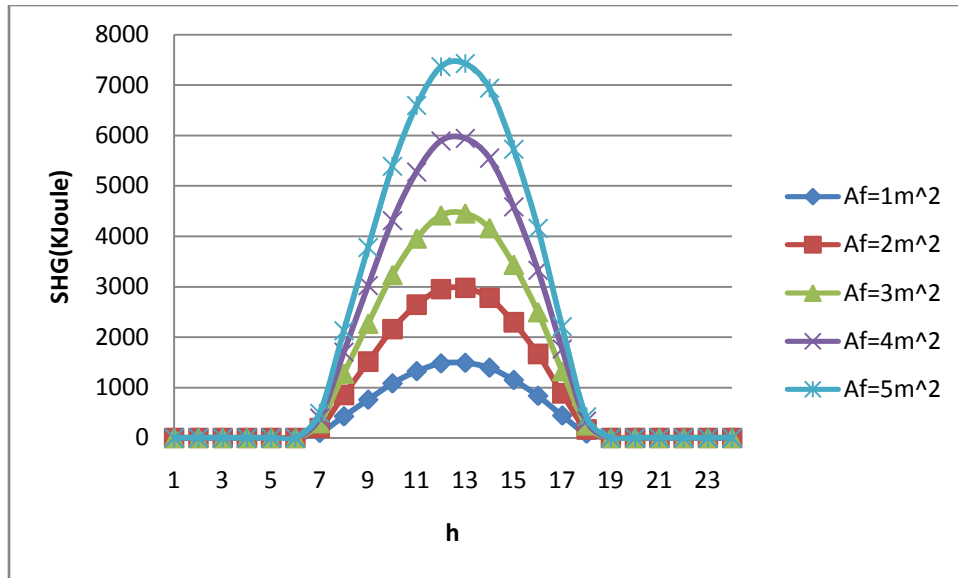
Τα αντιστοίχα διαγράμματα για τους ίδιους μήνες είναι:



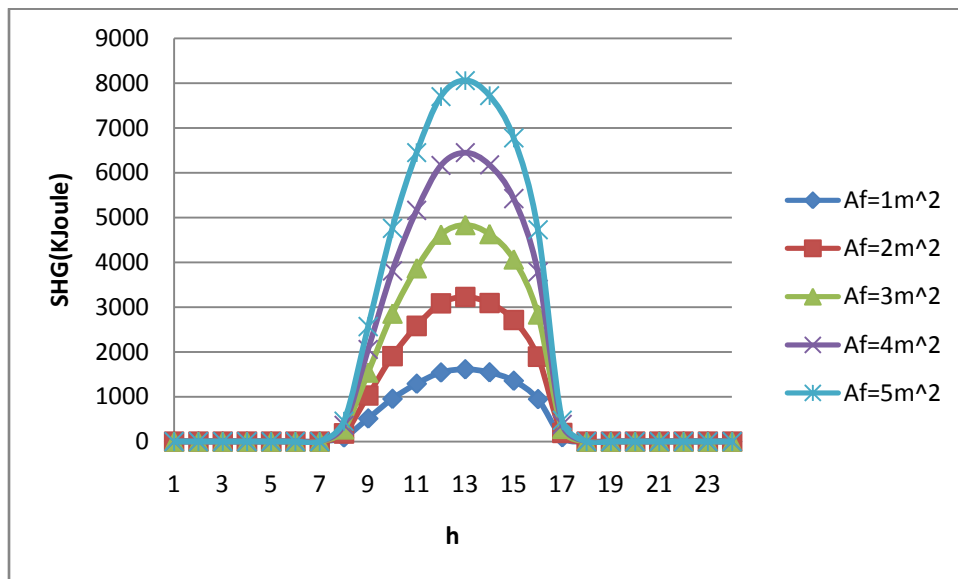
Διάγραμμα 10.2.2.1: Διακύμανση του ηλιακού θερμικού κέρδους υαλοπίνακα SHG για την 21η Ιανουαρίου για νότιο προσανατολισμό κάθε ώρα και για διάφορες τιμές του Af.



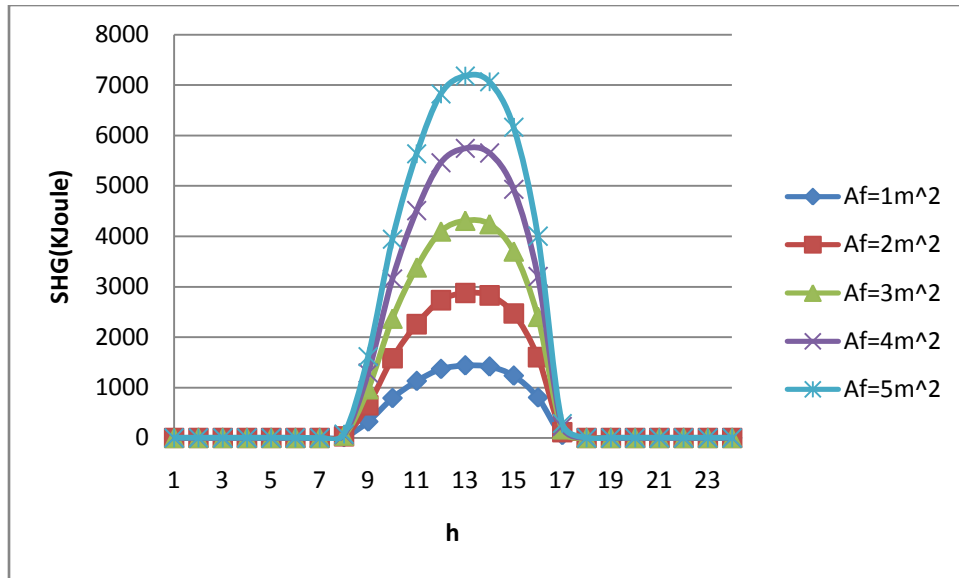
Διάγραμμα 10.2.2.2: Διακύμανση του ηλιακού θερμικού κέρδους υαλοπίνακα SHG για την 21η Φεβρουαρίου για νότιο προσανατολισμό κάθε ώρα και για διάφορες τιμές του Af.



Διάγραμμα 10.2.2.3: Διακύμανση του ηλιακού θερμικού κέρδους υαλοπίνακα SHG για την 21η Μαρτίου για νότιο προσανατολισμό κάθε ώρα και για διάφορες τιμές του Af.



Διάγραμμα 10.2.2.4: Διακύμανση του ηλιακού θερμικού κέρδους υαλοπίνακα SHG για την 21η Νοεμβρίου για νότιο προσανατολισμό κάθε ώρα και για διάφορες τιμές του Af.



Διάγραμμα 10.2.2.5: Διακύμανση του ηλιακού θερμικού κέρδους υαλοπίνακα SHG για την 21η Δεκεμβρίου για νότιο προσανατολισμό κάθε ώρα και για διάφορες τιμές του Af.

Παρατηρούμε ότι,

- Για τις τιμές του ηλιακού θερμικού κέρδους κατά τους χειμερινούς μήνες ότι προκύπτουν τα ίδια συμπεράσματα με τα αντίστοιχα διαγράμματα που παρουσιάζουν την διακύμανση του Gt κατά τη διάρκεια της ημέρας. Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι το ηλιακό θερμικό κέρδος εξαρτάται από την ολική προσπίπτουσα στιγμιαία ακτινοβολία, Gt.
- 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,.
- Όσο αυξάνεται η επιφάνεια του παραθύρου Af, αυξάνεται και το ηλιακό θερμικό κέρδος και αυτό είναι απολύτως λογικό γιατί εξαρτάται αναλογικά από την επιφάνεια του παραθύρου Af.

10.3 Υπολογισμός θερμικού φορτίου υαλοπινάκων δι' αγωγής

Τα αρνητικά φορτία των υαλοπινάκων προκύπτουν από αγωγή θερμότητας εξαιτίας θερμοκρασιακής διαφοράς. 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. Τα φορτία αυτά, υπολογίζονται από την παρακάτω σχέση:

$$\bullet \quad L_f = A_f * U_f * (T_{out} - T_{in}) * 3600 \quad [\text{J/h}] \quad (10.3.1)$$

όπου,

- A_f : η επιφάνεια των υαλοπινάκων,
- U_f : ο συντελεστής ολικής θερμικής διαπερατότητας υαλοπινάκων, ο οποίος στους υαλοπίνακες του κτιρίου που μελετάμε είναι $U_f=2,5 \text{ W/m}^2\text{K}$,
- 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 ($^\circ\text{C}$),
- 3600: υπολογίζεται το φορτίο για διάστημα μίας ώρας για αυτό και πολλαπλασιάζουμε με $60*60=3600\text{s}$.

Στην παραπάνω σχέση δε χρησιμοποιήθηκε η ισοδύναμη θερμοκρασία T_e , η οποία περιέχει την ηλιακή ακτινοβολία, αφού εμείς την υπολογίζουμε ξεχωριστά

10.3.1. Υπολογισμός θερμοκρασίας περιβάλλοντος

Η θερμοκρασία εξωτερικού περιβάλλοντος υπολογίζεται από τη σχέση:

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

(10.3.1.1)

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 παρακάτω πίνακα.

Πίνακας 10.3.1 Συντελεστές M, C1, C2, C3, S1, S2, S3 για κάθε μήνα.

	21η ΙΑΝΟΥΑΡΙΟΥ	21η ΦΕΒΡΟΥΑΡΙΟΥ	21η ΜΑΡΤΙΟΥ	21η ΝΟΕΜΒΡΙΟΥ	21η ΔΕΚΕΜΒΡΙΟΥ
M	9,384	10,984	11,955	11,968	9,264
C1	-1,673	-2,15	-1,898	-1,3	-1,11
C2	0,711	0,785	0,651	0,616	0,521
C3	0,0085	-0,107	-0,0097	-0,252	-0,152
S1	-1,723	-1,75	-1,084	-0,317	-0,881
S2	0,524	0,578	0,255	0,629	0,333
S3	-0,241	-0,0724	-0,0093	-0,049	0,008

Οπότε προκύπτουν σύμφωνα με την εξίσωση (10.3.1.1) οι εξής τιμές για τη θερμοκρασία περιβάλλοντος για τους χειμερινούς μήνες:

Πίνακας 10.3.2: Η εξωτερική θερμοκρασία (Tout) για κάθε ώρα και κάθε μήνα θέρμανσης

	21η ΙΑΝΟΥΑΡΙΟΥ	21η ΦΕΒΡΟΥΑΡΙΟΥ	21η ΜΑΡΤΙΟΥ	21η ΝΟΕΜΒΡΙΟΥ	21η ΔΕΚΕΜΒΡΙΟΥ
time[h]	Tout [°C]				
1	8,24	9,41	10,61	11,14	8,50
2	7,83	9,18	10,41	11,38	8,45
3	7,47	8,95	10,20	11,56	8,37
4	7,22	8,71	10,02	11,59	8,22
5	7,10	8,52	9,96	11,44	8,03
6	7,13	8,47	10,08	11,19	7,88
7	7,30	8,65	10,44	11,01	7,88
8	7,66	9,16	11,03	11,08	8,13
9	8,26	10,02	11,82	11,49	8,65
10	9,12	11,16	12,71	12,22	9,37
11	10,18	12,42	13,57	13,09	10,15
12	11,27	13,57	14,26	13,86	10,81
13	12,17	14,38	14,69	14,31	11,21
14	12,68	14,71	14,78	14,31	11,28
15	12,68	14,54	14,54	13,91	11,07
16	12,19	13,97	14,04	13,24	10,68
17	11,40	13,15	13,39	12,52	10,23
18	10,54	12,28	12,70	11,88	9,81
19	9,83	11,50	12,08	11,41	9,47
20	9,36	10,89	11,59	11,10	9,19
21	9,13	10,43	11,26	10,91	8,97
22	9,00	10,10	11,04	10,82	8,78
23	8,86	9,84	10,90	10,83	8,64
24	8,60	9,62	10,77	10,94	8,55

Επομένως, χρησιμοποιώντας την εξίσωση (10.3.1) και με όλους τους συντελεστές γνωστούς προκύπτει το θερμικό φορτίο υαλοπινάκων δι' αγωγής σε [Joule/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 [KJoule/h].

Πίνακας 10.3.3 Θερμικό φορτίο υαλοπινάκων δι' αγωγής για την 21^η Ιανουαρίου για όλο το 24ωρο και για διάφορα Af.

ΙΑΝΟΥΑΡΙΟΣ					
	Q_{Lf} [Kjoule]				
	Af [m²]				
time [h]	1	2	3	4	5
1	-105,9	-211,7	-317,6	-423,4	-529,3
2	-109,5	-219,0	-328,5	-438,0	-547,5
3	-112,8	-225,5	-338,3	-451,0	-563,8
4	-115,0	-230,0	-345,0	-460,1	-575,1
5	-116,1	-232,1	-348,2	-464,3	-580,3
6	-115,9	-231,7	-347,6	-463,5	-579,3
7	-114,3	-228,6	-343,0	-457,3	-571,6
8	-111,1	-222,1	-333,2	-444,3	-555,3
9	-105,7	-211,3	-317,0	-422,6	-528,3
10	-97,9	-195,8	-293,7	-391,6	-489,6
11	-88,4	-176,8	-265,2	-353,6	-442,1
12	-78,6	-157,2	-235,7	-314,3	-392,9
13	-70,4	-140,9	-211,3	-281,7	-352,2
14	-65,9	-131,7	-197,6	-263,5	-329,3
15	-65,9	-131,8	-197,7	-263,7	-329,6
16	-70,3	-140,6	-210,8	-281,1	-351,4
17	-77,4	-154,8	-232,2	-309,6	-387,0
18	-85,1	-170,3	-255,4	-340,6	-425,7
19	-91,6	-183,1	-274,7	-366,3	-457,8
20	-95,7	-191,5	-287,2	-383,0	-478,7
21	-97,9	-195,7	-293,6	-391,4	-489,3
22	-99,0	-197,9	-296,9	-395,9	-494,9
23	-100,3	-200,6	-300,9	-401,2	-501,5
24	-102,6	-205,2	-307,8	-410,3	-512,9
ΣQLF [Kjoule/day]	-2292,1	-4584,1	-6876,2	-9168,2	-11460,3

Πίνακας 10.3.4 Θερμικό φορτίο υαλοπινάκων δι' αγωγής για την 21^η Φεβρουαρίου για όλο το 24ωρο και για διάφορα Af.

ΦΕΒΡΟΥΑΡΙΟΣ					
	Q_{Lf} [Kjoule]				
	Af [m²]				
time [h]	1	2	3	4	5
1	-95,4	-190,7	-286,1	-381,4	-476,8
2	-97,3	-194,7	-292,0	-389,4	-486,7
3	-99,5	-198,9	-298,4	-397,9	-497,3
4	-101,6	-203,2	-304,7	-406,3	-507,9
5	-103,3	-206,6	-309,8	-413,1	-516,4
6	-103,8	-207,6	-311,4	-415,2	-519,0
7	-102,2	-204,3	-306,5	-408,7	-510,9
8	-97,6	-195,2	-292,8	-390,4	-488,0
9	-89,9	-179,7	-269,6	-359,4	-449,3
10	-79,5	-159,1	-238,6	-318,2	-397,7
11	-68,2	-136,4	-204,6	-272,8	-341,1
12	-57,9	-115,8	-173,7	-231,6	-289,5
13	-50,6	-101,2	-151,8	-202,4	-253,0
14	-47,6	-95,2	-142,8	-190,4	-238,0
15	-49,1	-98,2	-147,4	-196,5	-245,6
16	-54,3	-108,6	-162,9	-217,3	-271,6
17	-61,6	-123,3	-184,9	-246,6	-308,2
18	-69,5	-138,9	-208,4	-277,8	-347,3
19	-76,5	-152,9	-229,4	-305,8	-382,3
20	-82,0	-164,1	-246,1	-328,1	-410,2
21	-86,1	-172,3	-258,4	-344,6	-430,7
22	-89,1	-178,3	-267,4	-356,5	-445,7
23	-91,4	-182,9	-274,3	-365,8	-457,2
24	-93,4	-186,9	-280,3	-373,7	-467,2
ΣQLF [Kjoule/day]	-1946,5	-3892,9	-5839,4	-7785,8	-9732,3

Πίνακας 10.3.5 Θερμικό φορτίο υαλοπινάκων δι' αγωγής για την 21^η Μαρτίου για όλο το 24ωρο και για διάφορα Af.

ΜΑΡΤΙΟΣ					
	Q_{Lf} [Kjoule]				
	Af [m²]				
time [h]	1	2	3	4	5
1	-84,5	-168,9	-253,4	-337,9	-422,4
2	-86,3	-172,5	-258,8	-345,1	-431,3
3	-88,2	-176,4	-264,6	-352,8	-441,0
4	-89,8	-179,6	-269,4	-359,2	-449,0
5	-90,4	-180,7	-271,1	-361,5	-451,8
6	-89,3	-178,5	-267,8	-357,0	-446,3
7	-86,1	-172,1	-258,2	-344,2	-430,3
8	-80,7	-161,4	-242,1	-322,8	-403,5
9	-73,6	-147,2	-220,8	-294,4	-368,0
10	-65,6	-131,2	-196,8	-262,4	-328,0
11	-57,9	-115,8	-173,6	-231,5	-289,4
12	-51,6	-103,3	-154,9	-206,5	-258,1
13	-47,8	-95,7	-143,5	-191,3	-239,1
14	-47,0	-94,0	-141,0	-188,1	-235,1
15	-49,1	-98,3	-147,4	-196,5	-245,7
16	-53,6	-107,2	-160,8	-214,5	-268,1
17	-59,5	-119,0	-178,5	-237,9	-297,4
18	-65,7	-131,4	-197,0	-262,7	-328,4
19	-71,3	-142,5	-213,8	-285,0	-356,3
20	-75,6	-151,3	-226,9	-302,6	-378,2
21	-78,7	-157,4	-236,1	-314,7	-393,4
22	-80,6	-161,2	-241,8	-322,4	-403,0
23	-81,9	-163,8	-245,7	-327,6	-409,4
24	-83,1	-166,1	-249,2	-332,2	-415,3
ΣQLF [Kjoule/day]	-1736,7	-3473,4	-5210,2	-6946,9	-8683,6

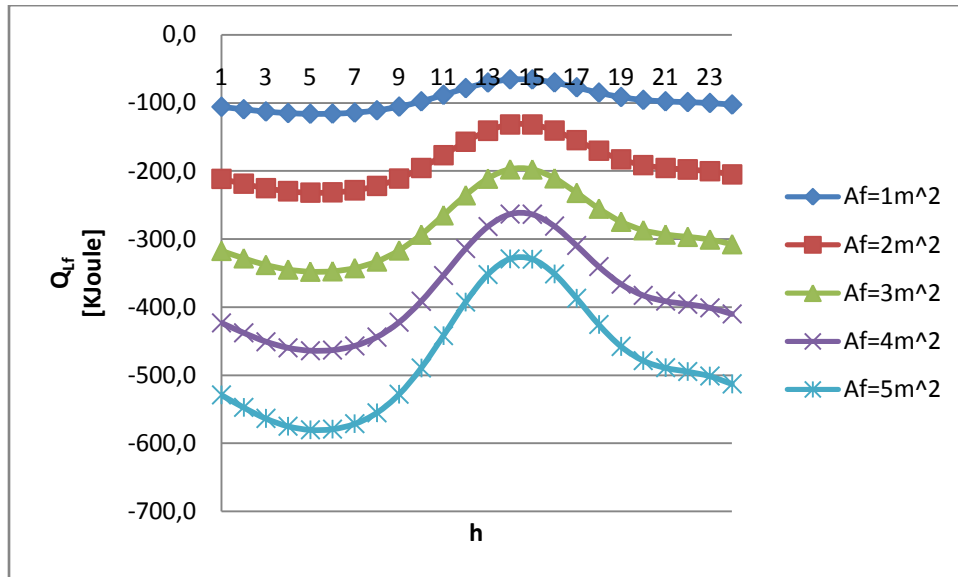
Πίνακας 10.3.6 Θερμικό φορτίο υαλοπινάκων δι' αγωγής για την 21^η Νοεμβρίου για όλο το 24ωρο και για διάφορα Af.

ΝΟΕΜΒΡΙΟΣ					
	Q_{Lf} [Kjoule]				
	Af [m²]				
time [h]	1	2	3	4	5
1	-79,7	-159,4	-239,1	-318,8	-398,5
2	-77,5	-155,1	-232,6	-310,2	-387,7
3	-75,9	-151,9	-227,8	-303,8	-379,7
4	-75,7	-151,4	-227,1	-302,9	-378,6
5	-77,1	-154,1	-231,2	-308,2	-385,3
6	-79,3	-158,5	-237,8	-317,0	-396,3
7	-80,9	-161,7	-242,6	-323,5	-404,4
8	-80,3	-160,6	-240,9	-321,2	-401,5
9	-76,6	-153,2	-229,8	-306,4	-383,0
10	-70,1	-140,1	-210,2	-280,2	-350,3
11	-62,2	-124,4	-186,6	-248,8	-311,0
12	-55,2	-110,5	-165,7	-221,0	-276,2
13	-51,2	-102,5	-153,7	-204,9	-256,2
14	-51,2	-102,4	-153,6	-204,8	-255,9
15	-54,8	-109,7	-164,5	-219,3	-274,1
16	-60,8	-121,6	-182,4	-243,2	-304,0
17	-67,4	-134,7	-202,1	-269,4	-336,8
18	-73,1	-146,2	-219,3	-292,4	-365,5
19	-77,3	-154,7	-232,0	-309,4	-386,7
20	-80,1	-160,3	-240,4	-320,5	-400,6
21	-81,8	-163,6	-245,4	-327,1	-408,9
22	-82,6	-165,2	-247,8	-330,4	-413,0
23	-82,5	-165,1	-247,6	-330,2	-412,7
24	-81,6	-163,1	-244,7	-326,2	-407,8
ΣQLF [Kjoule/day]	-1733,9	-3467,8	-5201,7	-6935,6	-8669,6

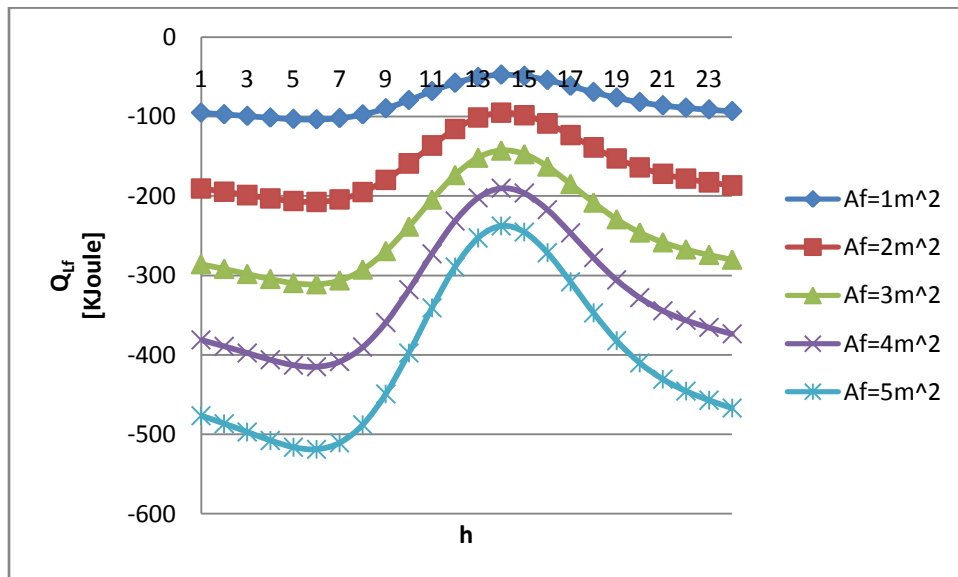
Πίνακας 10.3.7 Θερμικό φορτίο υαλοπινάκων δι' αγωγής για την 21^η Δεκεμβρίου για όλο το 24ωρο και για διάφορα Af.

ΔΕΚΕΜΒΡΙΟΣ					
	Q_{Lf} [Kjoule]				
	Af [m²]				
time [h]	1	2	3	4	5
1	-103,5	-207,0	-310,5	-414,0	-517,5
2	-103,9	-207,8	-311,7	-415,6	-519,6
3	-104,7	-209,4	-314,0	-418,7	-523,4
4	-106,0	-212,0	-318,1	-424,1	-530,1
5	-107,7	-215,5	-323,2	-430,9	-538,7
6	-109,1	-218,2	-327,3	-436,3	-545,4
7	-109,1	-218,2	-327,2	-436,3	-545,4
8	-106,9	-213,7	-320,6	-427,4	-534,3
9	-102,2	-204,4	-306,5	-408,7	-510,9
10	-95,7	-191,3	-287,0	-382,7	-478,3
11	-88,6	-177,3	-265,9	-354,6	-443,2
12	-82,7	-165,4	-248,1	-330,8	-413,5
13	-79,1	-158,3	-237,4	-316,6	-395,7
14	-78,5	-156,9	-235,4	-313,9	-392,3
15	-80,4	-160,7	-241,1	-321,4	-401,8
16	-83,9	-167,7	-251,6	-335,4	-419,3
17	-87,9	-175,8	-263,7	-351,6	-439,5
18	-91,7	-183,3	-275,0	-366,7	-458,3
19	-94,8	-189,6	-284,3	-379,1	-473,9
20	-97,3	-194,5	-291,8	-389,1	-486,3
21	-99,3	-198,6	-297,9	-397,1	-496,4
22	-100,9	-201,9	-302,8	-403,8	-504,7
23	-102,2	-204,4	-306,6	-408,9	-511,1
24	-103,0	-206,1	-309,1	-412,1	-515,2
ΣQLF [Kjoule/day]	-2318,0	-4636,0	-6953,9	-9271,9	-11589,9

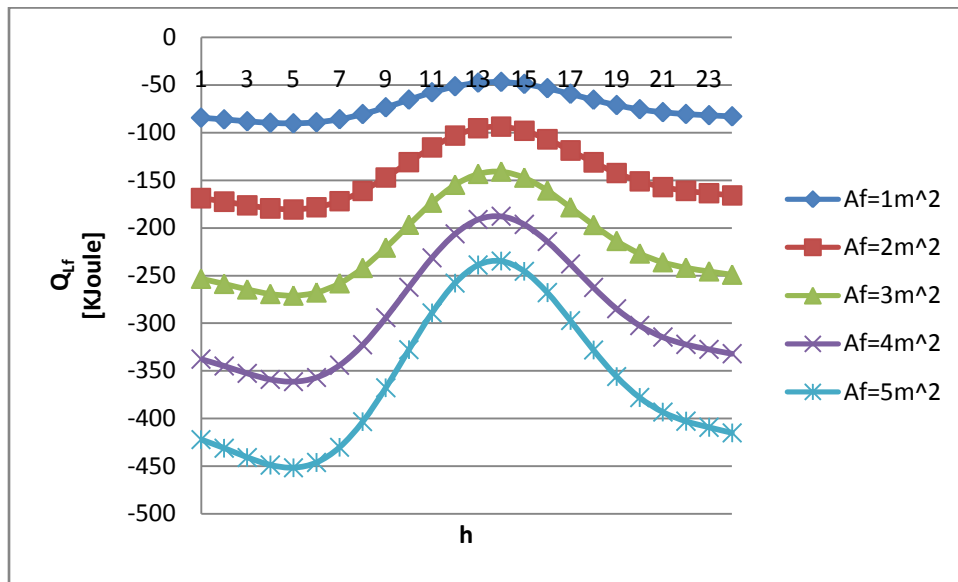
Τα αντίστοιχα διαγράμματα για το θερμικό φορτίο υαλοπινάκων δι' αγωγής για κάθε μήνα τον οποίο εξετάζουμε παρατίθενται παρακάτω:



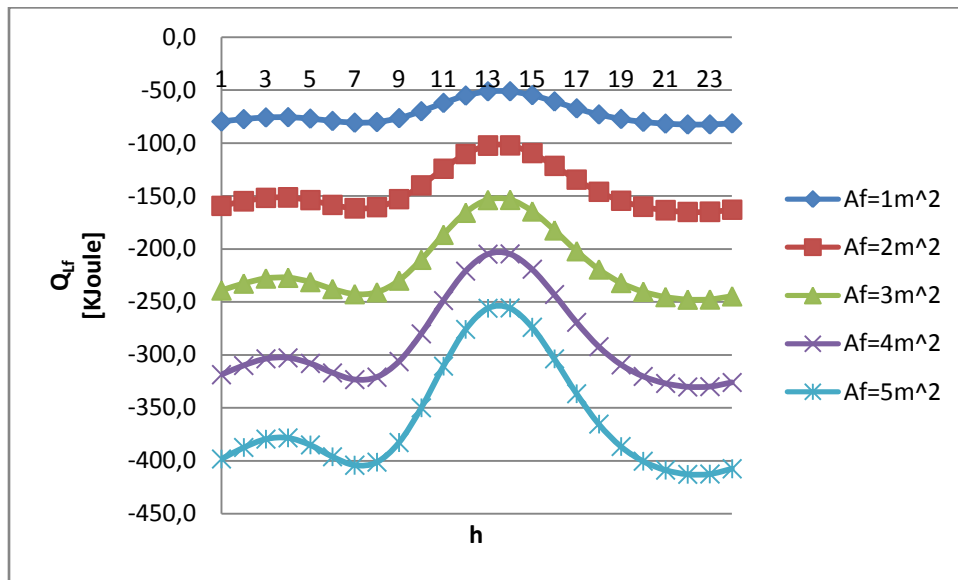
Διάγραμμα 10.3.1 Διακύμανση του θερμικού φορτίου υαλοπινάκων δι' αγωγής για την 21^η Ιανουαρίου για όλο το 24ωρο και για διάφορα Af.



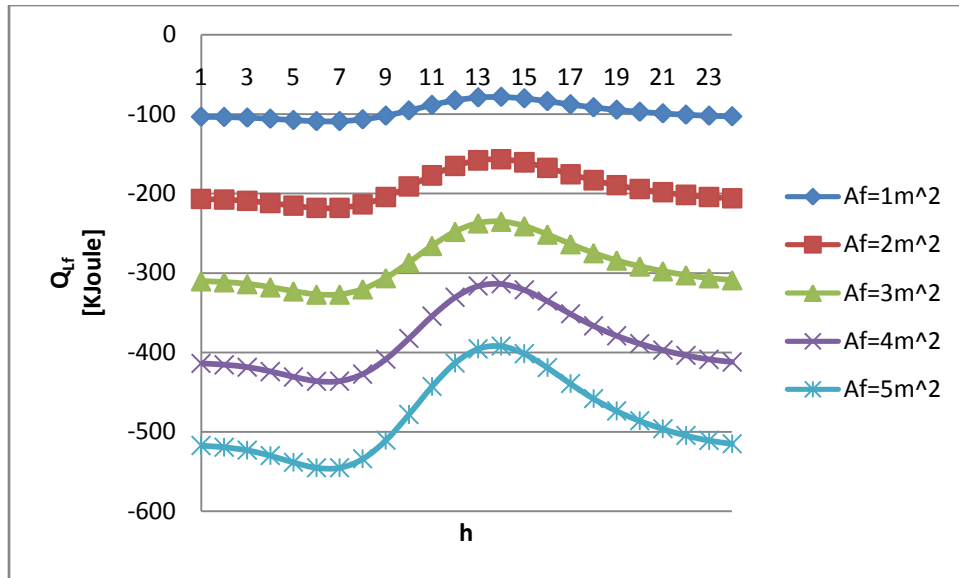
Διάγραμμα 10.3.2 Διακύμανση του θερμικού φορτίου υαλοπινάκων δι' αγωγής για την 21^η Φεβρουαρίου για όλο το 24ωρο και για διάφορα Af.



Διάγραμμα 10.3.3 Διακύμανση του θερμικού φορτίου υαλοπινάκων δι' αγωγής για την 21^η Μαρτίου για όλο το 24ωρο και για διάφορα Af.



Διάγραμμα 10.3.4 Διακύμανση του θερμικού φορτίου υαλοπινάκων δι' αγωγής για την 21^η Νοεμβρίου για όλο το 24ωρο και για διάφορα Af.



Διάγραμμα 10.3.5 Διακύμανση του θερμικού φορτίου υαλοπινάκων δι' αγωγής για την 21^η Δεκεμβρίου για όλο το 24ωρο και για διάφορα Af.

Παρατηρούμε ότι,

- το θερμικό φορτίο υαλοπινάκων δι' αγωγής για κάθε ώρα της ημέρας και για κάθε μήνα θέρμανσης προκύπτει αρνητικό, επομένως έχουμε απώλεια για το κέλυφος. Αυτό γίνεται εξαιτίας της διαφοράς θερμοκρασίας μεταξύ εξωτερικού και εσωτερικού περιβάλλοντος ($T_{out}-T_{in}$), η οποία προκύπτει για όλες τις ώρες και για κάθε μήνα θέρμανσης αρνητική.
- οι απώλειες υαλοπινάκων δι' αγωγής είναι μικρότερες κατά τις μεσημεριανές ώρες κι αυτό συμβαίνει γιατί η θερμοκρασία εξωτερικού περιβάλλοντος αυξάνεται, αρα μειώνεται η διαφορά θερμοκρασίας ($T_{out}-T_{in}$). Αντίστοιχα, κατά τις νυχτερινές ώρες οι απώλειες είναι μεγαλύτερες διότι η θερμοκρασία εξωτερικού περιβάλλοντος είναι αρκετά μικρότερη.
- 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.
- Όσο αυξάνεται η επιφάνεια του παραθύρου Af, αυξάνονται και οι απώλειες των υαλοπινάκων και αυτό είναι απολύτως λογικό γιατί το θερμικό φορτίο εξαρτάται αναλογικά από την επιφάνεια του παραθύρου Af.

10.4 Υπολογισμός φορτίου εξωτερικού τοίχου

Το συνολικό φορτίο που διέρχεται μέσω του τοίχου, δηλαδή το συνολικό κέρδος του, υπολογίζεται με βάση την παρακάτω εξίσωση:

$$Q_w = A_w * U_w * (T_e - T_{in}) * 3600 \quad [\text{J/h}] \quad (10.4.1)$$

όπου,

- A_w [m^2] : το εμβαδόν του τοίχου, που εδώ είναι $A_w = 7.5 \text{m}^2$,
- U_w [$\text{W}/\text{m}^2\text{K}$] : η θερμική διαπερατότητα 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,
- 3600: υπολογίζεται το φορτίο για διάστημα μίας ώρας για αυτό και πολλαπλασιάζουμε με $60*60=3600\text{s}$.

10.4.1 Υπολογισμός συντελεστή θερμοπερατότητας τοίχου

Ο συντελεστής θερμοπερατότητας του τοίχου υπολογίζεται με την παρακάτω σχέση:

$$\frac{1}{U_w} = \frac{1}{h_o} + \frac{w_1}{k_1} + \frac{w_2}{k_2} + \frac{w_3}{k_3} + \frac{w_4}{k_4} + \frac{w_5}{k_5} + \frac{1}{h_i} \quad \left[\frac{\text{m}^2\text{K}}{\text{W}} \right] \quad (10.4.1)$$

Όπου,

- h_i [$\text{W}/\text{m}^2\text{K}$] ο εσωτερικός συντελεστής συναγωγής,
- h_o [$\text{W}/\text{m}^2\text{K}$] ο εξωτερικός συντελεστής συναγωγής,
- w_i [m] το πάχος της κάθε στρώσης του τοίχου,
- k_i [W/mK] η ειδική θερμική αγωγιμότητα του υλικού κάθε στρώσης του τοίχου.

Ο εξωτερικός τοίχος, όπως έχουμε αναφέρει και σε προηγούμενο κεφάλαιο, ξεκινώντας από την εξωτερική του πλευρά που βρίσκεται σε επαφή με τον εξωτερικό αέρα και προχωρώντας προς την εσωτερική αποτελείται 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 $w_3=0,04\text{m}$ και ειδικής θερμικής αγωγιμότητας $k_3=0,051\text{ W/mK}$.
- Δρομική οπτοπλινθοδομή πάχους $w_4=0,09\text{m}$ και ειδικής θερμικής αγωγιμότητας $k_4=0,72\text{ W/mK}$.
- Εσωτερικό επίχρισμα πάχους $w_5=0,02\text{m}$ και ειδικής θερμικής αγωγιμότητας $k_5=1,2\text{ W/mK}$.
- Εξωτερικό συντελεστή συναγωγής $h_o=16\text{ W/m}^2\text{K}$ και εσωτερικό $h_i=8\text{ W/m}^2\text{K}$.

Συνεπώς, απο τη σχέση 10.4.1 αντικαθιστώντας τις κατάλληλες τιμές, προκύπτει τελικά η τιμή της θερμικής διαπερατότητας του τοίχου, $U_w=0,8\text{ W/m}^2\text{K}$.

Η ισοδύναμη θερμοκρασία T_e [°C] για τους χειμερινούς μήνες που εξετάζουμε παρουσιάζεται στους παρακάτω πίνακες:

Πίνακας 10.4.1 Ισοδύναμη θερμοκρασία T_e για τους χειμερινούς μήνες

time [h]	T_e [°C]				
	21η ΙΑΝΟΥΑΡΙΟΥ	21η ΦΕΒΡΟΥΑΡΙΟΥ	21η ΜΑΡΤΙΟΥ	21η ΝΟΕΜΒΡΙΟΥ	21η ΔΕΚΕΜΒΡΙΟΥ
1	8,3	9,5	10,7	11,4	8,6
2	8,1	9,3	10,5	11,5	8,5
3	7,7	9	10,2	11,5	8,3
4	7,3	8,6	10	11,4	8,1
5	7	8,4	10	11,2	7,9
6	6,9	8,4	10,1	11,1	7,8
7	7,1	10,8	13,9	11,1	7,9
8	16	18,6	19,1	19,6	15,2
9	23,3	24,4	23,9	26,4	23,5
10	28,2	29	27,8	30,9	28,3
11	31,5	32,2	30,6	33,9	31,4
12	33,2	34	32	35,2	32,7
13	33,2	34,1	31,7	34,9	32,4
14	31,3	32,3	29,9	32,8	30,1
15	27,4	28,8	26,6	28,6	25,8
16	20,6	23,5	22,1	21,7	17,8
17	11,5	15,5	16,8	12,8	10,4
18	10,8	12,4	12,7	12	9,9
19	10,1	11,5	12,1	11,4	9,4

20	9,5	10,8	11,6	10,9	9,1
21	9	10,3	11,3	10,7	8,8
22	8,8	10	11,1	10,7	8,7
23	8,6	9,8	10,9	10,9	8,7
24	8,5	9,7	10,8	11,1	8,7

Έτσι, χρησιμοποιώντας τη σχέση (10.4.1), μπορούμε να υπολογίσουμε το συνολικό φορτίο των τοίχων, για νότιο προσανατολισμό για διάφορα Af.

Πίνακας 10.4.2 Συνολικό φορτίο τοχου την 21η Ιανουαρίου για όλες τις ώρες, για νότιο προσανατολισμό και για διάφορες τιμές του Af.

ΙΑΝΟΥΑΡΙΟΣ					
	Q_w [Kjoule]				
	Af [m²]				
time [h]	1	2	3	4	5
1	-219,0	-185,3	-151,6	-117,9	-84,2
2	-222,8	-188,5	-154,2	-120,0	-85,7
3	-230,3	-194,8	-159,4	-124,0	-88,6
4	-237,7	-201,2	-164,6	-128,0	-91,4
5	-243,4	-205,9	-168,5	-131,0	-93,6
6	-245,2	-207,5	-169,8	-132,0	-94,3
7	-241,5	-204,3	-167,2	-130,0	-92,9
8	-74,9	-63,4	-51,8	-40,3	-28,8
9	61,8	52,3	42,8	33,3	23,8
10	153,5	129,9	106,3	82,7	59,0
11	215,3	182,2	149,0	115,9	82,8
12	247,1	209,1	171,1	133,1	95,0
13	247,1	209,1	171,1	133,1	95,0
14	211,5	179,0	146,4	113,9	81,4
15	138,5	117,2	95,9	74,6	53,3
16	11,2	9,5	7,8	6,0	4,3
17	-159,1	-134,6	-110,2	-85,7	-61,2
18	-172,2	-145,7	-119,2	-92,7	-66,2
19	-185,3	-156,8	-128,3	-99,8	-71,3
20	-196,6	-166,3	-136,1	-105,8	-75,6
21	-205,9	-174,2	-142,6	-110,9	-79,2
22	-209,7	-177,4	-145,2	-112,9	-80,6
23	-213,4	-180,6	-147,7	-114,9	-82,1
24	-215,3	-182,2	-149,0	-115,9	-82,8
ΣQ_w [Kjoule/day]	-1985,2	-1678,6	-1372,1	-1065,5	-758,9

Πίνακας 10.4.3 Συνολικό φορτίο τοχου την 21η Φεβρουαρίου για όλες τις ώρες, για νότιο προσανατολισμό και για διάφορες τιμές του Af.

ΦΕΒΡΟΥΑΡΙΟΣ					
	Q_w [Kjoule]				
	Af [m²]				
time [h]	1	2	3	4	5
1	-196,6	-166,3	-136,1	-105,8	-75,6
2	-200,3	-169,5	-138,7	-107,9	-77,0
3	-205,9	-174,2	-142,6	-110,9	-79,2
4	-213,4	-180,6	-147,7	-114,9	-82,1
5	-217,2	-183,7	-150,3	-116,9	-83,5
6	-217,2	-183,7	-150,3	-116,9	-83,5
7	-172,2	-145,7	-119,2	-92,7	-66,2
8	-26,2	-22,2	-18,1	-14,1	-10,1
9	82,4	69,7	57,0	44,4	31,7
10	168,5	142,6	116,6	90,7	64,8
11	228,4	193,2	158,1	123,0	87,8
12	262,1	221,8	181,4	141,1	100,8
13	264,0	223,3	182,7	142,1	101,5
14	230,3	194,8	159,4	124,0	88,6
15	164,7	139,4	114,0	88,7	63,4
16	65,5	55,4	45,4	35,3	25,2
17	-84,2	-71,3	-58,3	-45,4	-32,4
18	-142,3	-120,4	-98,5	-76,6	-54,7
19	-159,1	-134,6	-110,2	-85,7	-61,2
20	-172,2	-145,7	-119,2	-92,7	-66,2
21	-181,6	-153,6	-125,7	-97,8	-69,8
22	-187,2	-158,4	-129,6	-100,8	-72,0
23	-190,9	-161,6	-132,2	-102,8	-73,4
24	-192,8	-163,2	-133,5	-103,8	-74,2
ΣQw [Kjoule/day]	-1292,6	-1092,5	-892,5	-692,5	-492,5

Πίνακας 10.4.4 Συνολικό φορτίο τοχου την 21η Μαρτίου για όλες τις ώρες, για νότιο προσανατολισμό και για διάφορες τιμές του Af.

ΜΑΡΤΙΟΣ					
	Q_w [Kjoule]				
	Af [m²]				
time [h]	1	2	3	4	5
1	-174,1	-147,3	-120,5	-93,7	-67,0
2	-177,8	-150,5	-123,1	-95,8	-68,4
3	-183,5	-155,2	-127,0	-98,8	-70,6
4	-187,2	-158,4	-129,6	-100,8	-72,0
5	-187,2	-158,4	-129,6	-100,8	-72,0
6	-185,3	-156,8	-128,3	-99,8	-71,3
7	-114,2	-96,6	-79,1	-61,5	-43,9
8	-16,8	-14,3	-11,7	-9,1	-6,5
9	73,0	61,8	50,5	39,3	28,1
10	146,0	123,6	101,1	78,6	56,2
11	198,4	167,9	137,4	106,8	76,3
12	224,6	190,1	155,5	121,0	86,4
13	219,0	185,3	151,6	117,9	84,2
14	185,3	156,8	128,3	99,8	71,3
15	123,6	104,5	85,5	66,5	47,5
16	39,3	33,3	27,2	21,2	15,1
17	-59,9	-50,7	-41,5	-32,3	-23,0
18	-136,7	-115,6	-94,6	-73,6	-52,6
19	-147,9	-125,1	-102,4	-79,6	-56,9
20	-157,2	-133,1	-108,9	-84,7	-60,5
21	-162,9	-137,8	-112,8	-87,7	-62,6
22	-166,6	-141,0	-115,3	-89,7	-64,1
23	-170,4	-144,1	-117,9	-91,7	-65,5
24	-172,2	-145,7	-119,2	-92,7	-66,2
ΣQLF [Kjoule/day]	-1189,6	-1005,4	-821,3	-637,1	-452,9

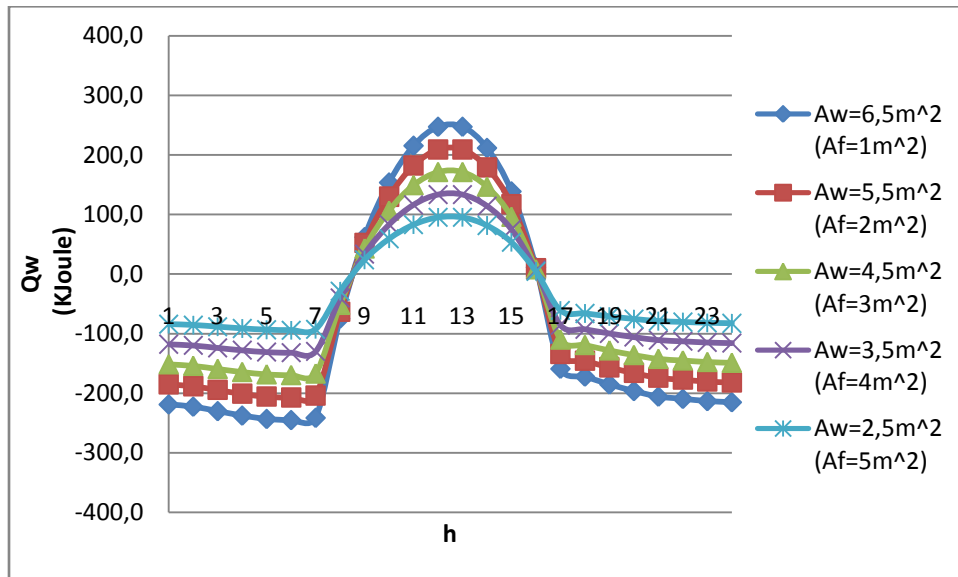
Πίνακας 10.4.5 Συνολικό φορτίο τοχου την 21η Νοεμβρίου για όλες τις ώρες, για νότιο προσανατολισμό και για διάφορες τιμές του Af.

ΝΟΕΜΒΡΙΟΣ					
	Q_w [Kjoule]				
	Af [m²]				
time [h]	1	2	3	4	5
1	-161,0	-136,2	-111,5	-86,7	-61,9
2	-159,1	-134,6	-110,2	-85,7	-61,2
3	-159,1	-134,6	-110,2	-85,7	-61,2
4	-161,0	-136,2	-111,5	-86,7	-61,9
5	-164,7	-139,4	-114,0	-88,7	-63,4
6	-166,6	-141,0	-115,3	-89,7	-64,1
7	-166,6	-141,0	-115,3	-89,7	-64,1
8	-7,5	-6,3	-5,2	-4,0	-2,9
9	119,8	101,4	82,9	64,5	46,1
10	204,0	172,7	141,3	109,9	78,5
11	260,2	220,2	180,1	140,1	100,1
12	284,5	240,8	197,0	153,2	109,4
13	278,9	236,0	193,1	150,2	107,3
14	239,6	202,8	165,9	129,0	92,2
15	161,0	136,2	111,5	86,7	61,9
16	31,8	26,9	22,0	17,1	12,2
17	-134,8	-114,0	-93,3	-72,6	-51,8
18	-149,8	-126,7	-103,7	-80,6	-57,6
19	-161,0	-136,2	-111,5	-86,7	-61,9
20	-170,4	-144,1	-117,9	-91,7	-65,5
21	-174,1	-147,3	-120,5	-93,7	-67,0
22	-174,1	-147,3	-120,5	-93,7	-67,0
23	-170,4	-144,1	-117,9	-91,7	-65,5
24	-166,6	-141,0	-115,3	-89,7	-64,1
ΣQ [Kjoule/day]	-865,7	-731,4	-597,0	-462,7	-328,4

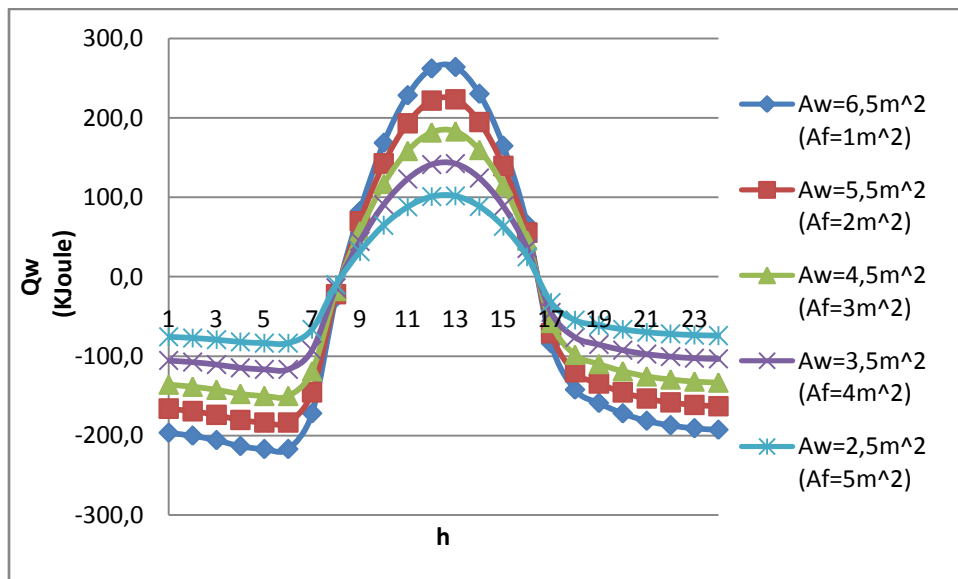
Πίνακας 10.4.6 Συνολικό φορτίο τοχου την 21η Δεκεμβρίου για όλες τις ώρες, για νότιο προσανατολισμό και για διάφορες τιμές του Af.

ΔΕΚΕΜΒΡΙΟΣ					
	Q_w [Kjoule]				
	Af [m²]				
time [h]	1	2	3	4	5
1	-213,4	-180,6	-147,7	-114,9	-82,1
2	-215,3	-182,2	-149,0	-115,9	-82,8
3	-219,0	-185,3	-151,6	-117,9	-84,2
4	-222,8	-188,5	-154,2	-120,0	-85,7
5	-226,5	-191,7	-156,8	-122,0	-87,1
6	-228,4	-193,2	-158,1	-123,0	-87,8
7	-226,5	-191,7	-156,8	-122,0	-87,1
8	-89,9	-76,0	-62,2	-48,4	-34,6
9	65,5	55,4	45,4	35,3	25,2
10	155,4	131,5	107,6	83,7	59,8
11	213,4	180,6	147,7	114,9	82,1
12	237,7	201,2	164,6	128,0	91,4
13	232,1	196,4	160,7	125,0	89,3
14	189,1	160,0	130,9	101,8	72,7
15	108,6	91,9	75,2	58,5	41,8
16	-41,2	-34,8	-28,5	-22,2	-15,8
17	-179,7	-152,1	-124,4	-96,8	-69,1
18	-189,1	-160,0	-130,9	-101,8	-72,7
19	-198,4	-167,9	-137,4	-106,8	-76,3
20	-204,0	-172,7	-141,3	-109,9	-78,5
21	-209,7	-177,4	-145,2	-112,9	-80,6
22	-211,5	-179,0	-146,4	-113,9	-81,4
23	-211,5	-179,0	-146,4	-113,9	-81,4
24	-211,5	-179,0	-146,4	-113,9	-81,4
ΣQ_w [Kjoule/day]	-2095,6	-1772,1	-1448,5	-1125,0	-801,4

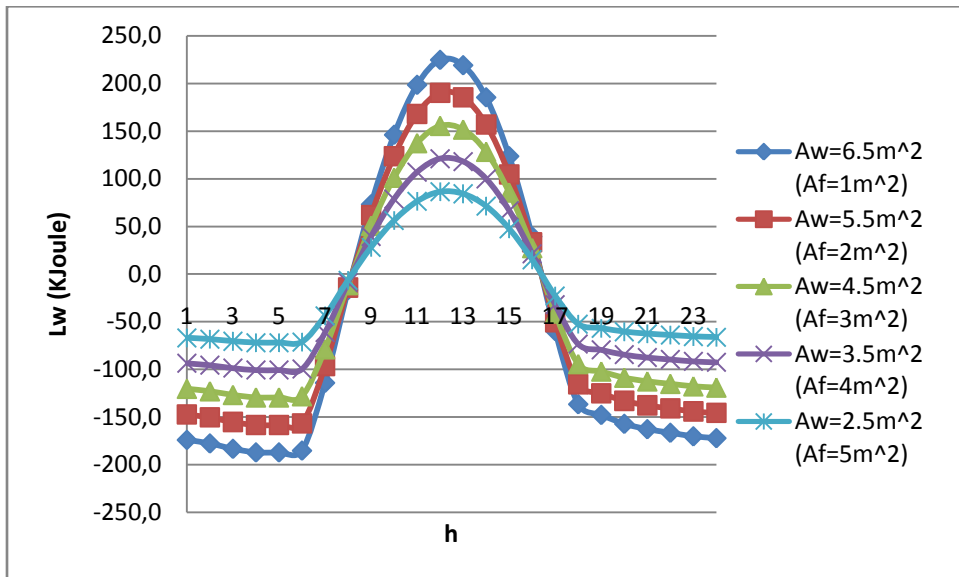
Τα αντίστοιχα διαγράμματα διακύμανσης του φορτίου του τοίχου είναι:



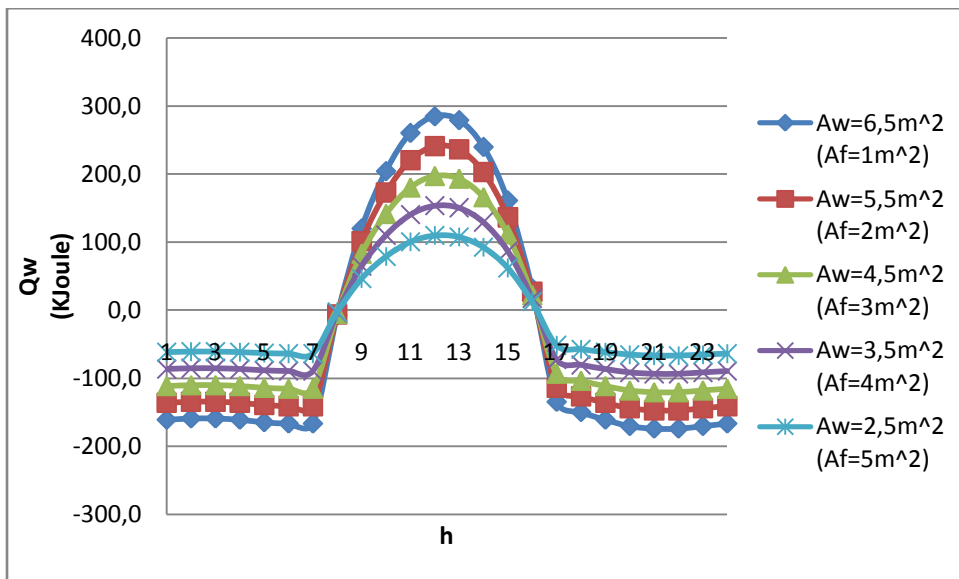
Διάγραμμα 10.4.1 Διακύμανση του φορτίου τοίχου για την 21^η Ιανουαρίου για όλο το 24ωρο και για διάφορα A_f .



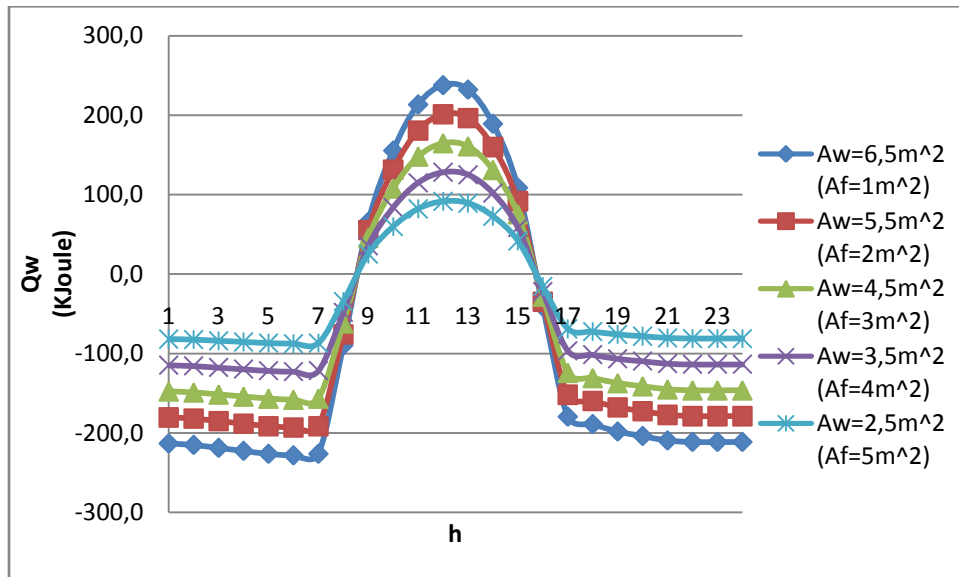
Διάγραμμα 10.4.2 Διακύμανση του φορτίου τοίχου για την 21^η Φεβρουαρίου για όλο το 24ωρο και για διάφορα A_f .



Διάγραμμα 10.4.3 Διακύμανση του φορτίου τοίχου για την 21^η Μαρτίου για όλο το 24ωρο και για διάφορα A_f .



Διάγραμμα 10.4.4 Διακύμανση του φορτίου τοίχου για την 21^η Νοεμβρίου για όλο το 24ωρο και για διάφορα A_f .



Διάγραμμα 10.4.5 Διακύμανση του φορτίου τοίχου για την 21^η Δεκεμβρίου για όλο το 24ωρο και για διάφορα Af.

Παρατηρούμε ότι,

- Το συνολικό φορτίο που διέρχεται διαμέσου του τοίχου προκύπτει για τις περισσότερες ώρες της ημέρας αρνητικό και συνεπώς αποτελεί απώλεια για το κέλυφος. Ωστόσο, για κάποιες ώρες της ημέρας, το φορτίο δι' αγωγής μέσω του τοίχου 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
- 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.
- Όσο αυξάνεται η επιφάνεια του παραθύρου Af, μειώνεται η επιφάνεια του τοίχου Aw αρα και οι απώλειες του και αυτό είναι απολύτως λογικό γιατί το φορτίο του τοίχου εξαρτάται αναλογικά από την επιφάνεια του Aw.

10.5 Συνολικό φορτίο τοίχου

Για τον υπολογισμό του συνολικού φορτίου τοίχου ώστε να καταλήξουμε σε πιο ολοκληρωμένα συμπεράσματα για τη θερμική συμπεριφορά του τοίχου αναφοράς τους μήνες 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 τοίχου στη διάρκεια του 24ωρου της τυπικής μέρας που μελετάμε.

Έτσι, τελικά προκύπτουν οι Πίνακες 10.5.1- 10.5.5 με το συνολικό φορτίο του τοίχου για κάθε μήνα θέρμανσης και ανά μία ώρα, ενώ ακολουθεί η διαγραμματική απεικόνιση των αποτελεσμάτων (Διαγράμματα 10.5.1 - 10.5.5) και τα συμπεράσματα.

Πίνακας 10.5.1: Συνολικό φορτίο τοίχου, για κάθε ώρα κατά την 21η ημέρα Ιανουαρίου για διάφορα Af, στην περιοχή της Αθήνας.

ΙΑΝΟΥΑΡΙΟΣ					
time [h]	Q [Kjoule]				
	Af [m ²]				
	1	2	3	4	5
1	-324,9	-397,0	-469,2	-541,4	-613,5
2	-332,3	-407,5	-482,7	-558,0	-633,2
3	-343,0	-420,3	-497,7	-575,0	-652,3
4	-352,8	-431,2	-509,6	-588,1	-666,5
5	-359,4	-438,0	-516,7	-595,3	-673,9
6	-361,1	-439,2	-517,4	-595,5	-673,7
7	-355,8	-433,0	-510,1	-587,3	-664,5
8	-138,1	-189,9	-241,6	-293,3	-345,0
9	338,8	606,3	873,7	1141,2	1408,7
10	857,2	1537,3	2217,4	2897,5	3577,6
11	1235,6	2222,8	3210,0	4197,1	5184,3
12	1485,2	2685,2	3885,3	5085,4	6285,4
13	1552,6	2820,2	4087,7	5355,2	6622,7
14	1508,9	2773,6	4038,4	5303,2	6568,0
15	1246,5	2333,2	3419,9	4506,7	5593,4
16	778,8	1544,7	2310,6	3076,4	3842,3
17	-172,6	-161,5	-150,5	-139,4	-128,4
18	-257,4	-316,0	-374,6	-433,3	-491,9
19	-276,9	-340,0	-403,0	-466,1	-529,1
20	-292,3	-357,8	-423,3	-488,8	-554,3
21	-303,8	-370,0	-436,1	-502,3	-568,5
22	-308,6	-375,4	-442,1	-508,8	-575,5
23	-313,7	-381,2	-448,6	-516,1	-583,6
24	-317,9	-387,3	-456,8	-526,3	-595,7
ΣQ [Kjoule/day]	4193,1	10678,1	17163,0	23647,9	30132,8

Πίνακας 10.5.2: Συνολικό φορτίο τοίχου, για κάθε ώρα κατά την 21η ημέρα Φεβρουαρίου για διάφορα Af, στην περιοχή της Αθήνας.

ΦΕΒΡΟΥΑΡΙΟΣ					
	Q [Kjoule]				
	Af [m²]				
time [h]	1	2	3	4	5
1	-291,9	-357,0	-422,1	-487,3	-552,4
2	-297,6	-364,2	-430,7	-497,2	-563,8
3	-305,4	-373,2	-441,0	-508,7	-576,5
4	-315,0	-383,7	-452,5	-521,2	-590,0
5	-320,4	-390,3	-460,2	-530,0	-599,9
6	-320,9	-391,3	-461,7	-532,1	-602,5
7	-274,4	-350,1	-425,7	-501,4	-577,1
8	134,3	298,8	463,3	627,8	792,3
9	585,7	1076,4	1567,0	2057,7	2548,4
10	1038,0	1881,7	2725,3	3569,0	4412,6
11	1378,2	2492,8	3607,5	4722,1	5836,8
12	1602,5	2902,5	4202,6	5502,6	6802,7
13	1651,4	2998,2	4345,1	5691,9	7038,8
14	1572,7	2879,8	4186,8	5493,9	6800,9
15	1293,0	2395,9	3498,8	4601,7	5704,6
16	896,7	1717,8	2538,8	3359,9	4181,0
17	188,4	474,0	759,6	1045,2	1330,8
18	-211,7	-259,3	-306,9	-354,4	-402,0
19	-235,6	-287,6	-339,5	-391,5	-443,5
20	-254,3	-309,8	-365,3	-420,9	-476,4
21	-267,7	-325,9	-384,1	-442,3	-500,6
22	-276,3	-336,7	-397,0	-457,3	-517,7
23	-282,4	-344,5	-406,5	-468,6	-530,7
24	-286,3	-350,0	-413,8	-477,6	-541,3
ΣQ [Kjoule/day]	6400,8	14294,3	22187,7	30081,1	37974,5

Πίνακας 10.5.3: Συνολικό φορτίο τοίχου, για κάθε ώρα κατά την 21η ημέρα Μαρτίου για διάφορα Af, στην περιοχή της Αθήνας.

ΜΑΡΤΙΟΣ					
	Q [Kjoule]				
	Af [m²]				
time [h]	1	2	3	4	5
1	-217,2	-281,3	-345,3	-409,4	-473,4
2	-221,9	-287,3	-352,7	-418,1	-483,5
3	-228,1	-294,8	-361,5	-428,2	-494,8
4	-232,5	-300,4	-368,2	-436,0	-503,9
5	-233,1	-301,5	-369,9	-438,3	-506,7
6	-230,6	-298,1	-365,6	-433,1	-500,7
7	-75,3	-50,1	-24,9	0,3	25,5
8	332,0	678,8	1025,6	1372,4	1719,2
9	737,5	1410,8	2084,1	2757,4	3430,7
10	1123,6	2118,8	3114,0	4109,1	5104,3
11	1412,9	2651,2	3889,5	5127,8	6366,1
12	1592,6	2987,6	4382,6	5777,6	7172,6
13	1604,6	3016,6	4428,5	5840,4	7252,4
14	1482,4	2801,8	4121,2	5440,6	6759,9
15	1190,6	2272,5	3354,5	4436,4	5518,3
16	808,4	1582,2	2356,0	3129,8	3903,7
17	336,2	725,2	1114,1	1503,0	1891,9
18	-86,7	-53,1	-19,6	13,9	47,5
19	-184,0	-237,9	-291,8	-345,8	-399,7
20	-195,5	-252,7	-309,9	-367,1	-424,3
21	-202,9	-262,4	-322,0	-381,6	-441,2
22	-207,6	-268,7	-329,8	-390,8	-451,9
23	-211,8	-273,7	-335,6	-397,5	-459,4
24	-214,4	-277,2	-340,1	-402,9	-465,8
ΣQ [Kjoule/day]	7879,4	16806,2	25733,1	34659,9	43586,8

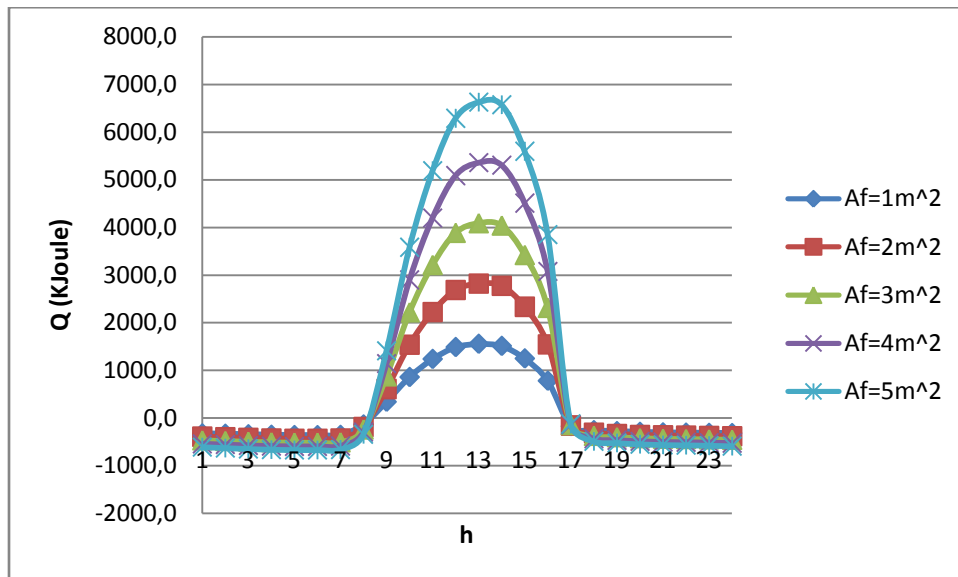
Πίνακας 10.5.4: Συνολικό φορτίο τοίχου, για κάθε ώρα κατά την 21η ημέρα Νοεμβρίου για διάφορα Af, στην περιοχή της Αθήνας.

ΝΟΕΜΒΡΙΟΣ					
	Q [Kjoule]				
	Af [m²]				
time [h]	1	2	3	4	5
1	-240,7	-295,6	-350,6	-405,5	-460,4
2	-236,7	-289,7	-342,8	-395,8	-448,9
3	-235,1	-286,5	-338,0	-389,5	-440,9
4	-236,7	-287,7	-338,6	-389,5	-440,5
5	-241,8	-293,5	-345,2	-396,9	-448,6
6	-245,9	-299,5	-353,1	-406,7	-460,4
7	-247,5	-302,7	-358,0	-413,2	-468,4
8	2,8	14,3	25,7	37,2	48,7
9	556,6	974,9	1393,3	1811,7	2230,0
10	1086,0	1936,5	2787,1	3637,6	4488,1
11	1487,2	2674,2	3861,2	5048,1	6235,1
12	1768,9	3209,6	4650,2	6090,8	7531,4
13	1838,5	3355,2	4871,9	6388,6	7905,3
14	1732,1	3187,6	4643,2	6098,8	7554,4
15	1461,3	2736,9	4012,4	5287,9	6563,5
16	916,6	1796,6	2676,5	3556,4	4436,3
17	-107,3	-59,1	-10,8	37,4	85,6
18	-222,9	-272,9	-323,0	-373,0	-423,1
19	-238,3	-290,9	-343,5	-396,1	-448,7
20	-250,5	-304,4	-358,3	-412,2	-466,2
21	-255,9	-310,9	-365,9	-420,9	-475,9
22	-256,7	-312,5	-368,3	-424,1	-479,9
23	-252,9	-309,2	-365,6	-421,9	-478,3
24	-248,2	-304,1	-360,0	-415,9	-471,8
ΣQ [Kjoule/day]	7333,2	15666,5	23999,8	32333,1	40666,4

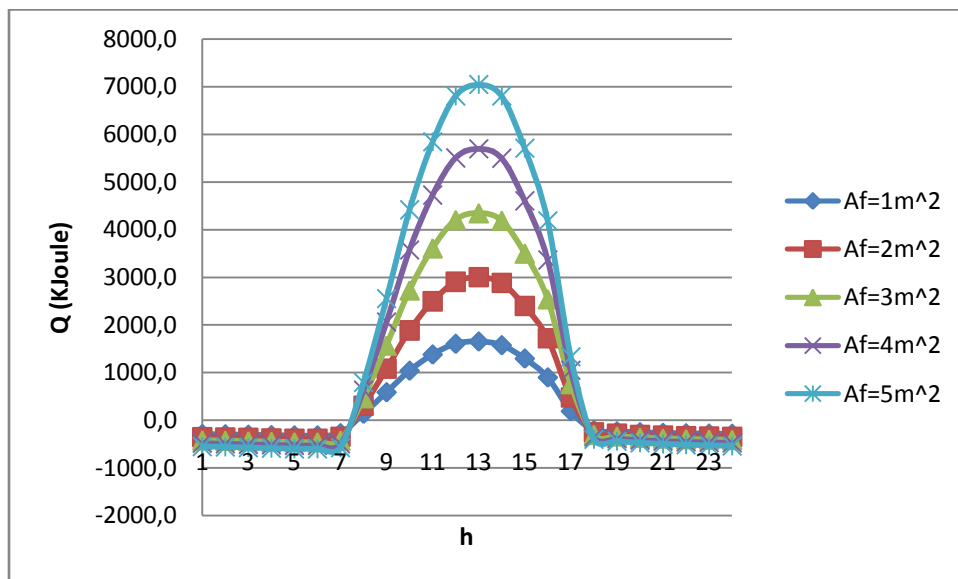
Πίνακας 10.5.5: Συνολικό φορτίο τοίχου, για κάθε ώρα κατά την 21η ημέρα Δεκεμβρίου για διάφορα Af, στην περιοχή της Αθήνας.

ΔΕΚΕΜΒΡΙΟΣ					
	Q [Kjoule]				
	Af [m²]				
time [h]	1	2	3	4	5
1	-316,9	-387,6	-458,2	-528,9	-599,6
2	-319,2	-390,0	-460,8	-531,6	-602,4
3	-323,7	-394,7	-465,7	-536,6	-607,6
4	-328,8	-400,5	-472,3	-544,0	-615,8
5	-334,2	-407,1	-480,0	-552,9	-625,8
6	-337,5	-411,4	-485,4	-559,3	-633,3
7	-335,6	-409,8	-484,0	-558,3	-632,5
8	-181,4	-259,1	-336,7	-414,4	-492,1
9	285,4	495,2	705,0	914,8	1124,6
10	848,3	1517,4	2186,5	2855,5	3524,6
11	1252,2	2258,1	3264,0	4269,9	5275,9
12	1520,1	2765,9	4011,7	5257,6	6503,4
13	1589,0	2910,1	4231,2	5552,3	6873,4
14	1523,8	2829,5	4135,2	5440,9	6746,6
15	1261,0	2396,7	3532,4	4668,1	5803,8
16	675,7	1398,8	2122,0	2845,2	3568,4
17	-210,5	-213,7	-216,9	-220,1	-223,3
18	-280,7	-343,3	-405,9	-468,5	-531,1
19	-293,2	-357,5	-421,7	-486,0	-550,2
20	-301,3	-367,2	-433,1	-498,9	-564,8
21	-309,0	-376,0	-443,0	-510,0	-577,1
22	-312,5	-380,9	-449,3	-517,7	-586,1
23	-313,7	-383,4	-453,1	-522,8	-592,4
24	-314,6	-385,1	-455,5	-526,0	-596,5
ΣQ [Kjoule/day]	4142,7	10704,5	17266,4	23828,2	30390,1

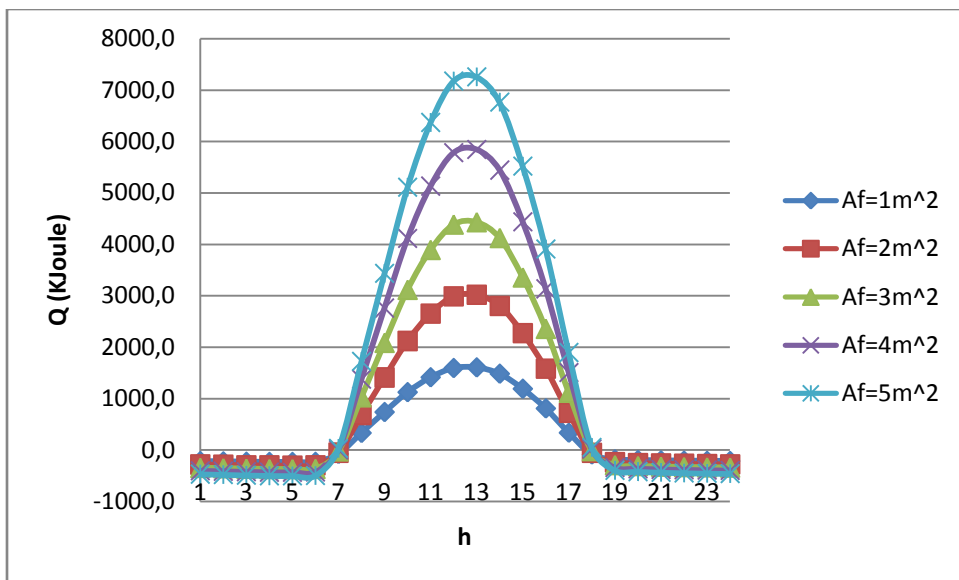
Τα αντίστοιχα διαγράμματα είναι:



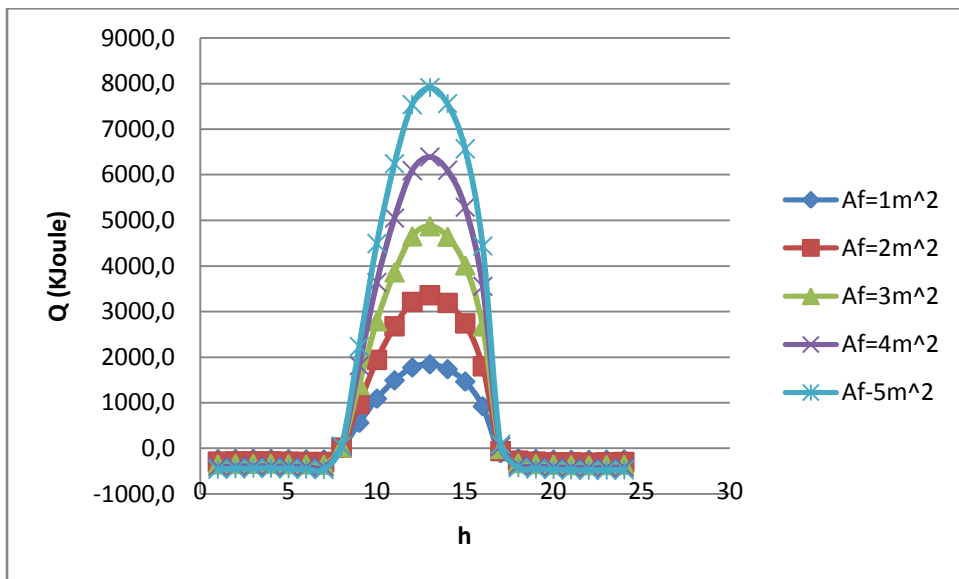
Διάγραμμα 10.5.1: Συνολικό φορτίο τοίχου, για κάθε ώρα κατά την 21η ημέρα Ιανουαρίου για διάφορα A_f , στην περιοχή της Αθήνας.



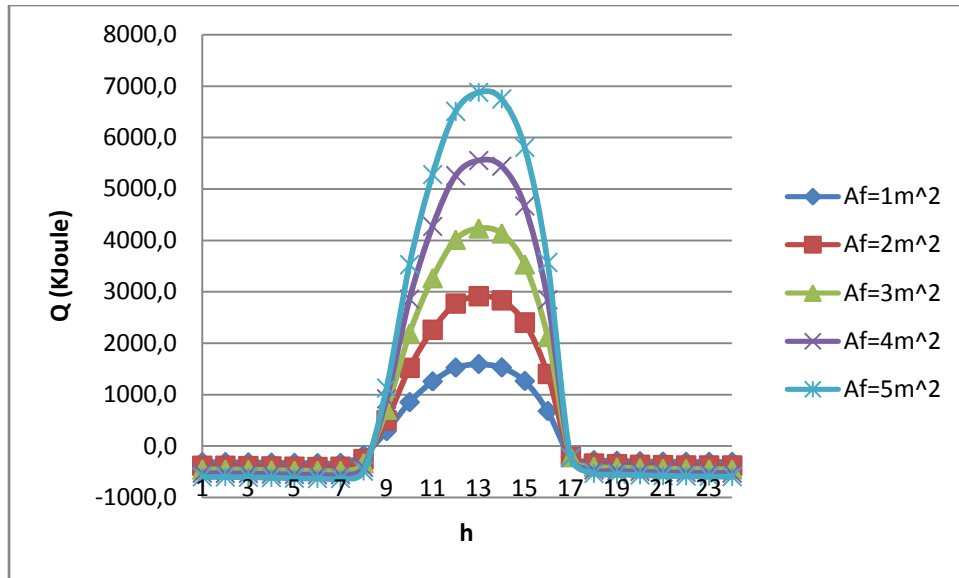
Διάγραμμα 10.5.2: Συνολικό φορτίο τοίχου, για κάθε ώρα κατά την 21η ημέρα Φεβρουαρίου για διάφορα A_f , στην περιοχή της Αθήνας.



Διάγραμμα 10.5.3: Συνολικό φορτίο τοίχου, για κάθε ώρα κατά την 21η ημέρα Μαρτίου για διάφορα A_f , στην περιοχή της Αθήνας.



Διάγραμμα 10.5.4: Συνολικό φορτίο τοίχου, για κάθε ώρα κατά την 21η ημέρα Νοεμβρίου για διάφορα A_f , στην περιοχή της Αθήνας.



Διάγραμμα 10.5.5: Συνολικό φορτίο τοίχου, για κάθε ώρα κατά την 21η ημέρα Δεκεμβρίου για διάφορα Af, στην περιοχή της Αθήνας.

Παρατηρούμε ότι,

- Το συνολικό φορτίο τοίχου προκύπτει θετικό από τις 09:00 έως τις 16:00 για τους μήνες, Ιανουάριο, Δεκέμβριο, από τις 08:00 έως τις 16:00 τον Νοέμβριο και από τις 08:00 έως τις 17:00 τον Φεβρουάριο και Μάρτιο, που σημαίνει ότι έχουμε κέρδος για το τοίχο. Τις υπόλοιπες ώρες προκύπτει αρνητικό, συνεπώς έχουμε απώλειες για το τοίχο.
- Εφόσον ο τοίχος που εξετάζουμε είναι νότιου προσανατολισμού και επιπλέον δεν εξετάζουμε ολόκληρο το κέλυφος αλλά μόνο τον εξωτερικό τοίχο, είναι λογικό το ημερήσιο συνολικό φορτίο κελύφους να προκύπτει αρκετά θετικό.

Θα πρέπει να σημειώσουμε πως 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 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 τοίχου μέχρι την είσοδο της στο εσωτερικό του 'δωματίου'. Αυτό στην πραγματικότητα δε συμβαίνει, ωστόσο θεωρείται δεδομένο ότι το σφάλμα μας μειώνεται εφόσον αυτές υπολογίζονται για ολόκληρο το 24ωρο .

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 11: Εύρεση ψευδοαδιαβατικού τοίχου

11.1 Εισαγωγή στο ψευδοαδιαβατικό τοίχο

Ο όρος «ψευδοαδιαβατικός τοίχος» μας περιγράφει το τοίχο που συμπεριφέρεται αδιαβατικά, δηλαδή το τοίχο του οποίου το άθροισμα θετικών και αρνητικών φορτίων ισούται με μηδέν. Τα χαρακτηριστικά του τοίχου που καθορίζουν κατά κύριο λόγο τη τιμή αυτού του αθροίσματος είναι τα χαρακτηριστικά της μόνωσης (d_{ins}, k_{ins}) και των υαλοπινάκων (U_f, A_f). Αυτό συμβαίνει για τους εξής δύο λόγους:

- Η μόνωση και οι υαλοπίνακες παρουσιάζουν τη μεγαλύτερη και τη μικρότερη θερμική αντίσταση αντίστοιχα.
- 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 τους χειμερινούς μήνες 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.

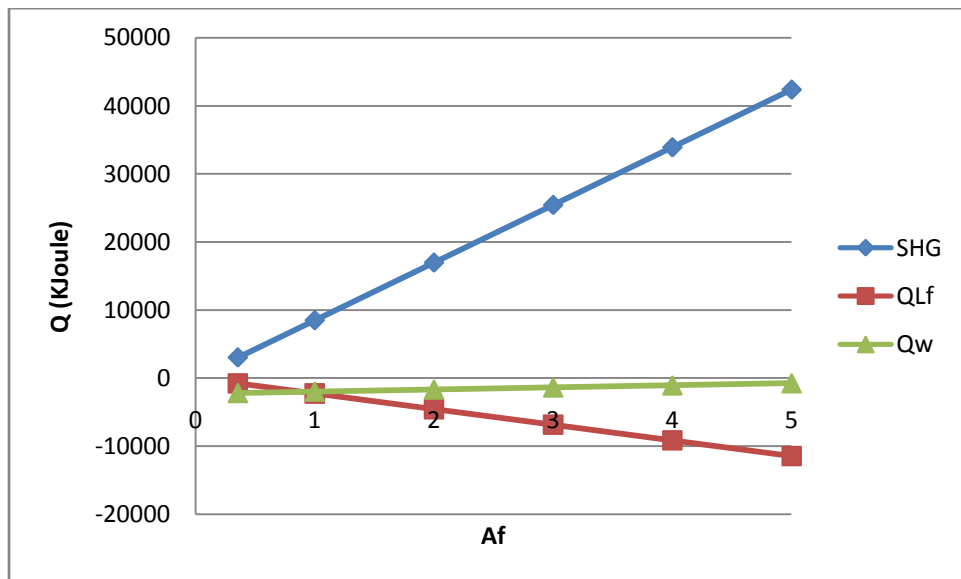
Στο παρόν κεφάλαιο αναζητούνται οι τιμές των χαρακτηριστικών της μόνωσης και των υαλοπινάκων που καθιστούν το κέλυφος του κτιρίου αναφοράς ψευδοαδιαβατικό για τους μήνες θέρμανσης δηλαδή Νοέμβριο, Δεκέμβριο, Ιανουάριο, Φεβρουάριο και Μάρτιο.

Τα φορτία που λαμβάνουμε υπόψιν μας για την εύρεση του ψευδοαδιαβατικού τοίχου είναι τα εξής,

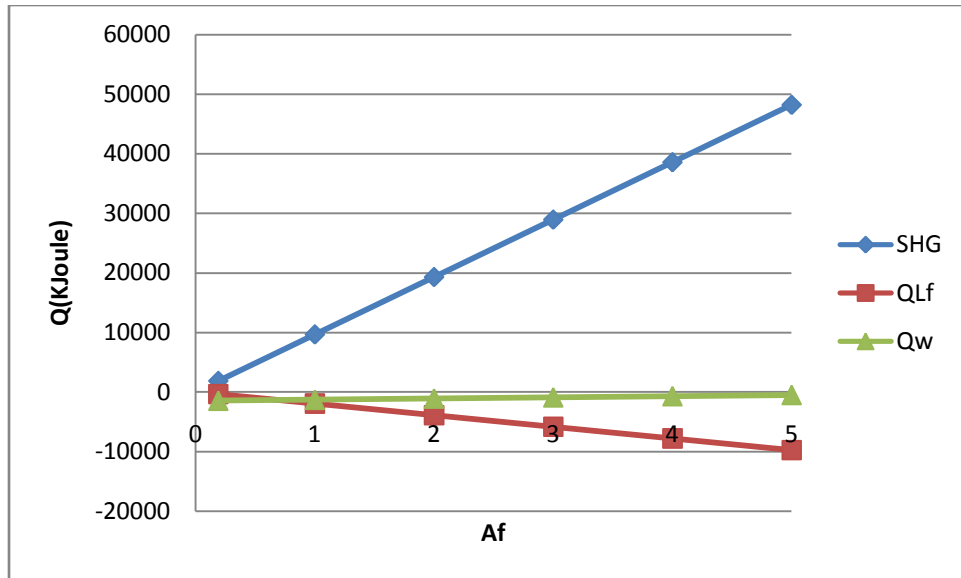
- ηλιακό θερμικό κέρδος υαλοπινάκων SHG ,
- φορτίο λόγω αγωγής θερμότητας διαμέσου υαλοπινάκων Q_{Lf} ,
- φορτίο τοίχων Q_w

Για να κατανοήσουμε τον όρο ψευδοαδιαβατικό κέλυφος παρουσιάζονται ακολούθως διαγράμματα στα οποία απεικονίζονται το ημερήσιο ηλιακό θερμικό κέρδος μέσω των υαλοπινάκων SHG, το ημερήσιο φορτίο λόγω αγωγής θερμότητας διαμέσου των υαλοπινάκων Q_{Lf} καθώς επίσης και το φορτίο τοίχων Q_w για όλους τους μήνες που εξετάζουμε. Για την διαγραμματική απεικόνιση χρησιμοποιήσαμε τα δεδομένα του τοίχου αναφοράς, δηλαδή εξωτερικός τοίχος νοτίου προσανατολισμού με χαρακτηριστικά μόνωσης $d_{ins}=0.04m$, $k_{ins}=0.051W/Mk$ και χαρακτηριστικά υαλοπίνακα $U_f=2.5W/m^2K$ για διάφορες επιφάνειες παραθύρου A_f .

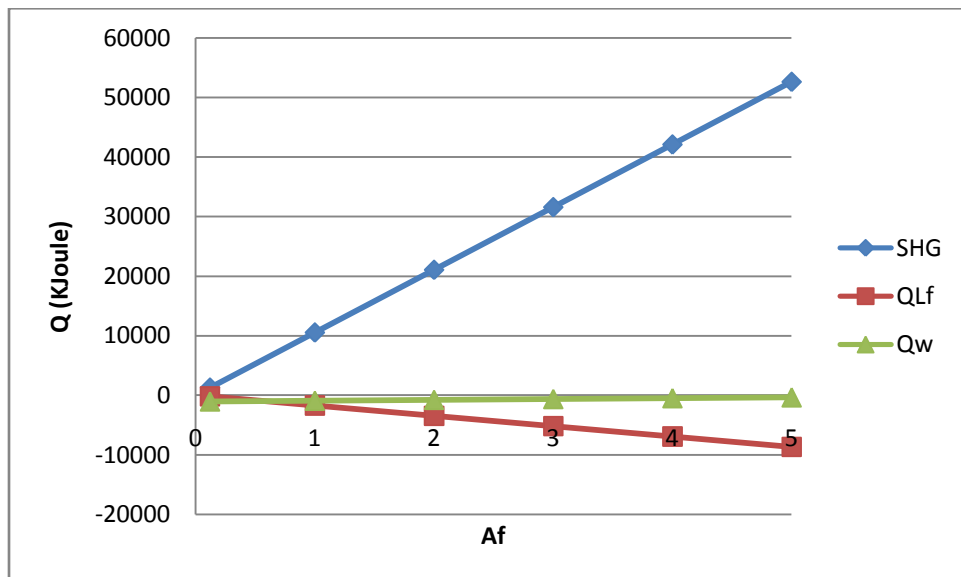
Τα διαγράμματα είναι τα εξής:



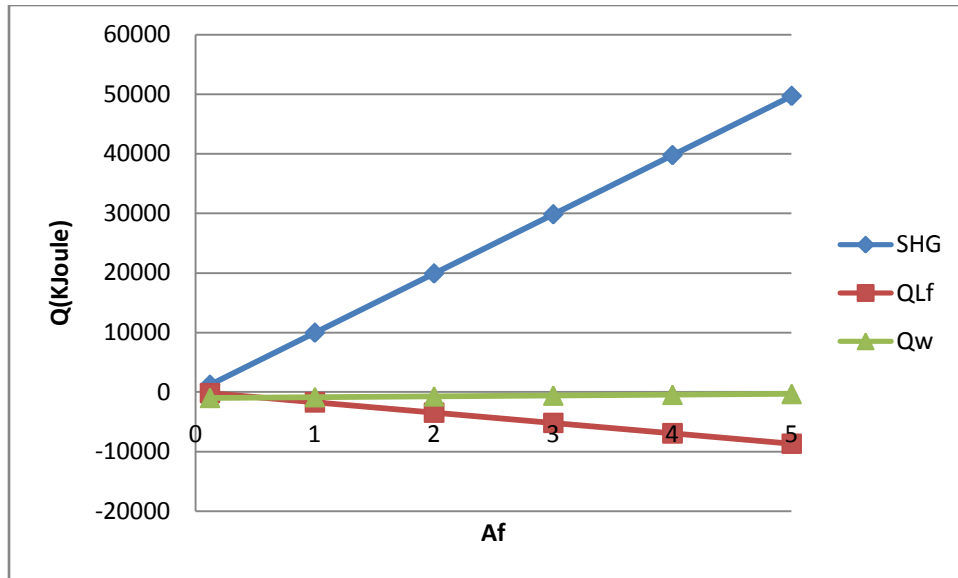
Διάγραμμα 11.1.1: Προβλεπόμενο ημερήσιο θερμικό ηλιακό κέρδος ,ημερήσιο φορτίο λόγω αγωγής διαμέσου υαλοπινάκων και ημερήσιο φορτίο τοίχων,για το τοίχο αναφοράς με $k_{ins}=0.051 W/mK$ και $d_{ins}=0.04m$ και $U_f=2.5W/m^2K$, για την 21^η Ιανουαρίου.



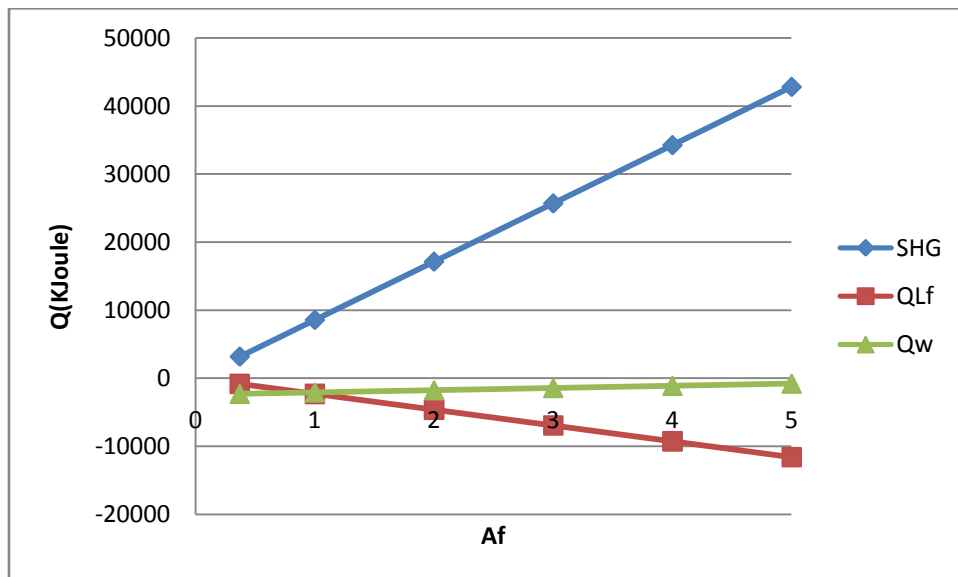
Διάγραμμα 11.1.2: Προβλεπόμενο ημερήσιο θερμικό ηλιακό κέρδος ,ημερήσιο φορτίο λόγω αγωγής διαμέσου υαλοπινάκων και ημερήσιο φορτίο τοίχων,για το τοίχο αναφοράς με $k_{ins}=0.051 \text{ W/mK}$ και $d_{ins}=0.04\text{m}$ και $U_f=2.5\text{W/m}^2\text{K}$, για την 21^η Φεβρουαρίου.



Διάγραμμα 11.1.3: Προβλεπόμενο ημερήσιο θερμικό ηλιακό κέρδος ,ημερήσιο φορτίο λόγω αγωγής διαμέσου υαλοπινάκων και ημερήσιο φορτίο τοίχων,για το τοίχο αναφοράς με $k_{ins}=0.051 \text{ W/mK}$ και $d_{ins}=0.04\text{m}$ και $U_f=2.5\text{W/m}^2\text{K}$, για την 21^η Μαρτίου.



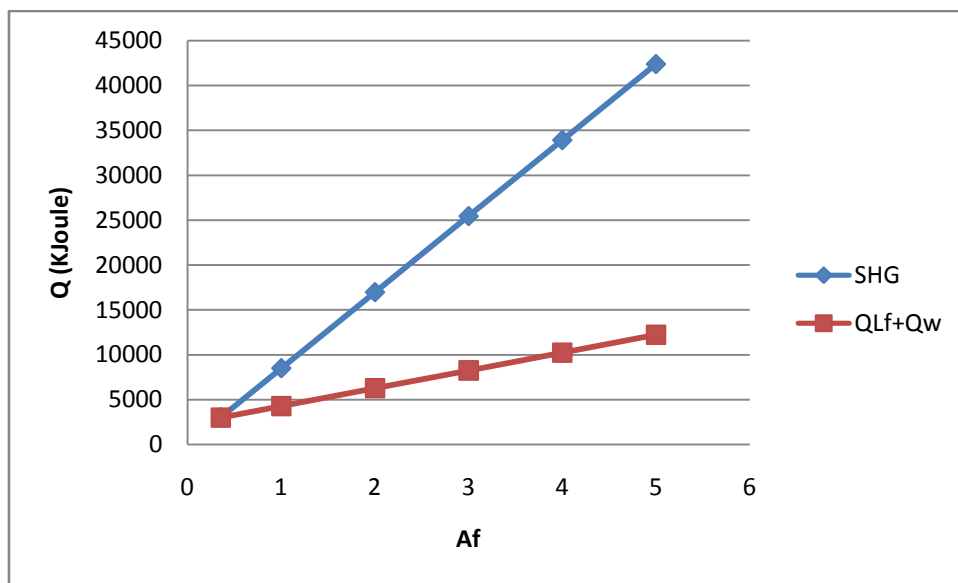
Διάγραμμα 11.1.4: Προβλεπόμενο ημερήσιο θερμικό ηλιακό κέρδος ,ημερήσιο φορτίο λόγω αγωγής διαμέσου υαλοπινάκων και ημερήσιο φορτίο τοίχων,για το τοίχο αναφοράς με $k_{ins}=0.051 \text{ W/mK}$ και $d_{ins}=0.04\text{m}$ και $U_f=2.5\text{W/m}^2\text{K}$, για την 21^η Νοεμβρίου.



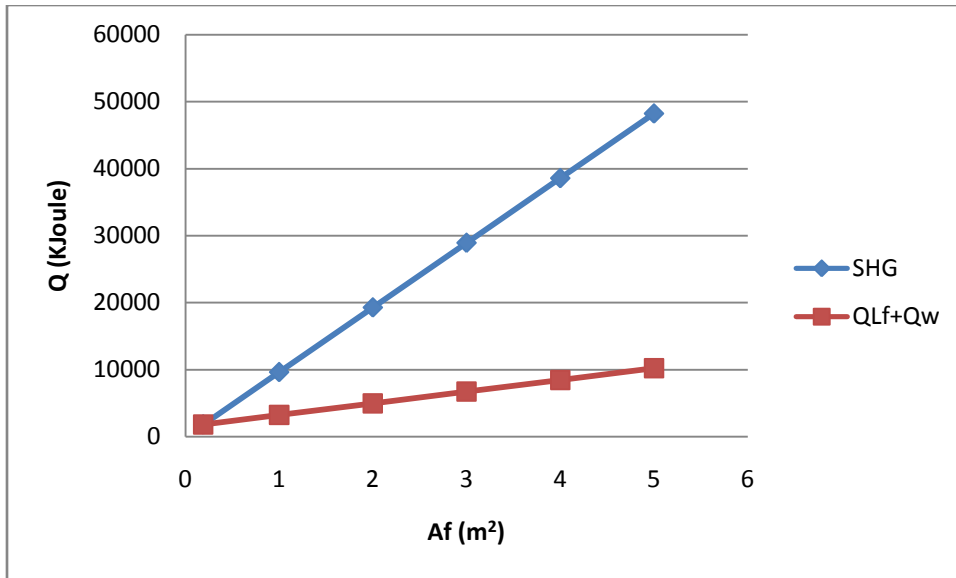
Διάγραμμα 11.1.5: Προβλεπόμενο ημερήσιο θερμικό ηλιακό κέρδος ,ημερήσιο φορτίο λόγω αγωγής διαμέσου υαλοπινάκων και ημερήσιο φορτίο τοίχων,για το τοίχο αναφοράς με $k_{ins}=0.051 \text{ W/mK}$ και $d_{ins}=0.04\text{m}$ και $U_f=2.5\text{W/m}^2\text{K}$, για την 21^η Δεκεμβρίου

Το φορτίο που διέρχεται μέσω του εξωτερικού τοίχου μπορεί συγκεκριμένες ώρες κατά τη διάρκεια της ημέρας να προκύπτει θετικό αλλά, όπως αναφέρθηκε και στο προηγούμενο κεφάλαιο, το ημερήσιο φορτίο προκύπτει αρνητικό άρα αποτελεί απώλεια για το κέλυφος που εξετάζουμε. Επομένως, μπορούμε να το προσθέσουμε στις ημερήσιες απώλειες δι'αγωγής των υαλοπινάκων και να τα παρουσιάσουμε διαγραμματικά ώστε η τομή τους με το ηλιακό θερμικό κέρδος των υαλοπινάκων να μας δίνει το ψευδοαδιαβατικό τοίχο.

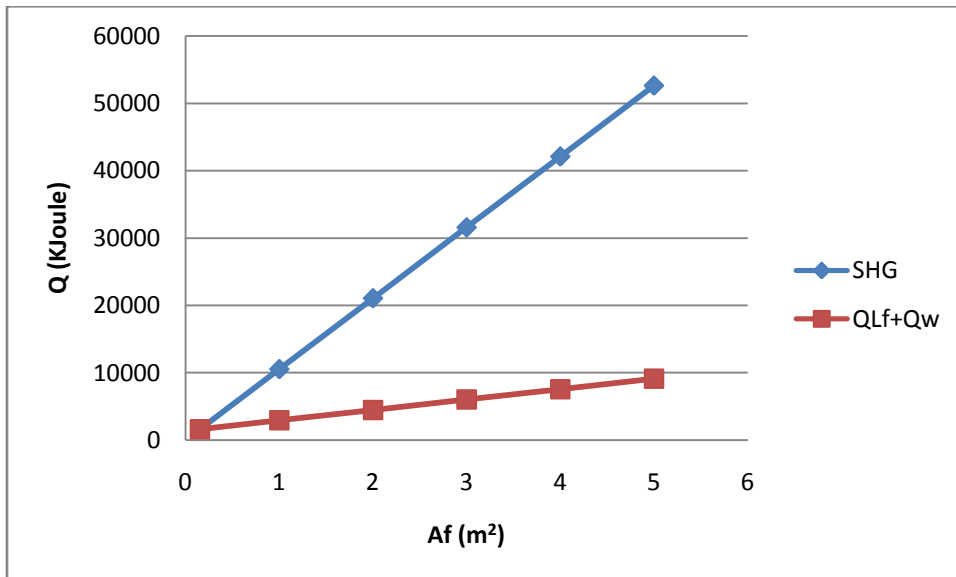
Έτσι τα διαγράμματα έχουν ως εξής,



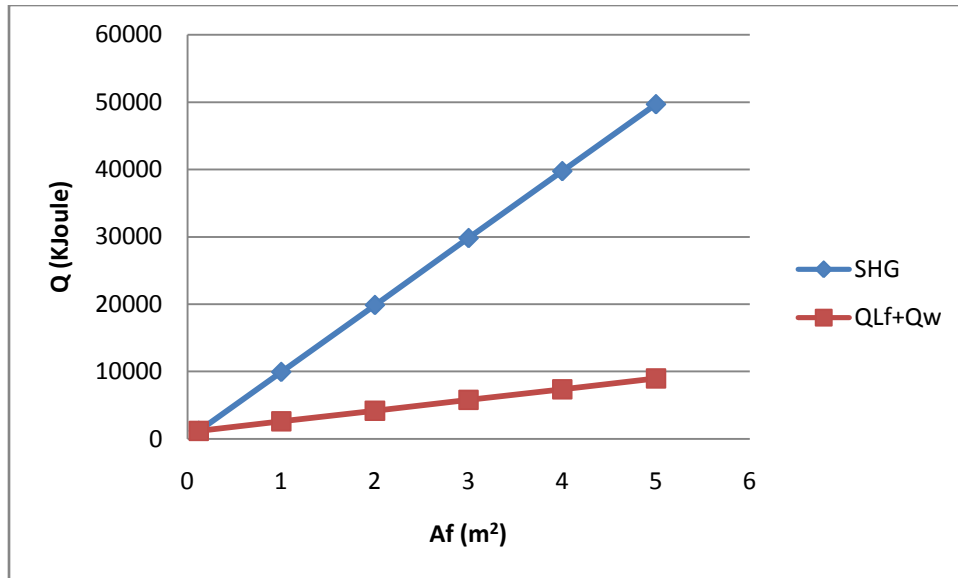
Διάγραμμα 11.1.6: Προβλεπόμενο ημερήσιο θερμικό ηλιακό κέρδος και ημερήσιες απώλειες από τους υαλοπίνακες και τους τοίχους, για το τοίχο αναφοράς με $k_{ins}=0.051$ W/mK και $d_{ins}=0.04$ m και $U_f=2.5$ W/m²K, για την 21^η Ιανουαρίου.



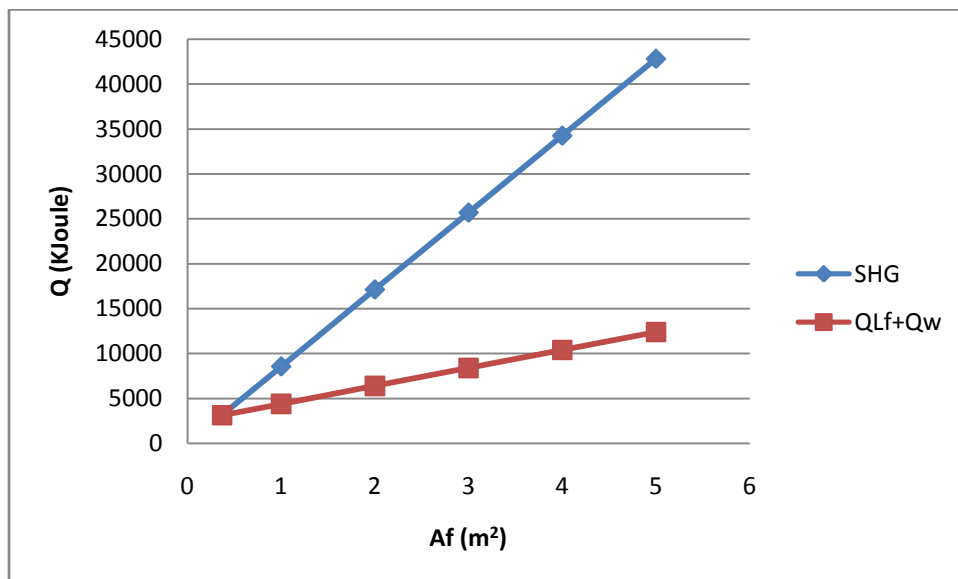
Διάγραμμα 11.1.7: Προβλεπόμενο ημερήσιο θερμικό ηλιακό κέρδος και ημερήσιες απώλειες από τους υαλοπίνακες και τους τοίχους, για το τοίχο αναφοράς με $k_{ins}=0.051$ W/mK και $d_{ins}=0.04$ m και $U_f=2.5$ W/m²K, για την 21^η Φεβρουαρίου.



Διάγραμμα 11.1.8: Προβλεπόμενο ημερήσιο θερμικό ηλιακό κέρδος και ημερήσιες απώλειες από τους υαλοπίνακες και τους τοίχους, για το τοίχο αναφοράς με $k_{ins}=0.051$ W/mK και $d_{ins}=0.04$ m και $U_f=2.5$ W/m²K, για την 21^η Μαρτίου.

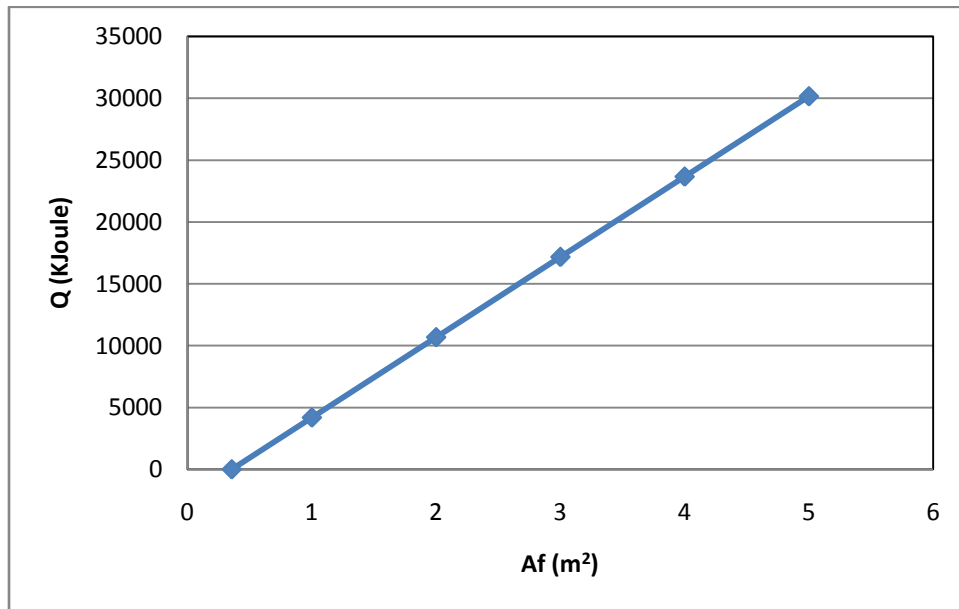


Διάγραμμα 11.1.9: Προβλεπόμενο ημερήσιο θερμικό ηλιακό κέρδος και ημερήσιες απώλειες από τους υαλοπίνακες και τους τοίχους, για το τοίχο αναφοράς με $k_{ins}=0.051$ W/mK και $d_{ins}=0.04$ m και $U_f=2.5$ W/m²K, για την 21^η Νοεμβρίου.

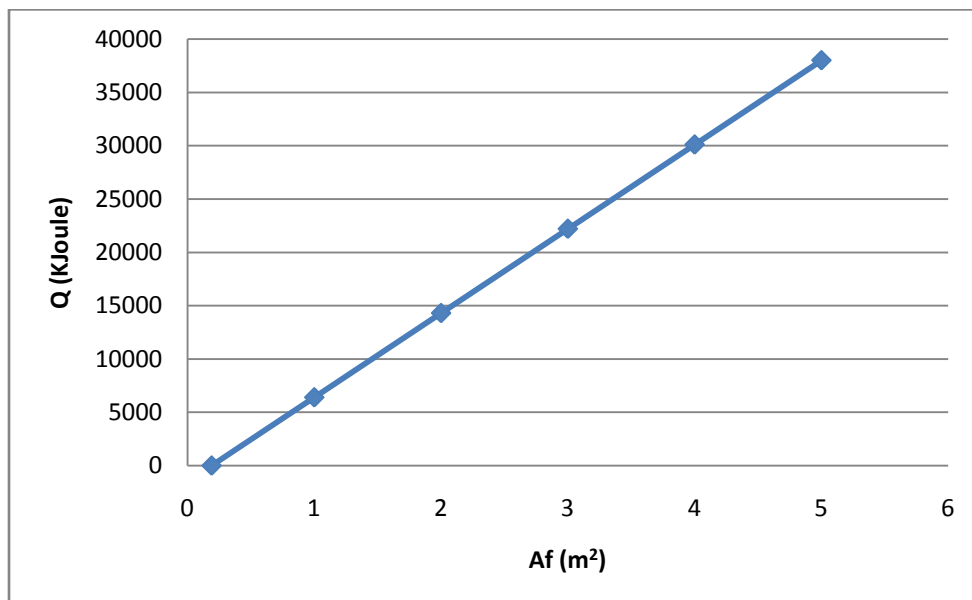


Διάγραμμα 11.1.10: Προβλεπόμενο ημερήσιο θερμικό ηλιακό κέρδος και ημερήσιες απώλειες από τους υαλοπίνακες και τους τοίχους, για το τοίχο αναφοράς με $k_{ins}=0.051$ W/mK και $d_{ins}=0.04$ m και $U_f=2.5$ W/m²K, για την 21^η Δεκεμβρίου

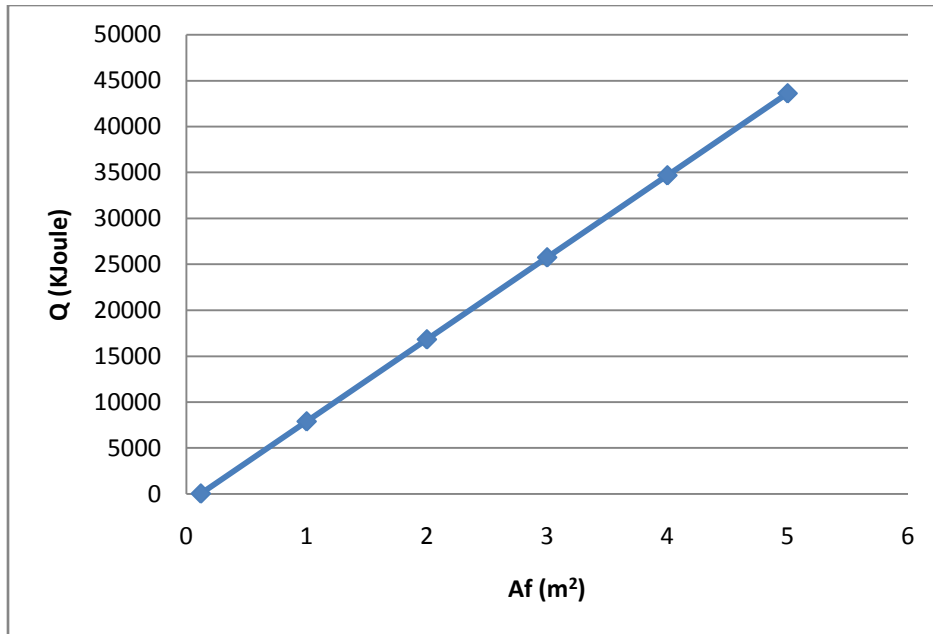
Το συνολικό ημερήσιο φορτίο του τοίχου για τους χειμερινούς μήνες που εξετάζουμε και για διάφορες επιφάνειες παραθύρου A_f απεικονίζεται διαγραμματικά ως εξής,



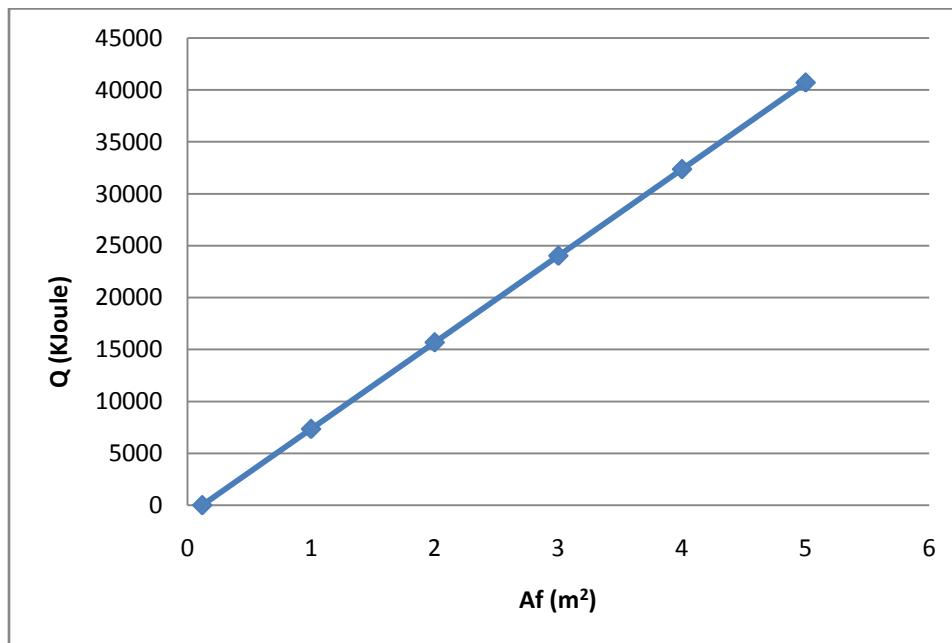
Διάγραμμα 11.1.11: Συνολικό ημερήσιο φορτίο, για το τοίχο αναφοράς με $k_{ins}=0.051$ W/mK και $d_{ins}=0.04$ m και $U_f=2.5$ W/ m^2 K, για την 21^η Ιανουαρίου.



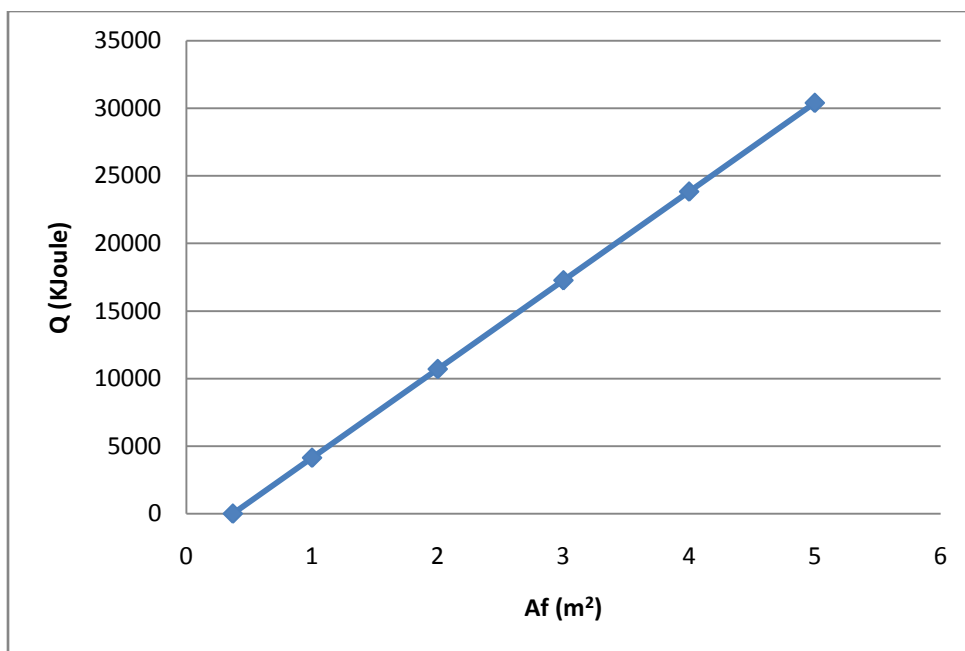
Διάγραμμα 11.1.12: Συνολικό ημερήσιο φορτίο, για το τοίχο αναφοράς με $k_{ins}=0.051$ W/mK και $d_{ins}=0.04$ m και $U_f=2.5$ W/ m^2 K, για την 21^η Φεβρουαρίου.



Διάγραμμα 11.1.13: Συνολικό ημερήσιο φορτίο, για το τοίχο αναφοράς με $k_{ins}=0.051$ W/mK και $d_{ins}=0.04$ m και $U_f=2.5$ W/m²K, για την 21^η Μαρτίου.



Διάγραμμα 11.1.14: Συνολικό ημερήσιο φορτίο, για το τοίχο αναφοράς με $k_{ins}=0.051$ W/mK και $d_{ins}=0.04$ m και $U_f=2.5$ W/m²K, για την 21^η Νοεμβρίου.



Διάγραμμα 11.1.15: Συνολικό ημερήσιο φορτίο, για το τοίχο αναφοράς με $k_{ins}=0.051$ W/mK και $d_{ins}=0.04$ m και $U_f=2.5$ W/m²K, για την 21^η Δεκεμβρίου

Παρατηρούμε ότι,

- Για το μήνα Ιανουάριο με $k_{ins}=0.051$ W/m, $d_{ins}=0.04$ m και $U_f=2.5$ W/m²K παρατηρείται ψευδοαδιαβατικός τοίχος με επιφάνεια $A_f=0,355$ m².
- Για το μήνα Φεβρουάριο με $k_{ins}=0.051$ W/m, $d_{ins}=0.04$ m και $U_f=2.5$ W/m²K παρατηρείται ψευδοαδιαβατικός τοίχος με επιφάνεια $A_f=0,19$ m².
- Για το μήνα Μάρτιο με $k_{ins}=0.051$ W/m, $d_{ins}=0.04$ m και $U_f=2.5$ W/m²K παρατηρείται ψευδοαδιαβατικός τοίχος με επιφάνεια $A_f=0,153$ m².
- Για το μήνα Νοέμβριο με $k_{ins}=0.051$ W/m, $d_{ins}=0.04$ m και $U_f=2.5$ W/m²K παρατηρείται ψευδοαδιαβατικός τοίχος με επιφάνεια $A_f=0,12$ m².
- Για το μήνα Δεκέμβριο με $k_{ins}=0.051$ W/m, $d_{ins}=0.04$ m και $U_f=2.5$ W/m²K παρατηρείται ψευδοαδιαβατικός τοίχος με επιφάνεια $A_f=0,37$ m².
- Να σημειώσουμε ακόμη ότι τους μήνες Ιανουάριο και 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.

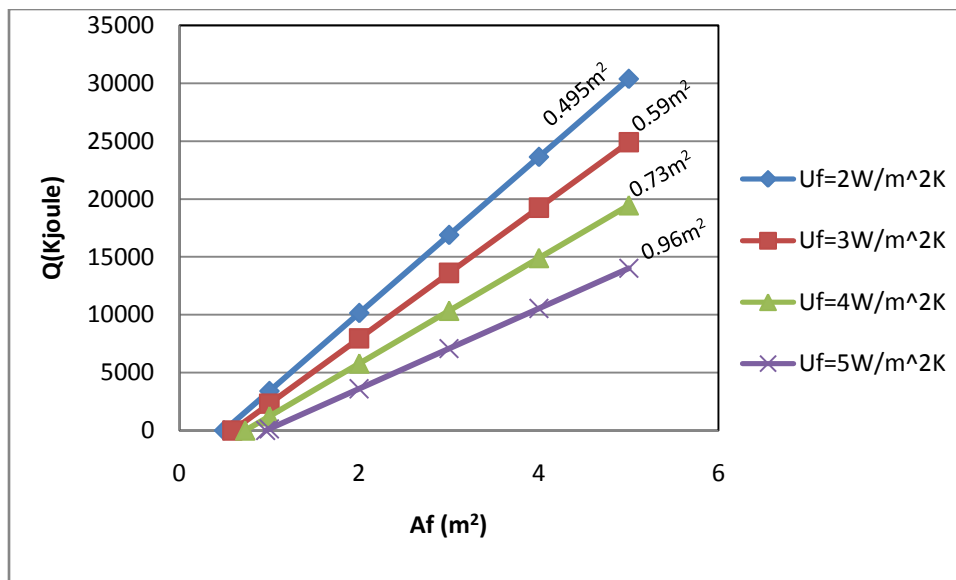
11.2 Εύρεση ψευδοαδιαβατικού τοίχου για σταθερές τιμές των d_{ins} , k_{ins} .

Στην ενότητα αυτή, καθώς και σε αυτήν που ακολουθεί, έχει γίνει προσπάθεια ανάλυσης της θερμικής συμπεριφοράς του τοίχου αναφοράς για όλους τους μήνες που εξετάζουμε, μέσω διαγραμμάτων που μας δείχνουν τη μεταβολή του ημερήσιου συνολικού φορτίου βάσει των μεταβολών των χαρακτηριστικών του κελύφους αλλά κυρίως το συνδυασμό με τον οποίο πετυχαίνουμε ψευδοαδιαβατικό τοίχο.

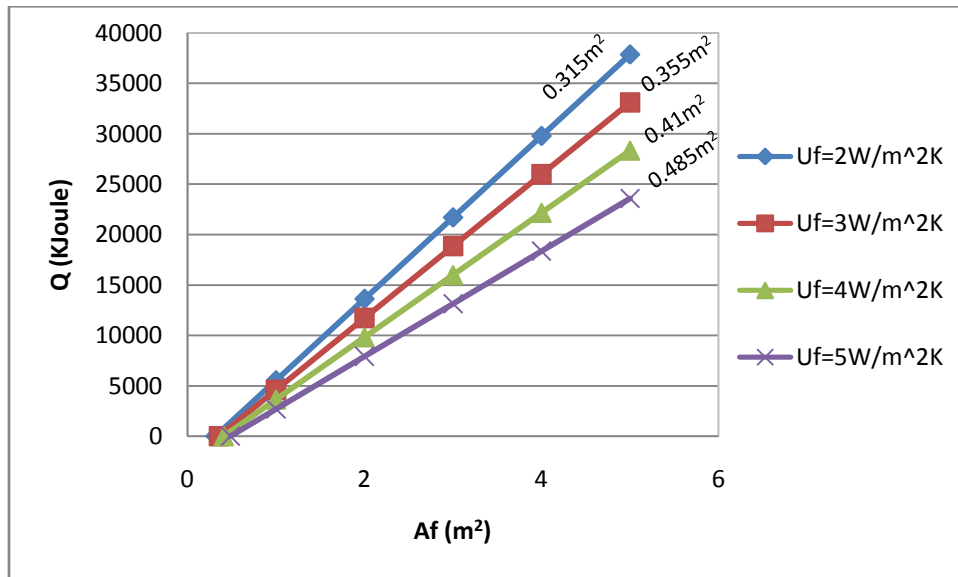
Τα διαγράμματα έγιναν κρατώντας σταθερές τις τιμές των χαρακτηριστικών της μόνωσης d_{ins} και k_{ins} και μεταβάλλοντας τους άλλους δύο σημαντικούς συντελεστές, δηλαδή την επιφάνεια του παραθύρου A_f και τον συντελεστή θερμοπερατότητας του παραθύρου U_f .

Για την παρουσίαση καλύτερων αποτελεσμάτων τους μήνες Φεβρουάριο, Μάρτιο και Νοέμβριο που εμφανίζουν το μεγαλύτερο θερμικό κέρδος και τις μικρότερες απώλειες, δηλαδή την επίτευξη ψευδοαδιαβατικού τοίχου με επιφάνεια παραθύρου στα κανονικά πλαίσια (π.χ περίπου μεγαλύτερη των $0,30m^2$), χρειάστηκε να αυξήσουμε τις απώλειες αυξάνοντας την θερμοκρασία του δωματίου T_i στους $22^\circ C$.

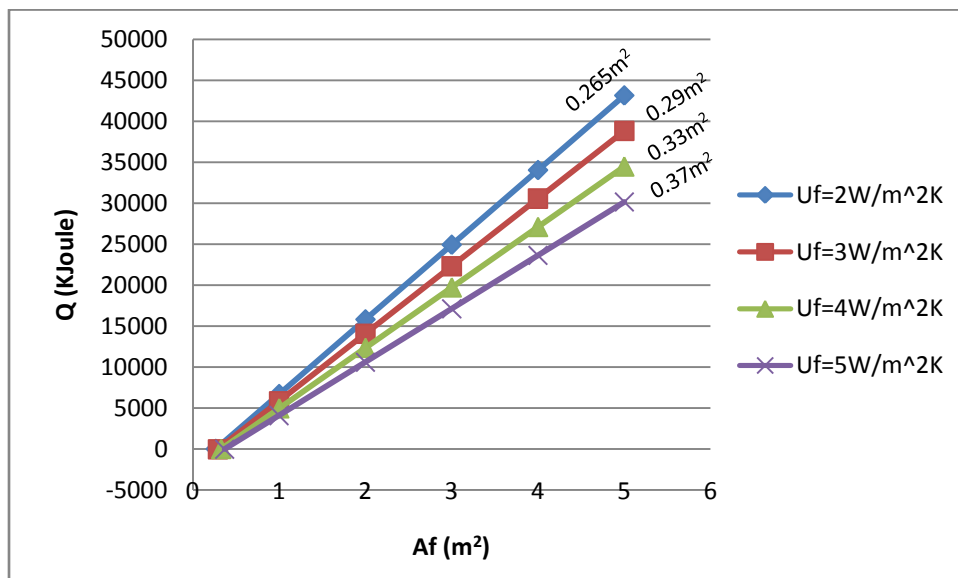
Σε κάθε διάγραμμα αλλά και σε κάθε καμπύλη αναγράφεται ξεχωριστά η απαιτούμενη επιφάνεια υαλοπινάκων για την επίτευξη ψευδοαδιαβατικού τοίχου, γιατί καθίσταται δύσκολη η ανάγνωση της από το διάγραμμα, καθώς οι διαφορές στα τετραγωνικά που απαιτούνται είναι σχετικά μικρές.



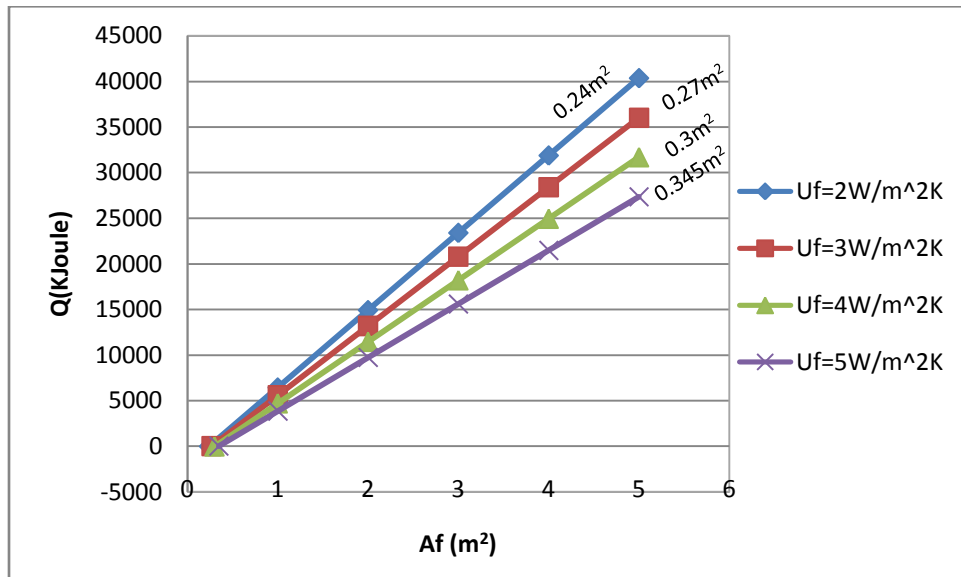
Διάγραμμα 11.2.1 Συνολικό ημερήσιο φορτίο για τον τοίχο αναφοράς με $k_{ins}=0.051$ W/mK και $d_{ins}=0.04$ m και διάφορες τιμές των U_f και A_f για την 21^η Ιανουαρίου. ($T_i=22^\circ C$)



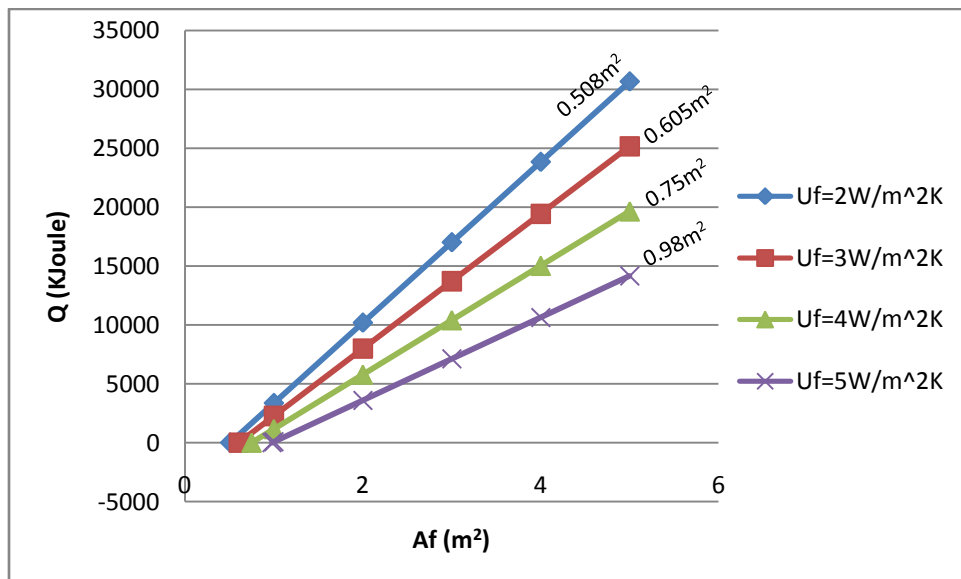
Διάγραμμα 11.2.2 Συνολικό ημερήσιο φορτίο για τον τοίχο αναφοράς με $k_{ins}=0.051$ W/mK και $d_{ins}=0.04$ m και διάφορες τιμές των U_f και A_f για την 21^η Φεβρουαρίου. ($T_i=22^\circ\text{C}$)



Διάγραμμα 11.2.3 Συνολικό ημερήσιο φορτίο για τον τοίχο αναφοράς με $k_{ins}=0.051$ W/mK και $d_{ins}=0.04$ m και διάφορες τιμές των U_f και A_f για την 21^η Μαρτίου. ($T_i=22^\circ\text{C}$)



Διάγραμμα 11.2.4 Συνολικό ημερήσιο φορτίο για τον τοίχο αναφοράς με $k_{ins}=0.051$ W/mK και $d_{ins}=0.04$ m και διάφορες τιμές των U_f και A_f για την 21^η Νοεμβρίου. ($T_i=22^\circ\text{C}$)



Διάγραμμα 11.2.5 Συνολικό ημερήσιο φορτίο για τον τοίχο αναφοράς με $k_{ins}=0.051$ W/mK και $d_{ins}=0.04$ m και διάφορες τιμές των U_f και A_f για την 21^η Δεκεμβρίου. ($T_i=22^\circ\text{C}$)

Παρατηρούμε 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 χαρακτηριστικά της μόνωσης d_{ins} και k_{ins} , αυξάνονται οι απώλειες υαλοπινάκων δι' αγωγής με αποτέλεσμα να απαιτείται μεγαλύτερη τιμή θερμικού ηλιακού κέρδους για την επίτευξη ψευδοαδιαβατικού τοίχου και συνεπώς μεγαλύτερη επιφάνεια υαλοπινάκων στην επιφάνεια του.
- Τους μήνες Ιανουάριο και Δεκέμβριο, όπου η ημερήσια απώλεια θερμότητας δι' αγωγής είναι αυξημένη και το θερμικό ηλιακό κέρδος χαμηλό απαιτείται μεγαλύτερη επιφάνεια 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.

11.3 Εύρεση ψευδοαδιαβατικού τοίχου για σταθερές τιμές των U_f , k_{ins} .

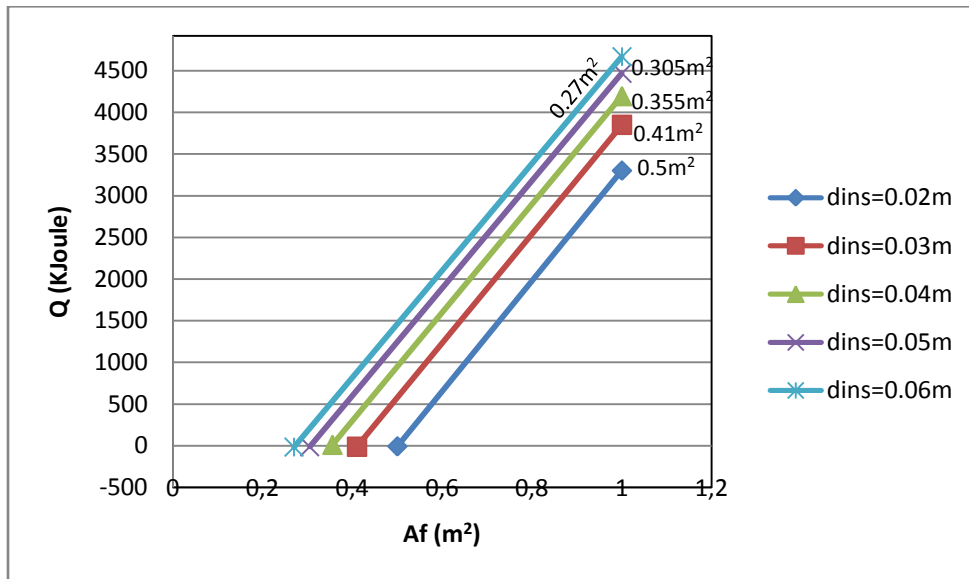
Στην ενότητα αυτή παρουσιάζονται τα διαγράμματα που μας δείχνουν τη μεταβολή του ημερήσιου συνολικού φορτίου κρατώντας σταθερές τις τιμές του συντελεστή θερμοπερατότητας των υαλοπινάκων U_f και της ειδικής θερμικής αγωγιμότητας k_{ins} και μεταβάλλοντας τους άλλους δύο συντελεστές, δηλαδή την επιφάνεια του παραθύρου A_f και το πάχος της μόνωσης d_{ins} . Επίσης παρουσιάζεται και ο συνδυασμός με τον οποίο πετυχαίνουμε ψευδοαδιαβατικό τοίχο.

Για το μήνα Ιανουάριο λήφθηκαν οι εξής περιπτώσεις για το πάχος της μόνωσης:

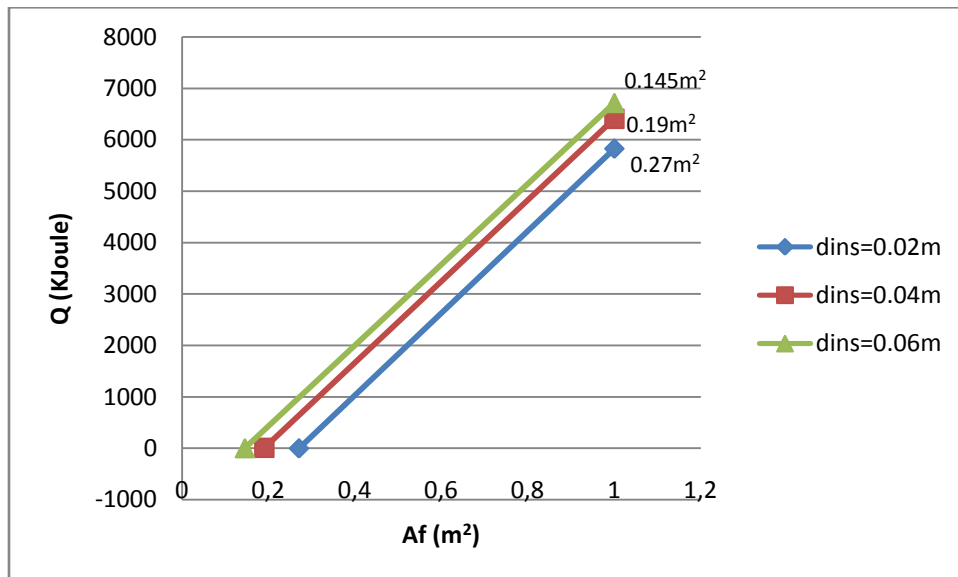
$d_{ins} = 0.02, 0.03, 0.04, 0.05, 0.06 \text{ m}$.

Επειδή όμως στα αποτελέσματα εμφανίστηκε μικρή διαφορά (της τάξεως των 0,05-0,1m) στην επιφάνεια των υαλοπινάκων A_f που απαιτείται για την επίτευξη ψευδοαδιαβατικού τοίχου, για τους υπόλοιπους μήνες που εξετάζουμε έγιναν οι υπολογισμοί για 3 διαφορετικά πάχη μόνωσης. Δηλαδή για $d_{ins} = 0.02, 0.04, 0.06 \text{ m}$.

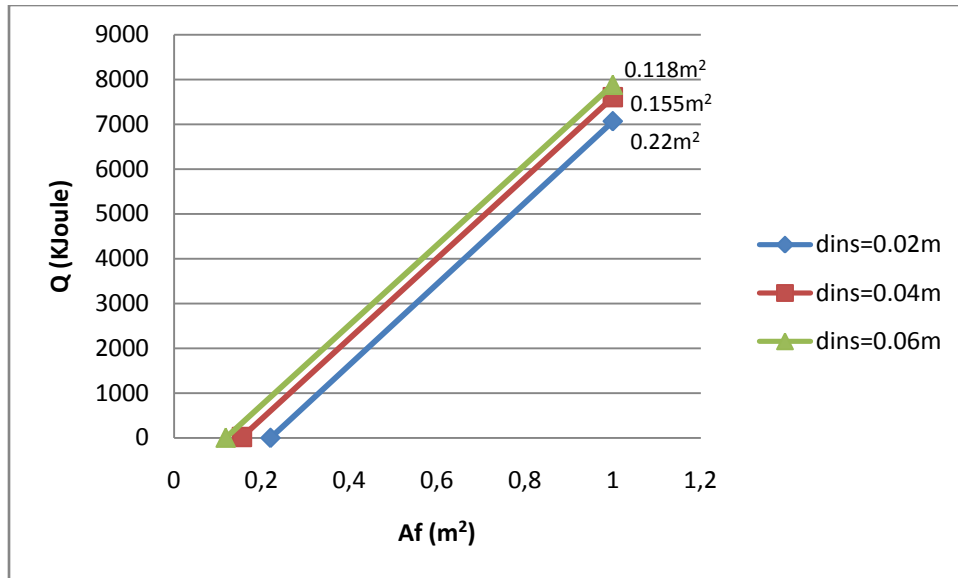
Έτσι τα διαγράμματα είναι:



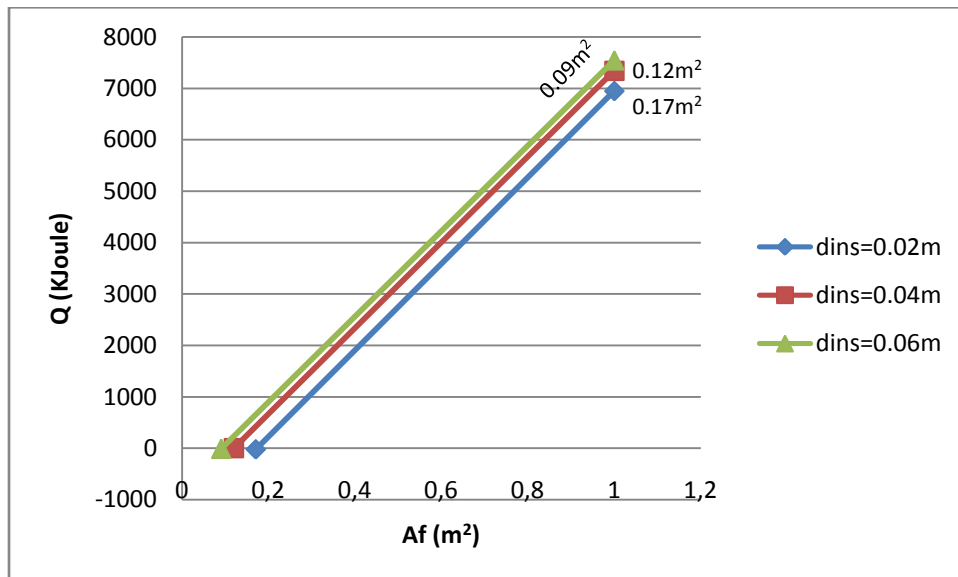
Διάγραμμα 11.3.1 Συνολικό ημερήσιο φορτίο για τον τοίχο αναφοράς με $k_{ins}=0.051$ W/mK και $U_f=2.5W/m^2K$ και διάφορες τιμές των d_{ins} και A_f για την 21^η Ιανουαρίου. ($T_i=20^\circ C$)



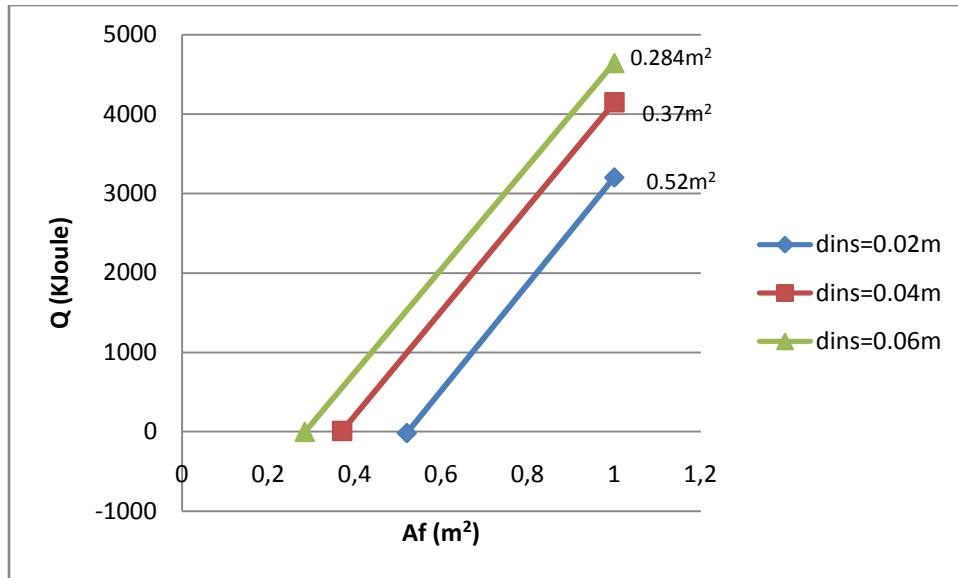
Διάγραμμα 11.3.2 Συνολικό ημερήσιο φορτίο για τον τοίχο αναφοράς με $k_{ins}=0.051$ W/mK και $U_f=2.5W/m^2K$ και διάφορες τιμές των d_{ins} και A_f για την 21^η Φεβρουαρίου. ($T_i=20^\circ C$)



Διάγραμμα 11.3.3 Συνολικό ημερήσιο φορτίο για τον τοίχο αναφοράς με $k_{ins}=0.051$ W/mK και $U_f=2.5$ W/m²K και διάφορες τιμές των d_{ins} και A_f για την 21^η Μαρτίου. ($T_i=20^\circ\text{C}$)



Διάγραμμα 11.3.4 Συνολικό ημερήσιο φορτίο για τον τοίχο αναφοράς με $k_{ins}=0.051$ W/mK και $U_f=2.5$ W/m²K και διάφορες τιμές των d_{ins} και A_f για την 21^η Νοεμβρίου. ($T_i=20^\circ\text{C}$)



Διάγραμμα 11.3.5 Συνολικό ημερήσιο φορτίο για τον τοίχο αναφοράς με $k_{ins}=0.051$ W/mK και $U_f=2.5$ W/m²K και διάφορες τιμές των d_{ins} και A_f για την 21^η Δεκεμβρίου. ($T_i=20^\circ\text{C}$)

Παρατηρούμε ότι,

- Όταν μειώνεται η αποδοτικότητα της μόνωσης (είτε λόγω αύξησης του k_{ins} είτε λόγω μείωσης του d_{ins} , στη συγκεκριμένη περίπτωση) απαιτείται αύξηση της επιφάνειας υαλοπινάκων A_f για την επίτευξη ψευδοαδιαβατικού τοίχου. Αυτό συμβαίνει καθώς η αύξηση του P_f επιτρέπει μεγαλύτερα ηλιακά θερμικά κέρδη τα οποία εξισορροπούν τις αυξημένες απώλειες δι'αγωγής που προκαλούνται λόγω της μειωμένης αποδοτικότητας της μόνωσης και τελικά επιτυγχάνεται αδιαβατική συμπεριφορά του τοίχου.
- Και σε αυτή την περίπτωση ισχύει ότι τους μήνες Ιανουάριο και Δεκέμβριο, όπου η ημερήσια απώλεια θερμότητας δι'αγωγής είναι αυξημένη και το θερμικό ηλιακό κέρδος χαμηλό. Έτσι, απαιτείται μεγαλύτερη επιφάνεια υαλοπινάκων για το ίδιο πάχος μόνωσης με τους μήνες Μάρτιο, Νοέμβριο και Φεβρουάριο που εμφανίζουν το μεγαλύτερο θερμικό κέρδος και τις μικρότερες απώλειες.
- Σε κάθε διάγραμμα αλλά και σε κάθε καμπύλη αναγράφεται, όπως και στην προηγούμενη ενότητα, ξεχωριστά η απαιτούμενη επιφάνεια υαλοπινάκων για την επίτευξη ψευδοαδιαβατικού τοίχου, γιατί καθίσταται δύσκολη η ανάγνωση της από το διάγραμμα, καθώς οι διαφορές στα τετραγωνικά που απαιτούνται είναι σχετικά μικρές.

11.4 Συνδυασμένη επίδραση των παραμέτρων μόνωσης και υαλοπινάκων στην προσέγγιση ψευδοαδιαβατικού τοίχου για την 21^η Ιανουαρίου.

Σκοπός του κεφαλαίου είναι η εκτίμηση των τιμών των παραμέτρων της μόνωσης και των υαλοπινάκων για τις οποίες μηδενίζεται το συνολικό φορτίο του τοίχου που εξετάζουμε, για την 21^η Ιανουαρίου. 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.

Στα διαγράμματα λοιπόν που ακολουθούν μελετώνται οι συνδυασμοί των παραμέτρων μόνωσης και υαλοπινάκων που καθιστούν το τοίχο που εξετάζουμε «ψευδοαδιαβατικό». Απεικονίζεται:

- ο συντελεστής θερμικής διαπερατότητας των υαλοπινάκων U_f συναρτήσει της επιφάνειας A_f (Με μεταβαλλόμενα τα χαρακτηριστικά της μόνωσης)
- η επιφάνεια υαλοπινάκων A_f συναρτήσει του πάχους της μόνωσης d_{ins} (Με μεταβαλλόμενο το συντελεστή θερμοπερατότητας και την ειδική θερμική αγωγιμότητα)
- ο συντελεστής θερμικής διαπερατότητας των υαλοπινάκων U_f συναρτήσει του πάχους της μόνωσης d_{ins} (Με μεταβαλλόμενη την ειδική θερμική αγωγιμότητα)
- η επιφάνεια υαλοπινάκων A_f συναρτήσει της ειδικής θερμικής αγωγιμότητας της μόνωσης k_{ins} (Με μεταβαλλόμενο το συντελεστή θερμοπερατότητας)

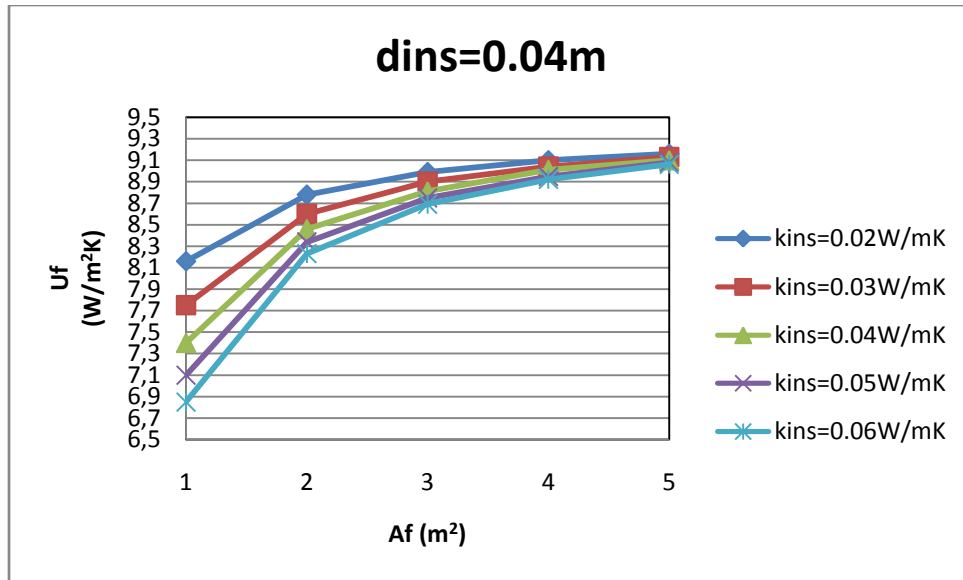
Το πάχος μόνωσης παίρνει τις τιμές $d_{ins}=0.02, 0.03, 0.04, 0.05, 0.06$ m και ο συντελεστής θερμικής αγωγιμότητας παίρνει τις τιμές $k_{ins}=0.02, 0.03, 0.04, 0.05$ W/m K. Ο συντελεστής θερμοπερατότητας παίρνει τις τιμές $U_f=2, 3, 4, 5$ W/m²K και η επιφάνεια των υαλοπινάκων $A_f=1, 2, 3, 4, 5$ m². Οι υπολογισμοί έγιναν για τους μήνες Ιανουάριο, Φεβρουάριο, Μάρτιο Νοέμβριο και Δεκέμβριο και τα κλιματολογικά δεδομένα ελήφθησαν για την περιοχή της Αθήνας. Η εσωτερική θερμοκρασία θεωρήθηκε σταθερή και ίση με 20 °C.

ΣΗΜΕΙΩΣΗ

Οι τιμές που προκύπτουν στα παρακάτω διαγράμματα μερικές φορές δεν συναντώνται στην πραγματικότητα. Αυτό εξηγείται από το γεγονός ότι ο τοίχος που εξετάζουμε είναι νότιου προσανατολισμού συνεπώς η εισερχόμενη θερμορροή είναι μεγάλη, λόγω του θερμικού ηλιακού κέρδους από τους υαλοπίνακες και τον τοίχο, και για να 'εξουδετερωθεί' χρειαζόμαστε μεγάλη εξερχόμενη θερμορροή, δηλαδή μεγάλες θερμικές απώλειες οι οποίες δεν προκύπτουν από την εξέταση μόνο των φορτίων του εξωτερικού τοίχου.

Άρα, μόνο αν λάβουμε υπόψιν μας ολόκληρο το κέλυφος και όχι μόνο τον εξωτερικό τοίχο, θα έχουμε αύξηση των απωλειών (π.χ στην περίπτωση που συμπεριλάβουμε και τον 'βόρειο' τοίχο οι απώλειες θα είναι αυξημένες σε μεγάλο ποσοστό) και οι συνδυασμοί τιμών για το ψευδοαδιαβατικό κέλυφος θα είναι στις συνήθεις περιοχές.

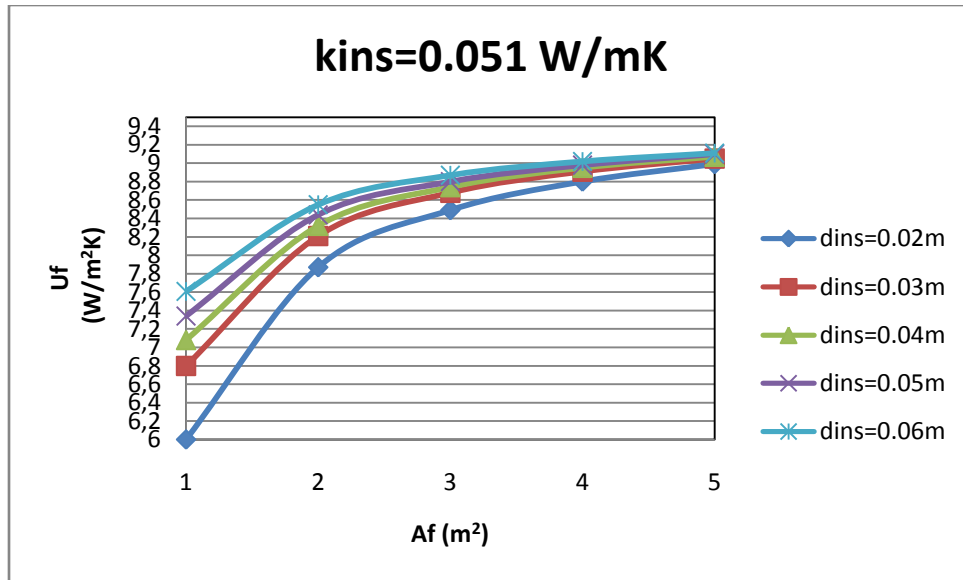
Τέλος, όπως έχουμε αναφέρει ήδη, δεν είναι σωστό να βασιστούμε στις ωριαίες τιμές για εξαγωγή συμπερασμάτων, διότι έχουμε θεωρήσει το φαινόμενο ως μόνιμο και συνεπώς δεν έχουμε λάβει υπόψη στους υπολογισμούς τη χρονική υστέρηση των υλικών.



Διάγραμμα 11.4.1 Προβλεπόμενοι συνδυασμοί παραμέτρων τοίχου (k_{ins} , d_{ins} , U_f , A_f) για τους οποίους λαμβάνεται «ψευδοαδιαβατικός» τοίχος για την 21^η Ιανουαρίου με πάχος μόνωσης σταθερο και ίσο με $d_{ins}=0.04m$ και διάφορες τιμές της ειδικής θερμικής αγωγιμότητας k_{ins} .

Παρατηρούμε ότι,

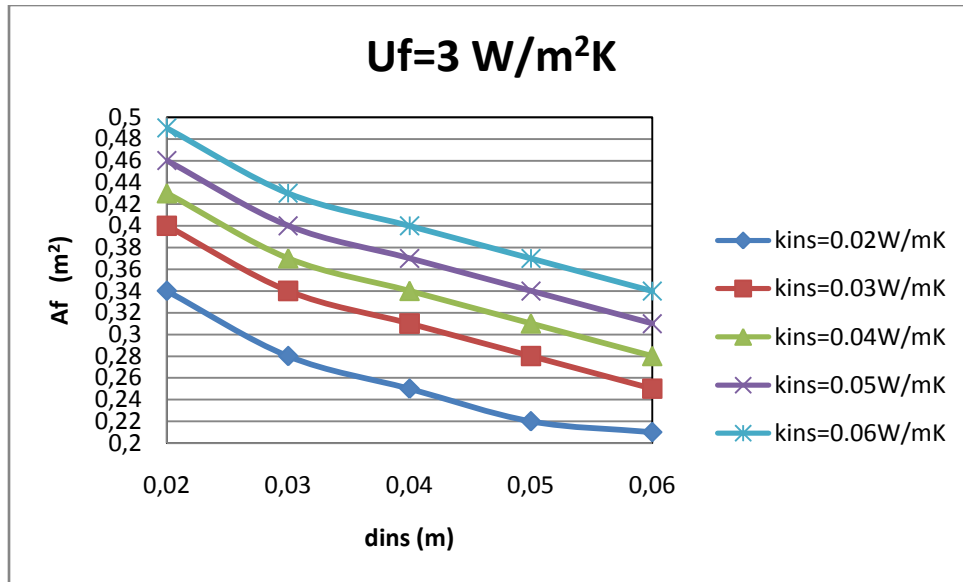
- Όταν αυξάνεται η επιφάνεια υαλοπινάκων A_f και για σταθερά τα χαρακτηριστικά της μόνωσης (d_{ins}, k_{ins}), αυξάνεται η εισερχόμενη ηλιακή ακτινοβολία. Σε αυτή την περίπτωση για επίτευξη ψευδοαδιαβατικού τοίχου απαιτείται αύξηση της τιμής του συντελεστή θερμοπερατότητας U_f με σκοπό την αύξηση του φορτίου υαλοπινάκων δι' αγωγής ώστε να μηδενιστεί η διαφορά με το κέρδος που προκύπτει
- Όταν η αποδοτικότητα της μόνωσης μειώνεται (είτε λόγω αύξησης του k_{ins} είτε λόγω μείωσης του d_{ins} , εδώ λόγω αύξησης του k_{ins}), διατηρώντας σταθερή τη τιμή της επιφάνειας υαλοπινάκων A_f αυξάνονται οι απώλειες του τοίχου λόγω μεταφοράς θερμότητας δι' αγωγής μέσω 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 και να έχουμε επίτευξη ψευδοαδιαβατικού τοίχου.



Διάγραμμα 11.4.2 Προβλεπόμενοι συνδυασμοί παραμέτρων τοίχου (k_{ins} , d_{ins} , U_f , A_f) για τους οποίους λαμβάνεται «ψευδοαδιαβατικός» τοίχος για την 21^η Ιανουαρίου με πάχος μόνωσης σταθερο και ίσο με $k_{ins}=0.051\text{W/mK}$ και διάφορες τιμές του πάχους μόνωσης d_{ins} .

Παρατηρούμε ότι,

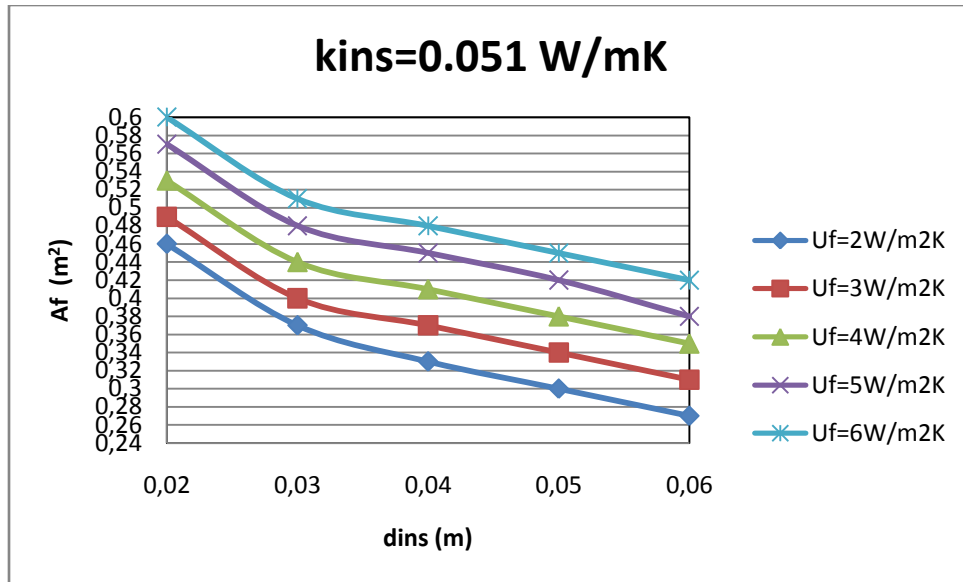
- Όταν αυξάνεται η επιφάνεια υαλοπινάκων A_f και για σταθερά τα χαρακτηριστικά της μόνωσης (d_{ins}, k_{ins}), αυξάνεται η εισερχόμενη ηλιακή ακτινοβολία. Σε αυτή την περίπτωση για επίτευξη ψευδοαδιαβατικού τοίχου απαιτείται αύξηση της τιμής του συντελεστή θερμοπερατότητας U_f με σκοπό την αύξηση του φορτίου υαλοπινάκων δι' αγωγής ώστε να μηδενιστεί η διαφορά με το κέρδος που προκύπτει
- Όταν η αποδοτικότητα της μόνωσης μειώνεται (είτε λόγω αύξησης του k_{ins} είτε λόγω μείωσης του d_{ins} , εδώ λόγω μείωσης του d_{ins}), διατηρώντας σταθερή τη τιμή της επιφάνειας υαλοπινάκων A_f αυξάνονται οι απώλειες του τοίχου λόγω μεταφοράς θερμότητας δι' αγωγής μέσω 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 και να έχουμε επίτευξη ψευδοαδιαβατικού τοίχου.



Διάγραμμα 11.4.3 Προβλεπόμενοι συνδυασμοί παραμέτρων τοίχου (k_{ins} , d_{ins} , U_f , A_f) για τους οποίους λαμβάνεται «ψευδοαδιαβατικός» τοίχος για την 21^η Ιανουαρίου με συντελεστή θερμοπερατότητας σταθερο και ίσο με $U_f=3 \text{ W/m}^2\text{K}$ και διάφορες τιμές της ειδικής θερμικής αγωγιμότητας k_{ins} .

Παρατηρούμε ότι,

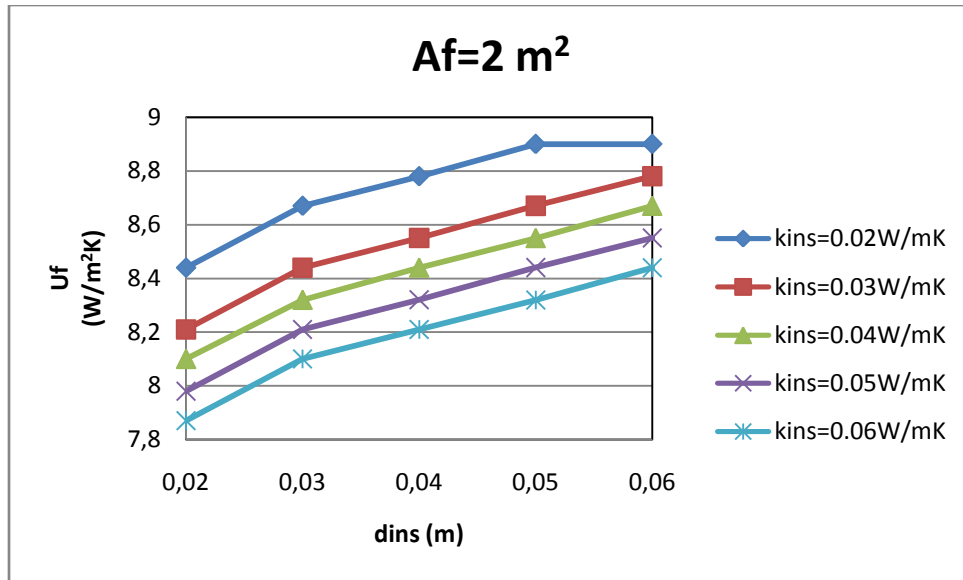
- Όταν μειώνεται η επιφάνεια υαλοπινάκων A_f το θερμικό ηλιακό κέρδος επίσης μειώνεται. Έτσι προκειμένου να διατηρηθεί ψευδοαδιαβατικό το κελύφους απαιτείται μία ίση μείωση των απωλειών θερμότητας δι' αγωγής, που επιτυγχάνεται στην προκειμένη περίπτωση μέσω μείωσης του συντελεστή θερμικής αγωγιμότητας k_{ins} είτε αυξάνοντας το πάχος της μόνωσης d_{ins} .



Διάγραμμα 11.4.4 Προβλεπόμενοι συνδυασμοί παραμέτρων τοίχου (k_{ins} , d_{ins} , U_f , A_f) για τους οποίους λαμβάνεται «ψευδοαδιαβατικός» τοίχος για την 21^η Ιανουαρίου με ειδική θερμική αγωγιμότητα σταθερή και ίση με $k_{ins}=0.051 \text{ W/mK}$ και διάφορες τιμές του συντελεστή θερμοπερατότητας U_f .

Παρατηρούμε ότι,

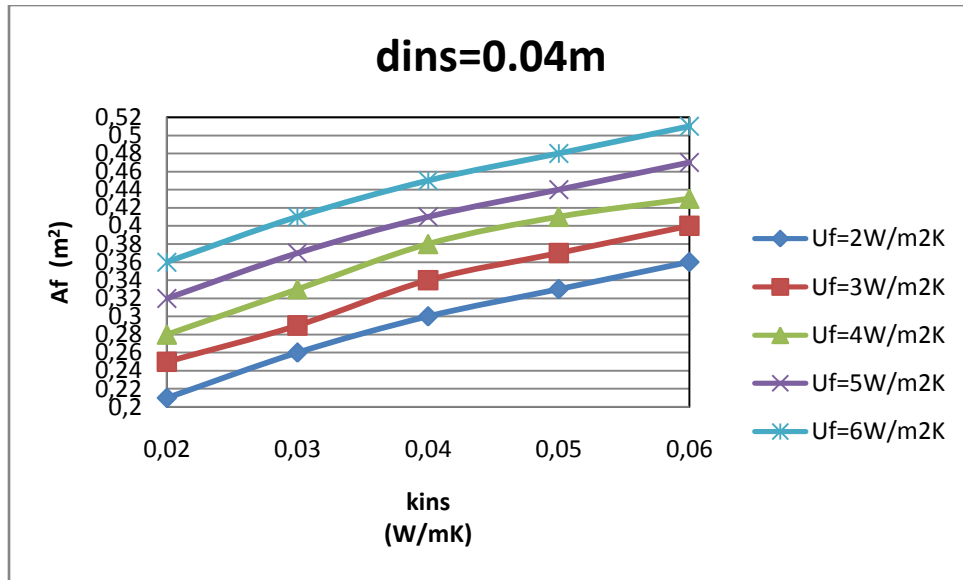
- Όταν μειώνεται η επιφάνεια υαλοπινάκων A_f το θερμικό ηλιακό κέρδος επίσης μειώνεται. Έτσι προκειμένου να διατηρηθεί ψευδοαδιαβατικό το κελύφους απαιτείται μία ίση μείωση των απωλειών θερμότητας δι' αγωγής, που επιτυγχάνεται στην προκειμένη περίπτωση μειώνοντας το συντελεστή θερμικής διαπερατότητας U_f είτε αυξάνοντας το πάχος της μόνωσης d_{ins} .



Διάγραμμα 11.4.5 Προβλεπόμενοι συνδυασμοί παραμέτρων τοίχου (k_{ins} , d_{ins} , U_f , A_f) για τους οποίους λαμβάνεται «ψευδοαδιαβατικός» τοίχος για την 21^η Ιανουαρίου με επιφάνεια υαλοπινάκων σταθερή και ίση με $A_f=2m^2$ και διάφορες τιμές της ειδικής θερμικής αγωγιμότητας k_{ins} .

Παρατηρούμε ότι,

- Όταν η αποδοτικότητα της μόνωσης μειώνεται (είτε λόγω αύξησης του k_{ins} είτε λόγω μείωσης του d_{ins}), διατηρώντας σταθερή τη τιμή της επιφάνειας υαλοπινάκων A_f αυξάνονται οι απώλειες του τοίχου λόγω μεταφοράς θερμότητας δι' αγωγής μέσω 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 και να έχουμε επίτευξη ψευδοαδιαβατικού τοίχου.



Διάγραμμα 11.4.6 Προβλεπόμενοι συνδυασμοί παραμέτρων τοίχου (k_{ins} , d_{ins} , U_f , A_f) για τους οποίους λαμβάνεται «ψευδοαδιαβατικός» τοίχος για την 21^η Ιανουαρίου με πάχος μόνωσης σταθερο και ίσο με $d_{ins}=0.04m$ και διάφορες τιμές του συντελεστή θερμοπερατότητας U_f .

Παρατηρούμε ότι,

- Όταν μειώνεται η επιφάνεια υαλοπινάκων A_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 στην προκειμένη περίπτωση μειώνοντας το συντελεστή θερμικής διαπερατότητας U_f είτε μέσω μείωσης του συντελεστή θερμικής αγωγιμότητας k_{ins} .

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 12: Ενσωμάτωση PCM στον εξωτερικό τοίχο και διαγραμματική ανάλυση συνολικού φορτίου.

Σε αυτό το κεφάλαιο θα εξετάσουμε εάν προκύπτει ψευδοαδιαβατικός τοίχος στην περίπτωση της ενσωμάτωσης PCM στον εξωτερικό τοίχο. Θεωρούμε 1 εξωτερικό τοίχο τύπου G1 στην περιοχή της Αθήνας με διαστάσεις μήκος x πλάτος = (3m)x(2,5m). Ο εξωτερικός τοίχος ξεκινώντας από την εξωτερική του πλευρά που βρίσκεται σε επαφή με τον εξωτερικό αέρα και προχωρώντας προς την εσωτερική αποτελείται 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 $k_2=0,72\text{ W/mK}$.
- Στρώση PCM πάχους $w_3 =0,02\text{m}$ και ειδικής θερμικής αγωγιμότητας $k_3=0,08\text{ W/mK}$.
- Δρομική οπτοπλινθοδομή πάχους $w_4=0,09\text{m}$ και ειδικής θερμικής αγωγιμότητας $k_4=0,72\text{ W/mK}$.
- Εσωτερικό επίχρισμα πάχους $w_5=0,02\text{m}$ και ειδικής θερμικής αγωγιμότητας $k_5=1,2\text{ W/mK}$.
- Εξωτερικό συντελεστή συναγωγής $h_o=16\text{ W/m}^2\text{K}$ και εσωτερικό $h_i=8\text{ W/m}^2\text{K}$.

Η συνηθισμένη περίπτωση εξέτασης στρώματος PCM ενσωματωμένο σε τοίχο είναι ο τοίχος να βρίσκεται απέναντι από παράθυρο σε ένα δωμάτιο αναφοράς. Στην συγκεκριμένη εργασία όμως σκοπός μας ήταν η εξέταση και η εξεύρεση του συνδυασμού των παραμέτρων που καθιστούν ένα μεμονωμένο τοίχο ψευδοαδιαβατικό. Έτσι, εξετάσαμε τον εξωτερικό τοίχο ενσωματωμένο με PCM, ο οποίος περιέχει και παράθυρο και όχι τον απέναντι τοίχο.

12.1 Επιλογή υλικού αλλαγής φάσης

Το υλικό αλλαγής φάσης που επιλέχθηκε για την συγκεκριμένη εφαρμογή είναι ένα υποθετικό υλικό, του οποίου η κατασκευή απαιτεί περαιτέρω εργαστηριακή έρευνα. Τα χαρακτηριστικά του είναι:

- Θερμοκρασιακό εύρος αλλαγής φάσης 15-26°C
- Λανθάνουσα Θερμότητα $H=132,1\text{kJ/kg}$
- Πυκνότητα $\rho=1019\text{kg/m}^3$
- Ειδική Θερμική Αγωγιμότητα $k=0.8\text{W/m}^\circ\text{C}$
- Ειδική θερμοχωρητικότητα στερεής φάσης = Ειδική θερμοχωρητικότητα υγρής φάσης: $C_{p,s} = C_{p,l} = 7000\text{J/kg}^\circ\text{C}$

Για την προσομοίωση της αλλαγής φάσης κατά τις αριθμητικές επιλύσεις χρησιμοποιείται η μέθοδος της ενεργού θερμοχωρητικότητας, όπου η θερμοχωρητικότητα του PCM δίνεται από μία συνάρτηση της θερμοκρασίας γνωστή ως "συνάρτηση ενεργού θερμοχωρητικότητας" $C_{p,\text{eff}}(T)$. Το μοντέλο αυτό επιλέχθηκε, επειδή η αλλαγή φάσης ενδιαφέρει μόνο σαν μακροσκοπικό φαινόμενο χωρίς να υπάρχει ανάγκη υπολογισμού περαιτέρω λεπτομερειών στη διφασική περιοχή.

Κατόπιν μετρήσεων εκτιμάται ότι οι συναρτήσεις $C_{p,\text{eff}}(\text{J/kg}^\circ\text{C})$ συναρτήσει της θερμοκρασίας T είναι οι εξής:

- Για $T \leq T_s$:

$$C_{p,\text{eff}} = C_{ps} \quad (12.1.1)$$

- Για $T_s < T \leq T_c$:

$$C_{p,\text{eff}} = 4 \times (H - b C_{ps}) \times \frac{T - T_s}{b^2} + C_{ps} \quad (12.1.2)$$

- Για $T_c < T \leq T_l$:

$$C_{p,\text{eff}} = 4 \times \frac{(b \times C_{pl} - H)}{b^2} \times (T - T_s - \frac{b}{2}) + 2 \times \frac{H}{b} - C_{pl} \quad (12.1.3)$$

- Για $T > T_l$:

$$C_{p,\text{eff}} = C_{pl} \quad (12.1.4)$$

Όπου,

- $T_c = \frac{T_s + T_l}{2}$ και
- $b = T_l - T_s$

Στην περίπτωση μας όπως έχουμε ήδη αναφέρει $T_s = 15^\circ\text{C}$ και $T_l = 26^\circ\text{C}$, όπου T_s και T_l οι θερμοκρασίες στην αρχή και το πέρας της στερεοποίησης. Άρα $b = 11$ και $T_c = 20,5$

Με αντικατάσταση των τιμών των μεταβλητών οι εξισώσεις γίνονται:

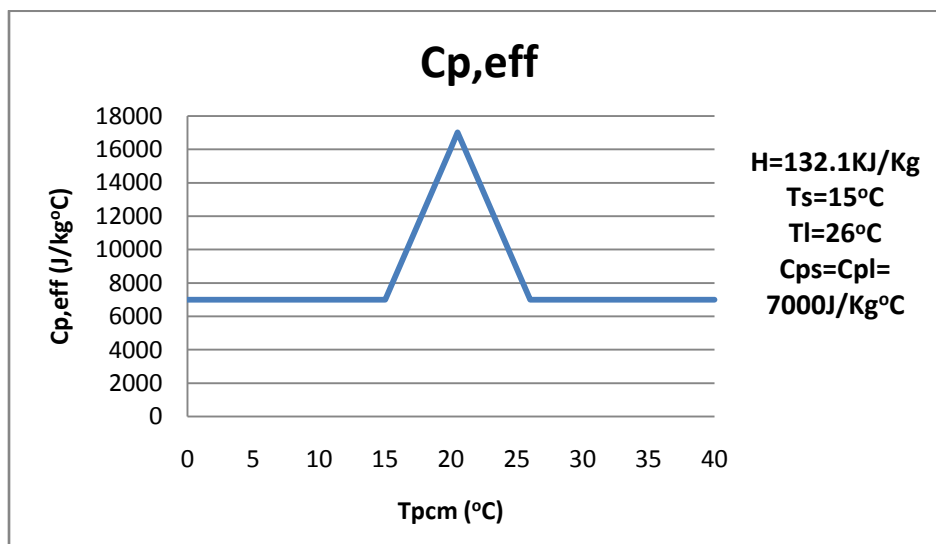
- Για $T_s \leq T \leq T_c$,

$$C_p = (1821,49) \cdot (T - 15) + 7000 \quad (12.1.5)$$

- Για $T_c \leq T \leq T_l$,

$$C_p = (-1821,48) \cdot (T - 26) + 17018,18 \quad (12.1.6)$$

Έτσι η καμπύλη ενεργούς θερμοχωρητικότητας προκύπτει ως εξής:



Διάγραμμα 12.1.1 Καμπύλη ενεργούς θερμοχωρητικότητας επιλεγμένου PCM.

12.2 Ισολογισμός ενέργειας στο στρώμα PCM

Θα πρέπει να σημειώσουμε αρχικά πως έχουν γίνει κάποιες παραδοχές για τη διευκόλυνση της μελέτης του στρώματος PCM και είναι οι εξής:

- Ομοιόμορφη και ενιαία θερμοκρασία του στρώματος του PCM κάθε χρονική στιγμή δηλαδή η θερμοκρασία του στρώματος του PCM δεν μεταβάλλεται κατά την κατεύθυνση του πάχους του στρώματος του PCM αλλά αποτελεί συνάρτηση μόνο του χρόνου t .
- Σταθερή θερμοκρασία του αέρα στο εσωτερικό του δωματίου γεγονός που μπορεί να επιτυγχάνεται και με τη βοήθεια ενεργητικών συστημάτων κλιματισμού.

Έτσι η μεταβολή της θερμοκρασίας του στρώματος του PCM με το χρόνο εξαρτάται από την ηλιακή ακτινοβολία που προσπίπτει στον τοίχο κατά τη διάρκεια της ημέρας, τη συναλλαγή θερμότητας με συναγωγή με τον αέρα στο εσωτερικό του δωματίου, τη συναλλαγή θερμότητας με συναγωγή με το εξωτερικό περιβάλλον καθώς και από τη μάζα και τη θερμοχωρητικότητα του ίδιου του PCM.

Συνεπώς, ο ισολογισμός ενέργειας στο στρώμα του PCM που έχουμε ενσωματώσει στον εξωτερικό τοίχο αναφοράς θα διαμορφωθεί ως εξής:

$$Q_{απορρ} = Q_{ακτιν} + Q_{συναγ/δομ} + Q_{συναγ/περιβ} \Rightarrow$$

$$m * c_p * \left(T_{pcm} - T_{pcm}^0 \right) = 3600 * G * A_w + 3600 * U_{pcm/in} * A_w * \left(T_{in} - T_{pcm}^0 \right) + 3600 * U_{pcm/out} * A_w * \left(T_{out} - T_{pcm}^0 \right)$$

(12.2.1)

όπου

- T_{pcm}^0 είναι η θερμοκρασία του στρώματος του PCM την προηγούμενη χρονική στιγμή έστω t από αυτήν που θέλουμε να υπολογίσουμε, η οποία μάλιστα επειδή στην αρχή των επαναλήψεων δεν είναι γνωστή θα θεωρηθεί μια τυχαία τιμή για μια τυχαία ώρα της μέρας. Στη συνέχεια θα αποδειχθεί ότι η αρχική αυτή υποθεθείσα τιμή της θερμοκρασίας δεν επηρεάζει σε καμιά περίπτωση το τελικό αποτέλεσμα.
- T_{pcm} είναι η θερμοκρασία του PCM την επόμενη χρονική στιγμή $t+\Delta t$

- A_w είναι η ‘καθαρή’ επιφάνεια του τοίχου νότιου προσανατολισμού η οποία προκύπτει ίση με: $A_w = A_{w_0} - A_f = (\text{πλάτος τοίχου}) \times (\text{ύψος τοίχου}) = (3\text{m}) \times (2,5\text{m} - 1\text{m}^2) = 7,5\text{m}^2 - 1\text{m}^2 \Rightarrow A_w = 6,5\text{m}^2$
- A_f είναι η επιφάνεια του υαλοπίνακα που βρίσκεται στον τοίχο και η οποία ισούται με: $A_f = (\text{πλάτος υαλοπίνακα}) \times (\text{ύψος υαλοπίνακα}) = (1\text{m}) \times (1\text{m}) = 1\text{m}^2$
- T_{in} είναι η θερμοκρασία του αέρα στο εσωτερικό του δωματίου ίση με 20°C
- U είναι ο συντελεστής θερμικής διαπερατότητας, ο οποίος θα υπολογιστεί στη συνέχεια
- m είναι η μάζα του διατιθέμενου PCM, η οποία μπορεί να προσεγγισθεί με μεγάλη ακρίβεια από τον ακόλουθο τύπο:
 $m = \rho \cdot V = 1019 \cdot V$
όπου ο όγκος του PCM μπορεί να υπολογιστεί από τον παρακάτω τύπο:
 $V = (\text{πλάτος τοίχου}) \times (\text{ύψος τοίχου}) \times (\text{πάχος στρώματος PCM}) = (3\text{m}) \times (2,5\text{m}) \times (0,02\text{m}) = 0,15\text{m}^3$ αρα η μάζα του PCM θα είναι $m = 152,85\text{Kg}$
- $C_{p,eff}(T)$ η ενεργός θερμοχωρητικότητα του PCM, την οποία αναλύσαμε και υπολογίσαμε παραπάνω.

Ο υπολογισμός του συντελεστή θερμικής διαπερατότητας γίνεται με βάση τον παρακάτω τύπο:

$$\frac{1}{U_w} = \frac{1}{h_o} + \frac{w_1}{k_1} + \frac{w_2}{k_2} + \frac{w_3}{k_3} + \frac{w_4}{k_4} + \frac{w_5}{k_5} + \frac{1}{h_i} \quad \left[\frac{\text{m}^2\text{K}}{\text{W}} \right] \quad (12.2.2)$$

Όπου,

- h_i [$\text{W}/\text{m}^2\text{K}$] ο εσωτερικός συντελεστής συναγωγής,
- h_o [$\text{W}/\text{m}^2\text{K}$] ο εξωτερικός συντελεστής συναγωγής,
- w_i [m] το πάχος της κάθε στρώσης του τοίχου,
- k_i [W/mK] η ειδική θερμική αγωγιμότητα του υλικού κάθε στρώσης του τοίχου.

Στη προκειμένη εξίσωση έχουμε,

$$\frac{1}{U_{pcm/in}} = \frac{w_{pcm}}{k_{pcm}} + \frac{w_{\tau}}{k_{\tau}} + \frac{w_{\sigma}}{k_{\sigma}} + \frac{1}{h_i} \Rightarrow U_{pcm/in} = 3.43 \text{ W/m}^2\text{K και}$$

$$\frac{1}{U_{pcm/out}} = \frac{w_{\tau}}{k_{\tau}} + \frac{w_{\sigma}}{k_{\sigma}} + \frac{1}{h_o} \Rightarrow U_{pcm/out} = 4.9 \text{ W/m}^2\text{K}$$

Επιλύοντας τώρα ως προς T_{PCM} τον παραπάνω ενεργειακό ισολογισμό που διατυπώθηκε με τη σχέση (12.2.1) προκύπτει έπειτα από πράξεις:

$$T_{pcm} = T_{pcm}^o + \frac{Awo * Gt * 3600 + U_{pcm/in} * Awo * (T_{in}^o - T_{pcm}^o) * 3600 + U_{pcm/out} * Awo * (T_{out}^o - T_{pcm}^o) * 3600}{m * C_{p,eff}}$$

(12.2.3)

Όπως βλέπουμε υπάρχει και ένας άλλος άγνωστος, ο όρος T_{pcm}^o , ο οποίος είναι η θερμοκρασία στην αρχή της χρονικής περιόδου στην αρχή κάθε ώρας. Για την εύρεση της θα εργαστούμε ως εξής:

Αρχικά θα θέσουμε εμείς μια αυθαίρετη τιμή, έστω $T_{pcm}^o = 22^{\circ}\text{C}$ για τις $t=07:00$ (7 η ώρα το πρωί) με αυτή την αρχική τιμή (γνωρίζοντας και την ακτινοβολία που δέχεται ο τοίχος την συγκεκριμένη ώρα) θα βρούμε από τη σχέση (12.2.3) για κάθε ώρα της μέρας μελέτης μας τη νέα θερμοκρασία του PCM T_{PCM} , δηλαδή για κάθε μια από τις ώρες από 07:00 το πρωί ως 06:00 το άλλο πρωί (ένα εικοσιτετράωρο) θα βρεθεί η νέα θερμοκρασία του. Ύστερα θα επαναλάβουμε την διαδικασία αυτή βάζοντας τώρα ως αρχική τιμή της T_{pcm}^o για $t=07:00$ την τιμή που μας έχει προκύψει την $t=06:00$ του προηγούμενου 24ώρου (προηγούμενη δοκιμή). Οι επαναλήψεις θα συνεχιστούν μέχρι οι τιμές της ίδιας ώρας κάθε 24ώρου να συγκλίνουν. Με τον τρόπο αυτό εξασφαλίζεται η ανεξαρτησία από την αρχική αυθαίρετη υποθεθείσα θερμοκρασία. Για να απλοποιηθεί η εξίσωση (12.2.3) θα παίρνουμε το $C_{p,eff}$ βάση της αρχικής θερμοκρασίας T_{pcm}^o που έχουμε θεωρήσει κάθε φορά. Όσο μικραίνει το βήμα τόσο πιο ακριβές θα είναι το αποτέλεσμα. Με την διαδικασία αυτή λοιπόν υπολογίσαμε τις θερμοκρασίες που αναπτύσσονται στο στρώμα του PCM για μια τυπική ημέρα 21η κάθε χειμερινού μήνα του έτους, οι οποίες παρουσιάζονται στα παρακάτω διαγράμματα.

Πίνακας 12.2.1 Θερμοκρασία PCM εξωτερικού τοίχου για την 21^η Ιανουαρίου

Ιανουάριος			
t [hour]	Tout [°C]	Gt [W/m²]	Tpcm [°C]
1	8,24	0	20,50
2	7,83	0	19,84
3	7,47	0	19,17
4	7,22	0	18,49
5	7,10	0	17,82
6	7,13	0	17,17
7	7,30	0	16,55
8	7,66	13,28	16,22
9	8,26	106,29	17,76
10	9,12	222,67	20,52
11	10,18	307,98	23,18
12	11,27	365,74	27,49
13	12,17	382,21	34,60
14	12,68	378,66	40,18
15	12,68	326,09	43,26
16	12,19	232,74	43,28
17	11,40	17,77	37,78
18	10,54	0	32,87
19	9,83	0	28,91
20	9,36	0	25,72
21	9,13	0	23,35
22	9,00	0	22,13
23	8,86	0	21,22
24	8,60	0	20,48

Πίνακας 12.2.2 Θερμοκρασία PCM εξωτερικού τοίχου για την 21^η Φεβρουαρίου

Φεβρουάριος			
t [hour]	Tout [°C]	Gt [W/m²]	Tpcm [°C]
1	9,41	0	21,40
2	9,18	0	20,66
3	8,95	0	20,03
4	8,71	0	19,42
5	8,52	0	18,82
6	8,47	0	18,23
7	8,65	0	17,67
8	9,16	71,69	18,23
9	10,02	164,77	20,02
10	11,16	263,64	22,43
11	12,42	338,33	26,11
12	13,57	388,41	33,83
13	14,38	399,46	40,31
14	14,71	386,13	45,13
15	14,54	327,04	47,43
16	13,97	245,96	47,13
17	13,15	92,85	42,92
18	12,28	0	37,15
19	11,50	0	32,50
20	10,89	0	28,75
21	10,43	0	25,73
22	10,10	0	23,46
23	9,84	0	22,27
24	9,62	0	21,37

Πίνακας 12.2.3 Θερμοκρασία PCM εξωτερικού τοίχου για την 21^η Μαρτίου

Μάρτιος			
t [hour]	Tout [°C]	Gt [W/m²]	Tpcm [°C]
1	10,61	0	22,00
2	10,41	0	21,21
3	10,20	0	20,56
4	10,02	0	20,00
5	9,96	0	19,46
6	10,08	0	18,95
7	10,44	27	18,81
8	11,03	118,20	19,88
9	11,82	209,85	21,78
10	12,71	299,42	24,77
11	13,57	366,52	30,42
12	14,26	409,16	37,84
13	14,69	412,63	43,85
14	14,78	385,59	47,92
15	14,54	318,21	49,41
16	14,04	231,12	48,33
17	13,39	122,61	44,65
18	12,70	23	39,15
19	12,08	0	34,15
20	11,59	0	30,14
21	11,26	0	26,93
22	11,04	0	24,36
23	10,90	0	22,93
24	10,77	0	21,96

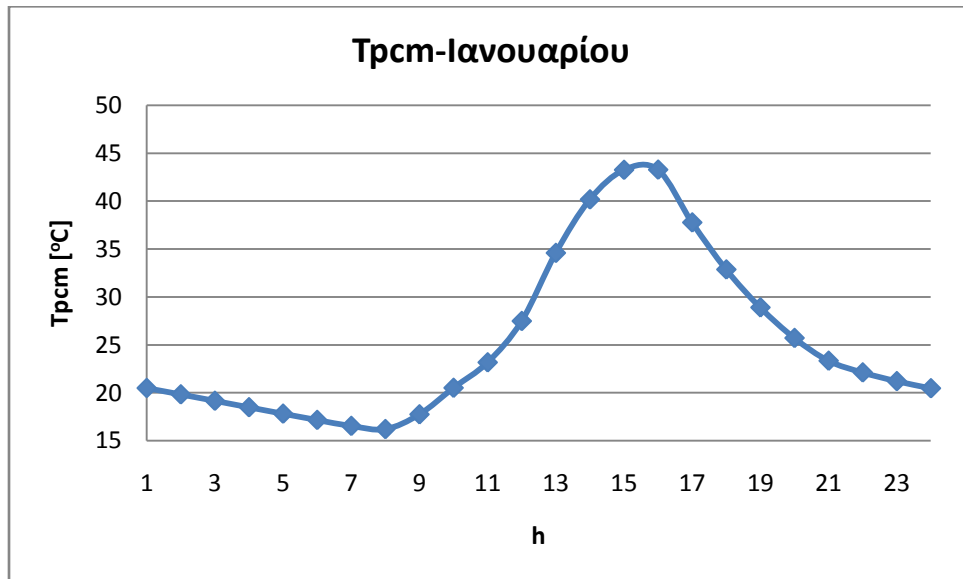
Πίνακας 12.2.4 Θερμοκρασία PCM εξωτερικού τοίχου για την 21^η Νοεμβρίου

Νοέμβριος			
t [hour]	Tout [°C]	Gt [W/m²]	Tpcm [°C]
1	11,14	0	21,60
2	11,38	0	20,95
3	11,56	0	20,41
4	11,59	0	19,94
5	11,44	0	19,49
6	11,19	0	19,03
7	11,01	0	18,59
8	11,08	25,17	18,50
9	11,49	142,61	20,00
10	12,22	264,44	22,48
11	13,09	358,11	26,48
12	13,86	427,68	35,15
13	14,31	447,45	42,56
14	14,31	428,79	47,93
15	13,91	376,43	50,81
16	13,24	262,67	50,13
17	12,52	26,35	43,54
18	11,88	0	37,59
19	11,41	0	32,83
20	11,10	0	29,03
21	10,91	0	26,01
22	10,82	0	23,62
23	10,83	0	22,45
24	10,94	0	21,60

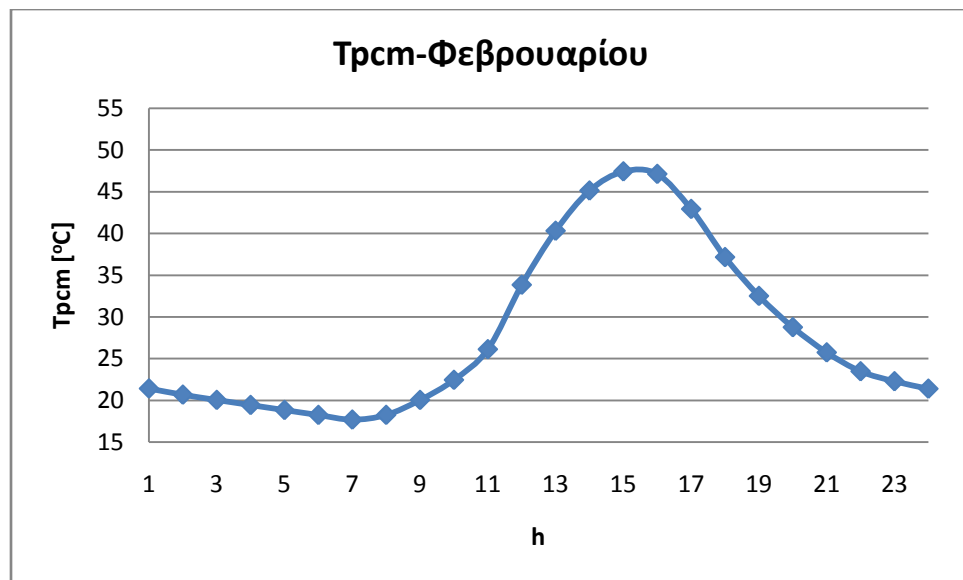
Πίνακας 12.2.5 Θερμοκρασία PCM εξωτερικού τοίχου για την 21^η Δεκεμβρίου

Δεκέμβριος			
t [hour]	Tout [°C]	Gt [W/m²]	Tpcm [°C]
1	8,50	0	20,40
2	8,45	0	19,77
3	8,37	0	19,15
4	8,22	0	18,54
5	8,03	0	17,93
6	7,88	0	17,32
7	7,88	0	16,74
8	8,13	4,26	16,28
9	8,65	89,46	17,50
10	9,37	219,06	20,37
11	10,15	313,17	23,13
12	10,81	379,19	27,58
13	11,21	398,88	34,97
14	11,28	392,57	40,65
15	11,07	342,43	43,85
16	10,68	222,42	43,30
17	10,23	15,85	37,60
18	9,81	0	32,64
19	9,47	0	28,68
20	9,19	0	25,52
21	8,97	0	23,28
22	8,78	0	22,06
23	8,64	0	21,16
24	8,55	0	20,42

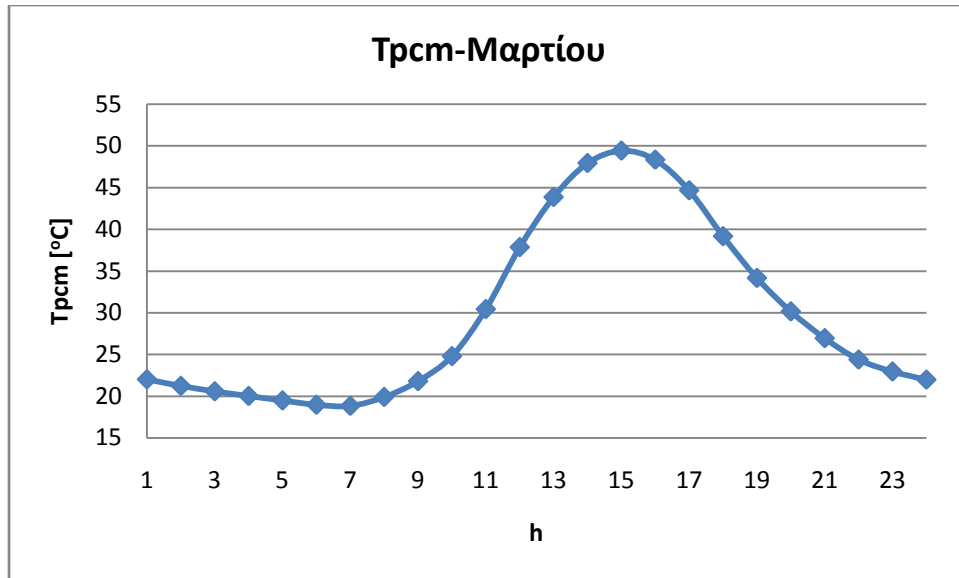
Και τα αντιστοιχα διαγράμματα είναι:



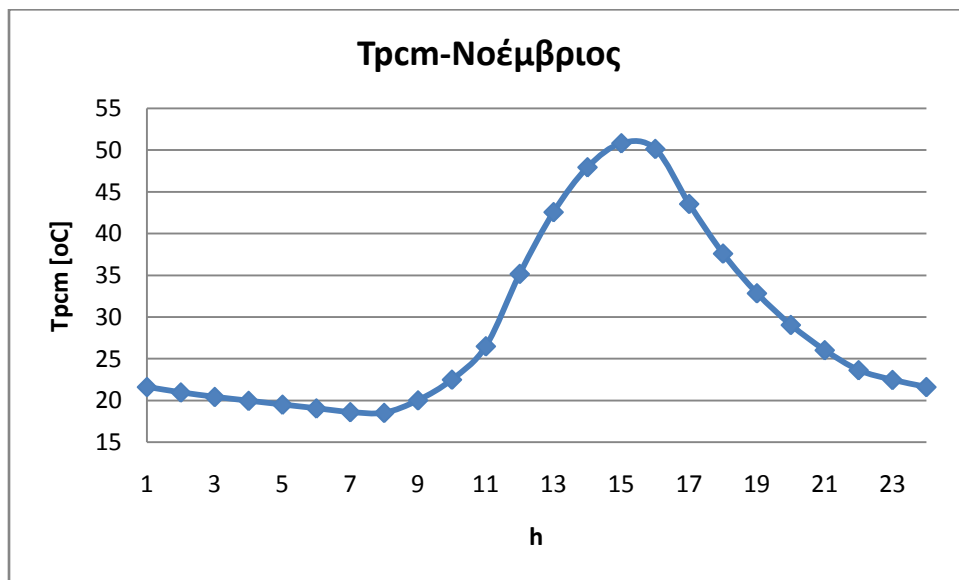
Διάγραμμα 12.2.1 θερμοκρασία PCM εξωτερικού τοίχου για την 21^η Ιανουαρίου



Διάγραμμα 12.2.2 θερμοκρασία PCM εξωτερικού τοίχου για την 21^η Φεβρουαρίου



Διάγραμμα 12.2.3 θερμοκρασία PCM εξωτερικού τοίχου για την 21^η Μαρτίου



Διάγραμμα 12.2.4 θερμοκρασία PCM εξωτερικού τοίχου για την 21^η Νοεμβρίου



Διάγραμμα 12.2.5 θερμοκρασία PCM εξωτερικού τοίχου για την 21^η Δεκεμβρίου

Παρατηρούμε ότι,

- Για τις τιμές της θερμοκρασίας του PCM στον εξωτερικό τοίχο, κατά τους χειμερινούς μήνες, προκύπτει ότι το PCM αυξάνει θερμοκρασία κατά τη διάρκεια της ημέρας, όσο υπάρχει ηλιοφάνεια δηλαδή, και τις ώρες που δεν έχουμε ηλιοφάνεια σταδιακά μειώνεται μέχρι τις 7-8 το πρωί όπου υπάρχει ξανα ηλιοφάνεια.
- Η μέγιστη τιμή της θερμοκρασίας του PCM εμφανίζεται για κάθε μήνα θέρμανσης τις ίδιες ώρες που προσπίπτει η μέγιστη στιγμιαία ακτινοβολία G_t .
- Μεγαλύτερη θερμοκρασία στο PCM αναπτύσσεται το Νοέμβριο, με το Μάρτιο και το Φεβρουάριο να ακολουθούν, και στη συνέχεια το Δεκέμβριο με τον Ιανουάριο να παρουσιάζει τη μικρότερη θερμοκρασία που μπορεί να αναπτύξει το PCM,

12.3 Φορτίο στρώματος PCM στον εξωτερικό τοίχο

Το συνολικό φορτίο που διέρχεται μέσω του PCM δίνεται σύμφωνα με την παρακάτω εξίσωση:

$$Q_{pcm} = U_{pcm/in} * A_w * (T_{pcm} - T_{in}) * 3600 \quad [KJoule] \quad (12.3.1)$$

Όπου,

- $U_{pcm/in}$ ο συντελεστής θερμοπερατότητας του PCM με το δωμάτιο
- A_w είναι η 'καθαρή' επιφάνεια του τοίχου νότιου προσανατολισμού η οποία προκύπτει ίση με: $A_w = A_{w_0} - A_f = (\text{πλάτος τοίχου}) \times (\text{ύψος τοίχου}) = (3\text{m}) \times (2,5\text{m} - A_f) \Rightarrow \mathbf{A_w = 7,5m^2 - A_f}$
- T_{pcm} είναι η θερμοκρασία του PCM
- T_{in} είναι η θερμοκρασία του αέρα στο εσωτερικό του δωματίου ίση με 20°C

Θα υπολογίσουμε το φορτίο του στρώματος PCM στον εξωτερικό τοίχο για διάφορες επιφάνειες υαλοπινάκων A_f .

Όλους τους συντελεστές τους έχουμε υπολογίσει παραπάνω οπότε έχουμε για τους χειμερινούς μήνες τους εξής πίνακες και διαγράμματα:

Πίνακας 12.3.1 Φορτίο στρώματος PCM εξωτερικού τοίχου για την 21^η Ιανουαρίου για διάφορες επιφάνειες υαλοπινάκων.

ΙΑΝΟΥΑΡΙΟΣ					
	Qpcm [Kjoule]				
	Af [m²]				
time [h]	1	2	3	4	5
1	40,1	33,9	27,8	21,6	15,4
2	-13,0	-11,0	-9,0	-7,0	-5,0
3	-66,8	-56,5	-46,2	-36,0	-25,7
4	-120,8	-102,2	-83,7	-65,1	-46,5
5	-174,5	-147,7	-120,8	-94,0	-67,1
6	-227,0	-192,0	-157,1	-122,2	-87,3
7	-277,0	-234,4	-191,8	-149,1	-106,5
8	-303,6	-256,9	-210,2	-163,5	-116,8
9	-180,1	-152,4	-124,7	-97,0	-69,3
10	41,7	35,3	28,9	22,5	16,0
11	254,9	215,7	176,5	137,3	98,1
12	601,1	508,6	416,1	323,6	231,2
13	1171,0	990,8	810,7	630,5	450,4
14	1619,0	1369,9	1120,8	871,8	622,7
15	1866,4	1579,2	1292,1	1005,0	717,8
16	1868,0	1580,6	1293,2	1005,8	718,5
17	1426,2	1206,8	987,4	767,9	548,5
18	1032,7	873,8	714,9	556,1	397,2
19	714,8	604,8	494,9	384,9	274,9
20	459,1	388,5	317,9	247,2	176,6
21	268,6	227,3	185,9	144,6	103,3
22	170,7	144,4	118,2	91,9	65,6
23	97,8	82,7	67,7	52,6	37,6
24	38,3	32,4	26,5	20,6	14,7
ΣQpcm [Kjoule/day]	10307,6	8721,8	7136,0	5550,2	3964,5

Πίνακας 12.3.2 Φορτίο στρώματος PCM εξωτερικού τοίχου για την 21^η Φεβρουαρίου για διάφορες επιφάνειες υαλοπινάκων.

ΦΕΒΡΟΥΑΡΙΟΣ					
	Qpcm [Kjoule]				
	Af [m²]				
time [h]	1	2	3	4	5
1	112,3	95,0	77,8	60,5	43,2
2	52,8	44,6	36,5	28,4	20,3
3	2,3	1,9	1,6	1,2	0,9
4	-46,4	-39,3	-32,1	-25,0	-17,9
5	-94,8	-80,2	-65,6	-51,0	-36,5
6	-142,2	-120,3	-98,4	-76,6	-54,7
7	-187,1	-158,3	-129,5	-100,8	-72,0
8	-141,7	-119,9	-98,1	-76,3	-54,5
9	1,9	1,6	1,3	1,0	0,7
10	195,1	165,0	135,0	105,0	75,0
11	490,0	414,6	339,2	263,8	188,5
12	1109,6	938,9	768,2	597,5	426,8
13	1629,4	1378,7	1128,1	877,4	626,7
14	2016,4	1706,1	1395,9	1085,7	775,5
15	2200,7	1862,1	1523,5	1185,0	846,4
16	2176,4	1841,6	1506,7	1171,9	837,1
17	1839,2	1556,2	1273,3	990,3	707,4
18	1376,2	1164,5	952,8	741,0	529,3
19	1002,8	848,5	694,2	540,0	385,7
20	701,7	593,8	485,8	377,8	269,9
21	459,4	388,7	318,0	247,3	176,7
22	277,6	234,9	192,2	149,5	106,8
23	181,8	153,9	125,9	97,9	69,9
24	110,2	93,3	76,3	59,4	42,4
ΣQpcm [Kjoule/day]	15323,4	12965,9	10608,5	8251,0	5893,6

Πίνακας 12.3.3 Φορτίο στρώματος PCM εξωτερικού τοίχου για την 21^η Μαρτίου για διάφορες επιφάνειες υαλοπινάκων.

ΜΑΡΤΙΟΣ					
	Qpcm [Kjoule]				
	Af [m²]				
time [h]	1	2	3	4	5
1	160,5	135,8	111,1	86,4	61,7
2	97,4	82,4	67,4	52,4	37,4
3	45,0	38,1	31,1	24,2	17,3
4	0,1	0,1	0,1	0,1	0,0
5	-43,2	-36,5	-29,9	-23,2	-16,6
6	-84,5	-71,5	-58,5	-45,5	-32,5
7	-95,4	-80,7	-66,0	-51,3	-36,7
8	-9,8	-8,3	-6,8	-5,3	-3,8
9	142,6	120,7	98,7	76,8	54,8
10	382,7	323,8	265,0	206,1	147,2
11	835,6	707,1	578,5	450,0	321,4
12	1431,5	1211,3	991,1	770,8	550,6
13	1913,4	1619,0	1324,7	1030,3	735,9
14	2240,2	1895,6	1550,9	1206,3	861,6
15	2359,6	1996,6	1633,6	1270,6	907,5
16	2272,7	1923,0	1573,4	1223,7	874,1
17	1977,8	1673,5	1369,3	1065,0	760,7
18	1536,7	1300,2	1063,8	827,4	591,0
19	1135,3	960,6	786,0	611,3	436,6
20	813,4	688,2	563,1	438,0	312,8
21	555,8	470,3	384,8	299,3	213,8
22	350,2	296,3	242,4	188,6	134,7
23	235,3	199,1	162,9	126,7	90,5
24	156,9	132,8	108,6	84,5	60,3
ΣQpcm [Kjoule/day]	18409,7	15577,5	12745,2	9912,9	7080,7

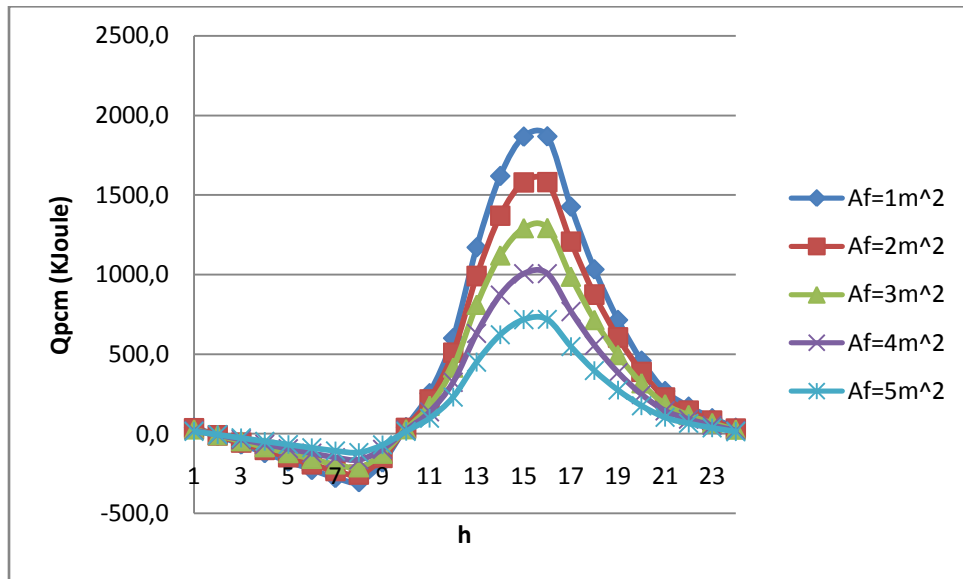
Πίνακας 12.3.4 Φορτίο στρώματος PCM εξωτερικού τοίχου για την 21^η Νοεμβρίου για διάφορες επιφάνειες υαλοπινάκων.

ΝΟΕΜΒΡΙΟΣ					
	Qpcm [Kjoule]				
	Af [m²]				
time [h]	1	2	3	4	5
1	128,4	108,6	88,9	69,1	49,4
2	76,0	64,3	52,6	40,9	29,2
3	32,9	27,9	22,8	17,7	12,7
4	-4,6	-3,9	-3,2	-2,5	-1,8
5	-41,3	-35,0	-28,6	-22,2	-15,9
6	-77,6	-65,7	-53,7	-41,8	-29,8
7	-113,1	-95,7	-78,3	-60,9	-43,5
8	-120,2	-101,7	-83,2	-64,7	-46,2
9	-0,1	-0,1	-0,1	-0,1	0,0
10	199,1	168,4	137,8	107,2	76,6
11	519,9	439,9	359,9	280,0	200,0
12	1215,7	1028,6	841,6	654,6	467,6
13	1809,7	1531,3	1252,9	974,4	696,0
14	2241,1	1896,3	1551,6	1206,8	862,0
15	2471,9	2091,6	1711,3	1331,0	950,7
16	2417,3	2045,4	1673,5	1301,6	929,7
17	1888,5	1598,0	1307,4	1016,9	726,4
18	1411,2	1194,1	977,0	759,9	542,8
19	1029,4	871,1	712,7	554,3	395,9
20	724,9	613,3	501,8	390,3	278,8
21	482,4	408,2	334,0	259,8	185,6
22	290,1	245,4	200,8	156,2	111,6
23	196,3	166,1	135,9	105,7	75,5
24	128,2	108,5	88,8	69,0	49,3
ΣQpcm [Kjoule/day]	16906,0	14305,1	11704,2	9103,2	6502,3

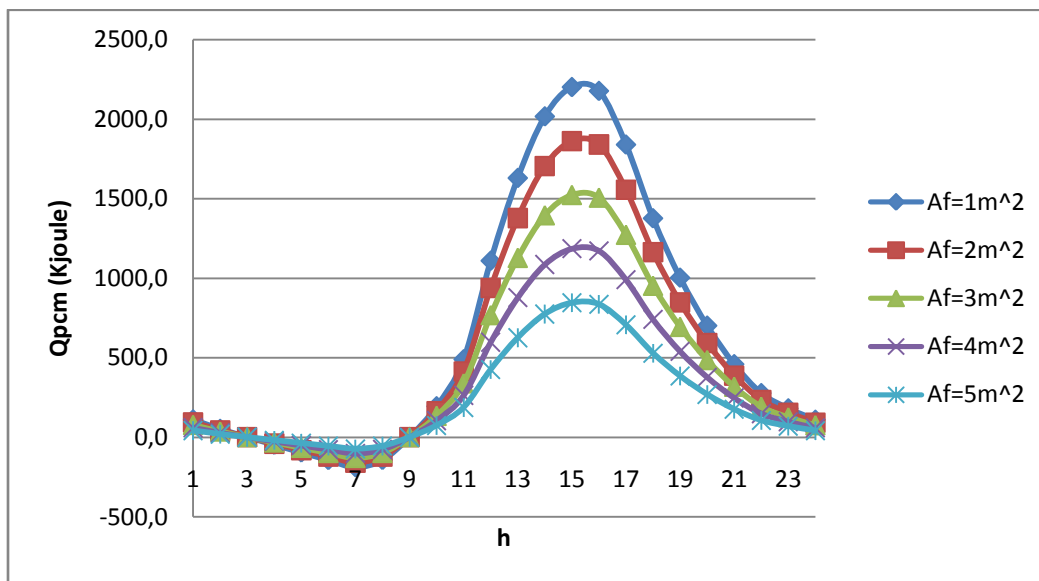
Πίνακας 12.3.5 Φορτίο στρώματος PCM εξωτερικού τοίχου για την 21^η Δεκεμβρίου για διάφορες επιφάνειες υαλοπινάκων.

ΔΕΚΕΜΒΡΙΟΣ					
	Q_{pcm} [Kjoule]				
	A_f [m²]				
time [h]	1	2	3	4	5
1	32,1	27,2	22,2	17,3	12,3
2	-18,3	-15,5	-12,7	-9,9	-7,0
3	-68,0	-57,6	-47,1	-36,6	-26,2
4	-117,3	-99,3	-81,2	-63,2	-45,1
5	-166,3	-140,7	-115,1	-89,5	-64,0
6	-214,7	-181,7	-148,6	-115,6	-82,6
7	-261,5	-221,2	-181,0	-140,8	-100,6
8	-298,7	-252,8	-206,8	-160,9	-114,9
9	-200,2	-169,4	-138,6	-107,8	-77,0
10	30,0	25,4	20,8	16,1	11,5
11	251,0	212,4	173,8	135,1	96,5
12	608,0	514,5	420,9	327,4	233,9
13	1200,6	1015,9	831,2	646,5	461,8
14	1656,7	1401,8	1146,9	892,1	637,2
15	1913,3	1619,0	1324,6	1030,2	735,9
16	1869,2	1581,6	1294,1	1006,5	718,9
17	1411,7	1194,5	977,3	760,1	543,0
18	1014,1	858,0	702,0	546,0	390,0
19	696,6	589,4	482,2	375,1	267,9
20	443,0	374,9	306,7	238,6	170,4
21	262,9	222,5	182,0	141,6	101,1
22	165,5	140,0	114,6	89,1	63,7
23	92,7	78,4	64,2	49,9	35,7
24	33,9	28,7	23,4	18,2	13,0
ΣQ_{pcm} [Kjoule/day]	10336,2	8746,0	7155,8	5565,6	3975,5

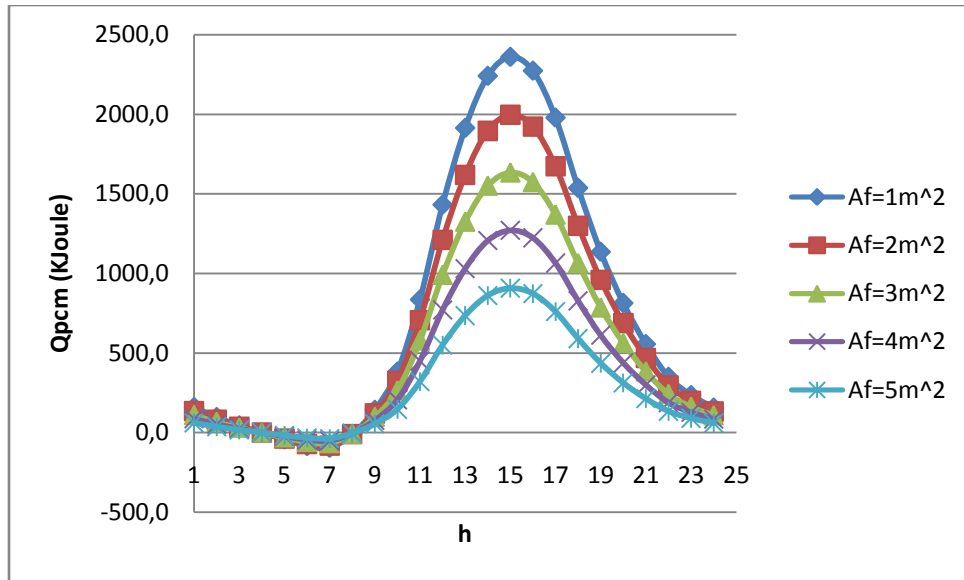
Και τα αντίστοιχα διάγραμμα είναι,



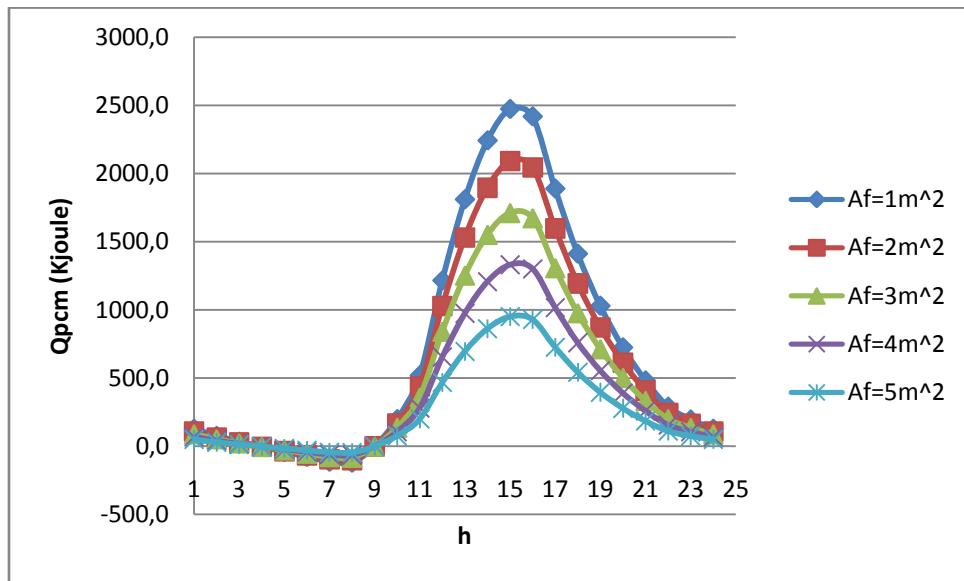
Διάγραμμα 12.3.1 Φορτίο στρώματος PCM εξωτερικού τοίχου για την 21^η Ιανουαρίου για διάφορες επιφάνειες υαλοπινάκων.



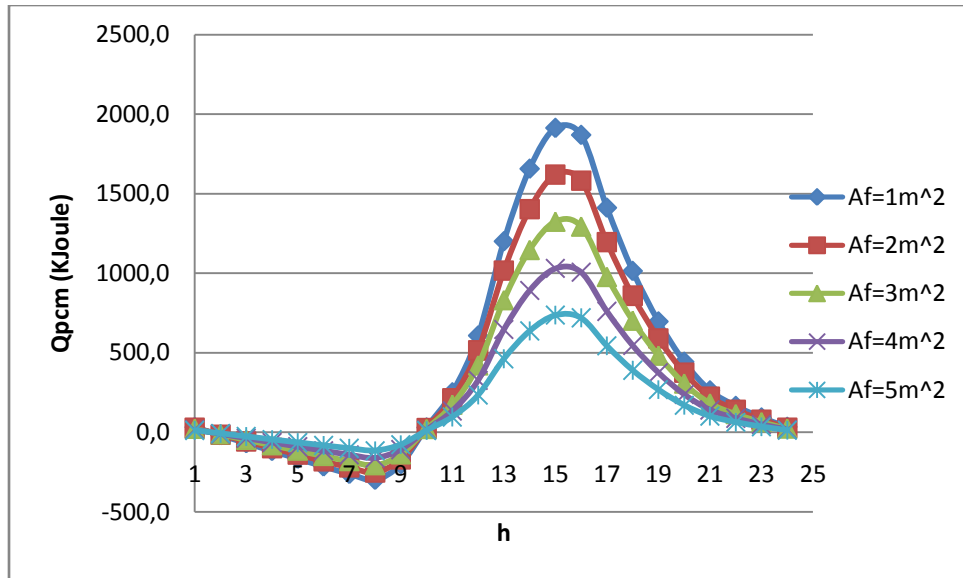
Διάγραμμα 12.3.2 Φορτίο στρώματος PCM εξωτερικού τοίχου για την 21^η Φεβρουαρίου για διάφορες επιφάνειες υαλοπινάκων.



Διάγραμμα 12.3.3 Φορτίο στρώματος PCM εξωτερικού τοίχου για την 21^η Μαρτίου για διάφορες επιφάνειες υαλοπινάκων.



Διάγραμμα 12.3.4 Φορτίο στρώματος PCM εξωτερικού τοίχου για την 21^η Νοεμβρίου για διάφορες επιφάνειες υαλοπινάκων.



Διάγραμμα 12.3.5 Φορτίο στρώματος PCM εξωτερικού τοίχου για την 21^η Δεκεμβρίου για διάφορες επιφάνειες υαλοπινάκων.

Παρατηρούμε ότι,

- Για το φορτίο στρώματος PCM προκύπτουν τιμές οι οποίες δίνουν τα ίδια συμπεράσματα με τη θερμοκρασία που αναπτύσσει το PCM κατά τη διάρκεια του 24ώρου. Το PCM αποθηκεύει θερμότητα τις ώρες που προσπίτει ηλιακή ακτινοβολία G_t στον εξωτερικό τοίχο, αυξάνοντας έτσι το φορτίο του και τις ώρες που η ηλιακή ακτινοβολία είναι μηδενική αποδίδει αυτή την θερμότητα στο περιβάλλον.
- Η μέγιστη τιμή του φορτίου του PCM εμφανίζεται για κάθε μήνα θέρμανσης τις ίδιες ώρες που αναπτύσσεται και η μέγιστη θερμοκρασία του, δηλαδή τη στιγμή που προσπίπτει στον εξωτερικό τοίχο η μέγιστη στιγμιαία ακτινοβολία G_t .
- Μεγαλύτερες τιμές φορτίου στο PCM αναπτύσσονται το Νοέμβριο, με το Μάρτιο και το Φεβρουάριο να ακολουθούν, και στη συνέχεια το Δεκέμβριο με τον Ιανουάριο να παρουσιάζει το μικρότερο φορτίο που μπορεί να αναπτύξει το PCM,

12.4 Συνολικό φορτίο τοίχου με ενσωματωμένο PCM

Για τον υπολογισμό του συνολικού φορτίου εξωτερικού τοίχου όπως και στο προηγούμενο κεφάλαιο για τους μήνες που εξετάζουμε, δηλαδή για τον Νοέμβριο, Δεκέμβριο, Ιανουάριο, Φεβρουάριο και Μάρτιο προσθέτουμε αλγεβρικά τα ωριαία φορτία που υπολογίσαμε παραπάνω και βρίσκουμε το συνολικό φορτίο του τοίχου στη διάρκεια του 24ωρου της μέρας που μελετάμε. Τα αποτελέσματα παρουσιάζονται παρακάτω σε πίνακες και διαγράμματα.

Πίνακας 12.4.1 Συνολικό φορτίο τοίχου με ενσωματωμένο PCM για την 21 ^η Ιανουαρίου ΙΑΝΟΥΑΡΙΟΣ					
	Qall [Kjoule]				
	Af [m²]				
time [h]	1	2	3	4	5
1	-65,7	-177,8	-289,8	-401,8	-513,8
2	-122,5	-230,0	-337,5	-445,0	-552,5
3	-179,5	-282,0	-384,5	-487,0	-589,4
4	-235,8	-332,3	-428,7	-525,1	-621,5
5	-290,6	-379,8	-469,0	-558,2	-647,4
6	-342,8	-423,8	-504,7	-585,7	-666,6
7	-391,3	-463,0	-534,7	-606,4	-678,1
8	-366,8	-383,3	-399,9	-416,4	-433,0
9	96,9	401,6	706,3	1011,0	1315,7
10	745,4	1442,7	2140,0	2837,3	3534,6
11	1275,2	2256,3	3237,4	4218,5	5199,6
12	1839,1	2984,7	4130,3	5275,9	6421,5
13	2476,5	3601,9	4727,3	5852,7	6978,1
14	2916,3	3964,6	5012,8	6061,1	7109,3
15	2974,4	3795,3	4616,1	5437,0	6257,9
16	2635,6	3115,8	3596,0	4076,2	4556,4
17	1412,7	1179,9	947,0	714,2	481,4
18	947,6	703,5	459,5	215,5	-28,5
19	623,3	421,7	220,2	18,6	-182,9
20	363,4	197,0	30,6	-135,7	-302,1
21	170,7	31,5	-107,6	-246,8	-386,0
22	71,7	-53,5	-178,8	-304,0	-429,2
23	-2,5	-117,9	-233,2	-348,5	-463,9
24	-64,3	-172,8	-281,3	-389,8	-498,2
ΣQall [Kjoule/day]	16486,9	21080,5	25674,0	30267,6	34861,2

Πίνακας 12.4.2 Συνολικό φορτίο τοίχου με ενσωματωμένο PCM για την 21^η Φεβρουαρίου

ΦΕΒΡΟΥΑΡΙΟΣ					
	Qall [Kjoule]				
	Af [m²]				
time [h]	1	2	3	4	5
1	17,0	-95,7	-208,3	-320,9	-433,6
2	-44,6	-150,0	-255,5	-361,0	-466,4
3	-97,2	-197,0	-296,8	-396,6	-496,4
4	-148,0	-242,4	-336,9	-431,3	-525,8
5	-198,1	-286,8	-375,5	-464,2	-552,9
6	-246,0	-327,9	-409,8	-491,7	-573,6
7	-289,3	-362,7	-436,1	-509,4	-582,8
8	18,7	201,0	383,3	565,6	747,8
9	505,2	1008,2	1511,3	2014,3	2517,4
10	1064,6	1904,2	2743,7	3583,3	4422,8
11	1639,8	2714,2	3788,6	4863,0	5937,4
12	2450,0	3619,6	4789,3	5959,0	7128,6
13	3016,9	4153,6	5290,4	6427,2	7564,0
14	3358,8	4391,1	5423,3	6455,6	7487,9
15	3328,9	4118,6	4908,3	5698,0	6487,6
16	3007,6	3503,9	4000,2	4496,5	4992,9
17	2111,8	2101,5	2091,2	2080,9	2070,5
18	1306,8	1025,6	744,4	463,2	182,1
19	926,3	695,6	464,9	234,1	3,4
20	619,7	429,7	239,7	49,7	-140,3
21	373,2	216,4	59,6	-97,2	-254,0
22	188,5	56,6	-75,2	-207,1	-338,9
23	90,4	-29,0	-148,4	-267,9	-387,3
24	16,8	-93,6	-204,0	-314,4	-424,8
ΣQall [Kjoule/day]	23017,8	28354,7	33691,7	39028,6	44365,6

Πίνακας 12.4.3 Συνολικό φορτίο τοίχου με ενσωματωμένο PCM για την 21^η Μαρτίου

ΜΑΡΤΙΟΣ					
	Qall [Kjoule]				
	Af [m ²]				
time [h]	1	2	3	4	5
1	76,0	-33,2	-142,3	-251,5	-360,7
2	11,1	-90,1	-191,4	-292,6	-393,9
3	-43,2	-138,4	-233,5	-328,6	-423,7
4	-89,7	-179,5	-269,3	-359,1	-448,9
5	-133,5	-217,3	-301,0	-384,7	-468,4
6	-173,7	-250,0	-326,3	-402,5	-478,8
7	-83,5	-57,1	-30,6	-4,1	22,3
8	335,0	681,4	1027,7	1374,0	1720,3
9	824,5	1484,4	2144,3	2804,2	3464,1
10	1395,0	2348,4	3301,8	4255,3	5208,7
11	2097,2	3230,2	4363,2	5496,3	6629,3
12	2852,9	4054,0	5255,1	6456,2	7657,3
13	3351,0	4494,3	5637,6	6780,8	7924,1
14	3581,3	4577,8	5574,3	6570,7	7567,2
15	3456,0	4189,4	4922,8	5656,2	6389,6
16	3051,1	3479,9	3908,7	4337,4	4766,2
17	2359,7	2437,3	2515,0	2592,6	2670,2
18	1554,2	1335,3	1116,4	897,5	678,6
19	1064,0	818,1	572,2	326,3	80,3
20	737,7	537,0	336,2	135,4	-65,4
21	477,1	312,9	148,7	-15,5	-179,7
22	269,6	135,1	0,6	-133,9	-268,4
23	153,4	35,3	-82,8	-200,9	-319,0
24	73,8	-33,3	-140,5	-247,7	-354,9
ΣQall [Kjoule/day]	27196,9	33151,8	39106,7	45061,7	51016,6

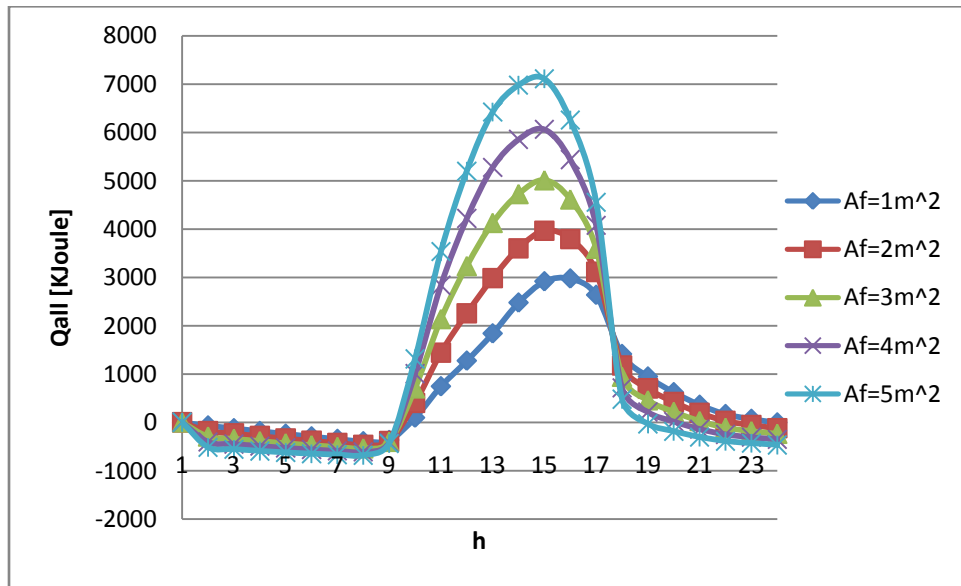
Πίνακας 12.4.4 Συνολικό φορτίο τοίχου με ενσωματωμένο PCM για την 21^η Νοεμβρίου

ΝΟΕΜΒΡΙΟΣ					
	Qall [Kjoule]				
	Af [m ²]				
time [h]	1	2	3	4	5
1	48,7	-50,8	-150,2	-249,7	-349,1
2	-1,6	-90,8	-180,0	-269,3	-358,5
3	-43,0	-124,0	-205,0	-286,0	-367,1
4	-80,3	-155,3	-230,3	-305,3	-380,3
5	-118,4	-189,1	-259,8	-330,5	-401,2
6	-156,9	-224,2	-291,5	-358,8	-426,1
7	-194,0	-257,5	-320,9	-384,4	-447,9
8	-109,9	-81,1	-52,3	-23,5	5,3
9	436,7	873,5	1310,3	1747,1	2183,9
10	1081,0	1932,3	2783,6	3634,9	4486,2
11	1746,9	2894,0	4041,0	5188,0	6335,0
12	2700,1	3997,4	5294,8	6592,2	7889,6
13	3369,3	4650,5	5931,6	7212,8	8494,0
14	3733,6	4881,2	6028,9	7176,5	8324,2
15	3772,2	4692,2	5612,3	6532,3	7452,3
16	3302,1	3815,1	4328,0	4840,9	5353,8
17	1916,0	1653,0	1389,9	1126,9	863,8
18	1338,1	1047,9	757,7	467,5	177,3
19	952,1	716,4	480,7	244,9	9,2
20	644,7	453,1	261,4	69,8	-121,8
21	400,7	244,6	88,6	-67,4	-223,4
22	207,5	80,3	-47,0	-174,2	-301,4
23	113,8	1,0	-111,7	-224,5	-337,2
24	46,7	-54,6	-155,9	-257,2	-358,5
ΣQall [Kjoule/day]	25106,0	30705,0	36304,0	41903,1	47502,1

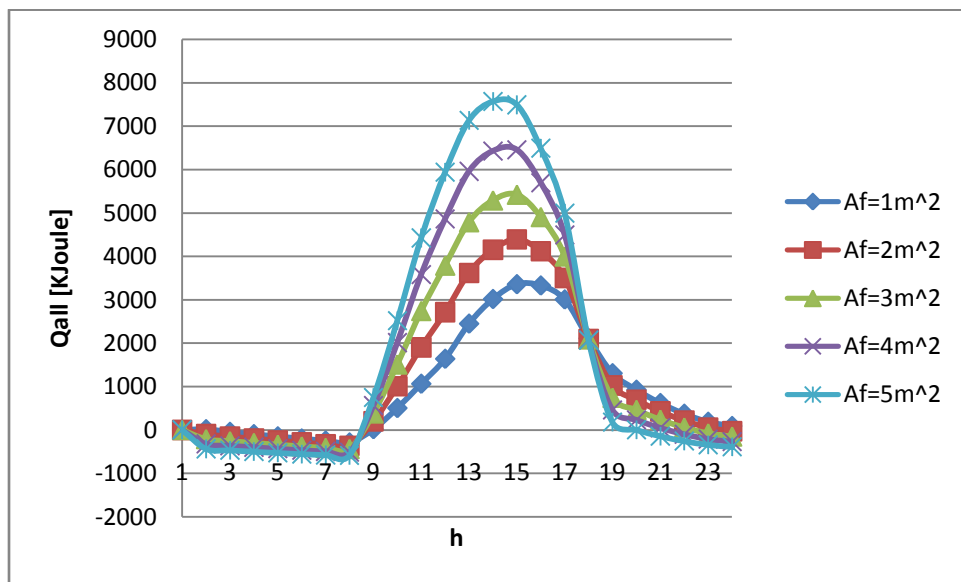
Πίνακας 12.4.5 Συνολικό φορτίο τοίχου με ενσωματωμένο PCM για την 21^η Δεκεμβρίου

ΔΕΚΕΜΒΡΙΟΣ					
	Qall [Kjoule]				
	Af [m ²]				
time [h]	1	2	3	4	5
1	-71,4	-179,8	-288,3	-396,7	-505,1
2	-122,2	-223,3	-324,4	-425,5	-526,6
3	-172,7	-266,9	-361,1	-455,4	-549,6
4	-223,3	-311,3	-399,3	-487,3	-575,2
5	-274,0	-356,2	-438,3	-520,5	-602,6
6	-323,8	-399,8	-475,9	-551,9	-628,0
7	-370,5	-439,4	-508,2	-577,1	-645,9
8	-390,3	-435,8	-481,3	-526,9	-572,4
9	19,7	270,4	521,1	771,7	1022,4
10	722,9	1411,3	2099,7	2788,0	3476,4
11	1289,7	2289,9	3290,0	4290,2	5290,3
12	1890,4	3079,3	4268,1	5456,9	6645,8
13	2557,5	3729,6	4901,7	6073,8	7245,9
14	2991,4	4071,3	5151,2	6231,1	7311,0
15	3065,7	3923,8	4781,8	5639,9	6497,9
16	2586,0	3015,3	3444,6	3873,9	4303,1
17	1380,8	1132,8	884,8	636,8	388,8
18	922,4	674,7	427,0	179,4	-68,3
19	601,8	399,8	197,9	-4,1	-206,0
20	345,8	180,3	14,9	-150,5	-315,9
21	163,7	23,9	-115,8	-255,6	-395,3
22	64,6	-61,9	-188,3	-314,7	-441,1
23	-9,5	-126,0	-242,5	-358,9	-475,4
24	-69,2	-177,4	-285,6	-393,9	-502,1
ΣQall [Kjoule/day]	16575,5	21224,6	25873,7	30522,8	35172,0

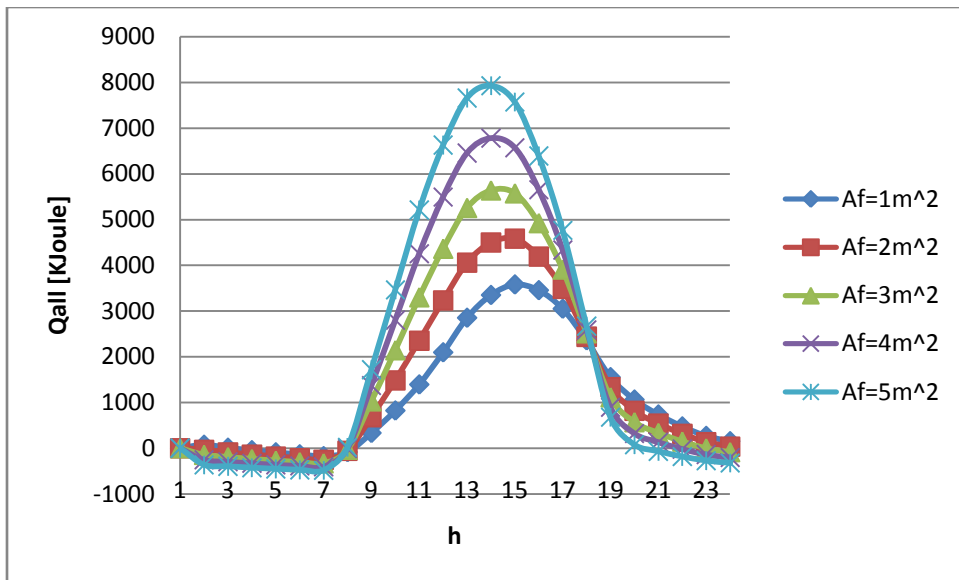
Τα αντίστοιχα διαγράμματα είναι,



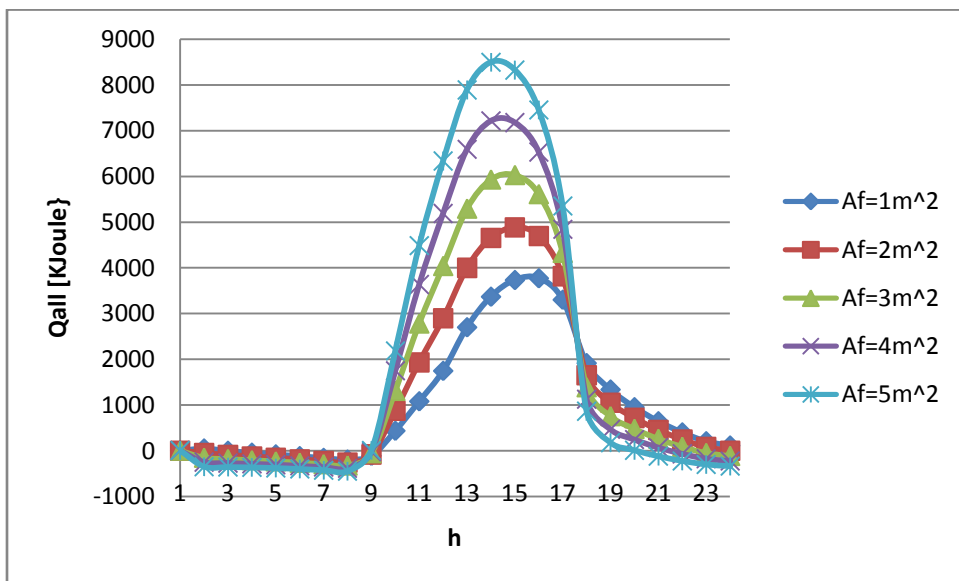
Διάγραμμα 12.4.1 Συνολικό φορτίο εξωτερικού τοίχου με ενσωματωμένο PCM για την 21^η Ιανουαρίου.



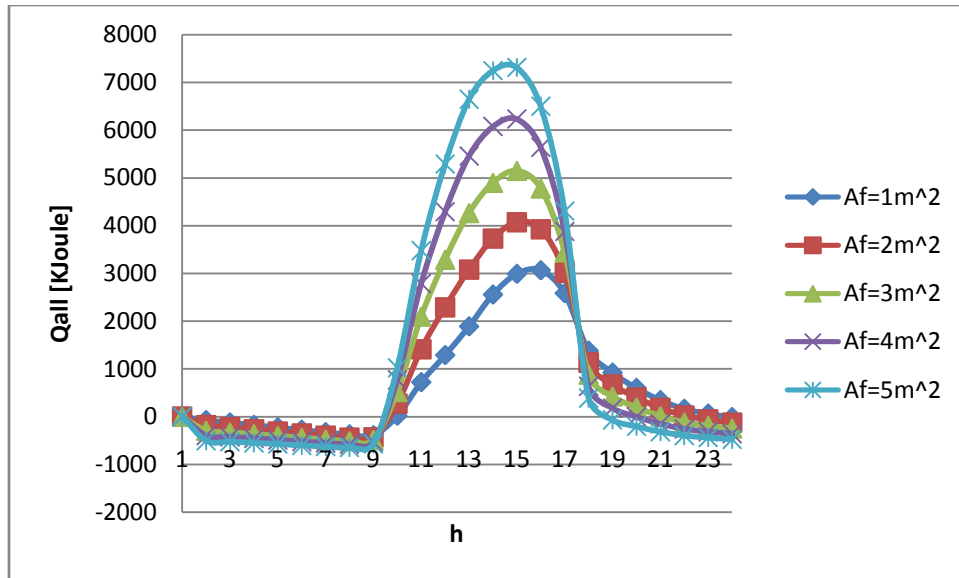
Διάγραμμα 12.4.2 Συνολικό φορτίο εξωτερικού τοίχου με ενσωματωμένο PCM για την 21^η Φεβρουαρίου.



Διάγραμμα 12.4.3 Συνολικό φορτίο εξωτερικού τοίχου με ενσωματωμένο PCM για την 21^η Μαρτίου.



Διάγραμμα 12.4.4 Συνολικό φορτίο εξωτερικού τοίχου με ενσωματωμένο PCM για την 21^η Νοεμβρίου.



Διάγραμμα 12.4.5 Συνολικό φορτίο εξωτερικού τοίχου με ενσωματωμένο PCM για την 21^η Δεκεμβρίου.

Παρατηρούμε ότι,

- Για το συνολικό φορτίο εξωτερικού τοίχου με ενσωματωμένο στρώμα PCM προκύπτουν τιμές οι οποίες δίνουν τα ίδια συμπεράσματα με τη θερμοκρασία που αναπτύσσει το PCM κατά τη διάρκεια του 24ώρου. Το PCM αποθηκεύει θερμότητα τις ώρες που προσπίτει ηλιακή ακτινοβολία G_t στον εξωτερικό τοίχο, αυξάνοντας έτσι το φορτίο του και τις ώρες που η ηλιακή ακτινοβολία είναι μηδενική αποδίδει αυτή την θερμότητα στο περιβάλλον.
- Η μέγιστη τιμή του φορτίου του PCM εμφανίζεται για κάθε μήνα θέρμανσης τις ίδιες ώρες που αναπτύσσεται και η μέγιστη θερμοκρασία του, δηλαδή τη στιγμή που προσπίπτει στον εξωτερικό τοίχο η μέγιστη στιγμιαία ακτινοβολία G_t .
- Μεγαλύτερες τιμές φορτίου στο PCM αναπτύσσονται το Νοέμβριο, με το Μάρτιο και το Φεβρουάριο να ακολουθούν, και στη συνέχεια το Δεκέμβριο με τον Ιανουάριο να παρουσιάζει το μικρότερο φορτίο που μπορεί να αναπτύξει το PCM,
- Το συνολικό φορτίο τοίχου προκύπτει θετικό από τις 09:00 έως τις 22:00 για τον Ιανουάριο και το Δεκέμβριο, . Τον Νοέμβριο προκύπτει θετικό από τις 09:00 έως τη 1:00, τον Φεβρουάριο από τις 08:00 έως τις 1:00 και τον Μάρτιο από τις

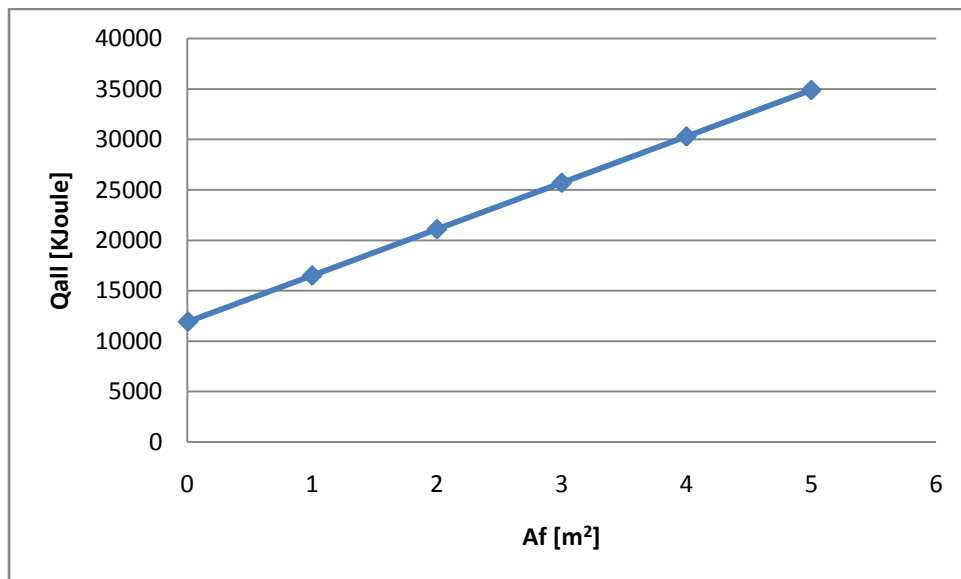
08:00 έως τις 02:00, που σημαίνει ότι έχουμε κέρδος για το τοίχο. Τις υπόλοιπες ώρες προκύπτει αρνητικό, συνεπώς έχουμε απώλειες για το τοίχο. Βλέπουμε όμως ότι αυξάνοντας την επιφάνεια υαλοπινάκων οι ώρες που προκύπτει θετικό μειώνονται σταδιακά για όλους τους μήνες που εξετάζουμε/

Θα πρέπει πάλι να σημειώσουμε πως 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.

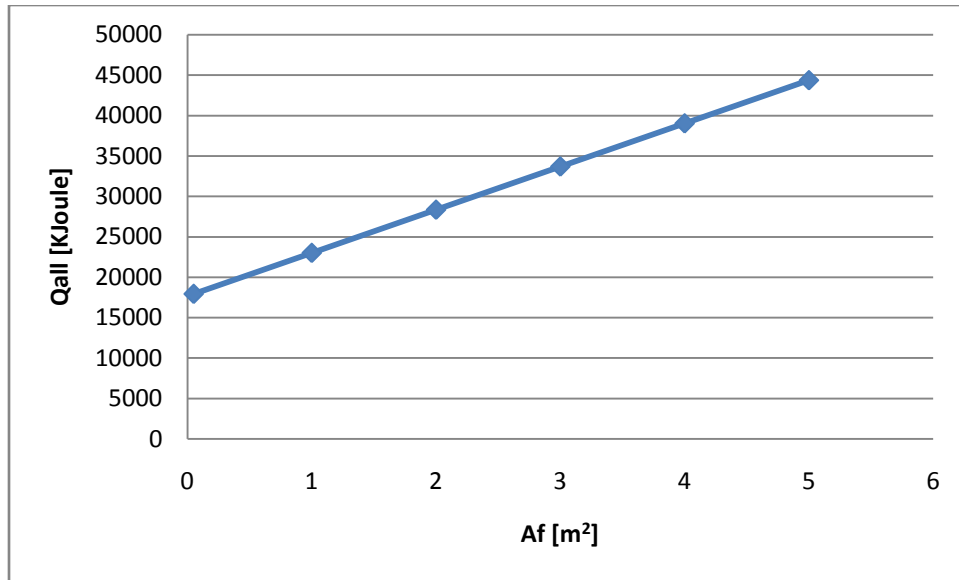
12.5 Εύρεση συνδυασμού χαρακτηριστικών για την επιτευξη ψευδοαδιαβατικού τοίχου

Τα φορτία που λαμβάνουμε εδώ υπόψιν μας για την εύρεση του ψευδοαδιαβατικού τοίχου είναι τα εξής,

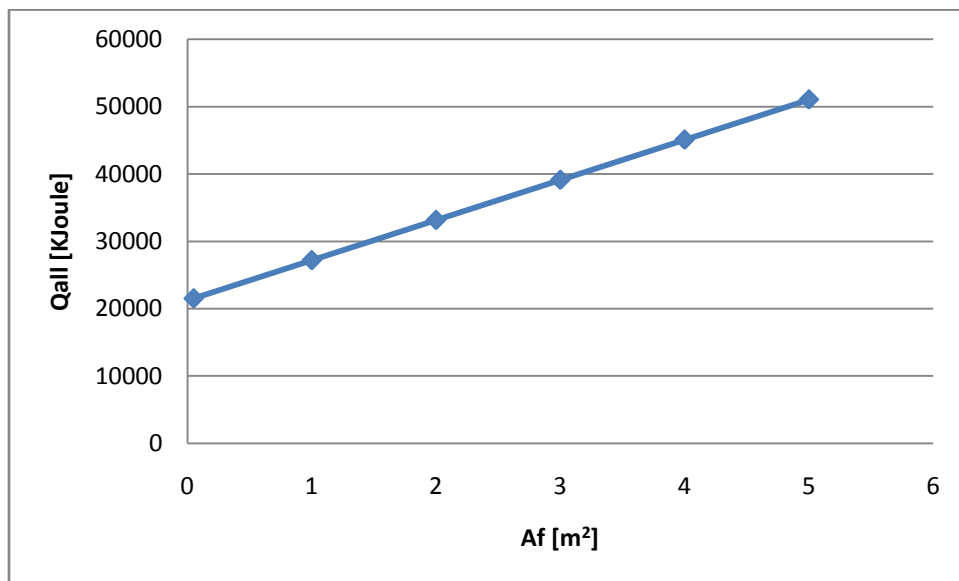
- ηλιακό θερμικό κέρδος υαλοπινάκων SHG,
- φορτίο λόγω αγωγής θερμότητας διαμέσου υαλοπινάκων Q_{Lf} ,
- φορτίο τοίχου με ενσωματωμένο PCM Q_{pcm}



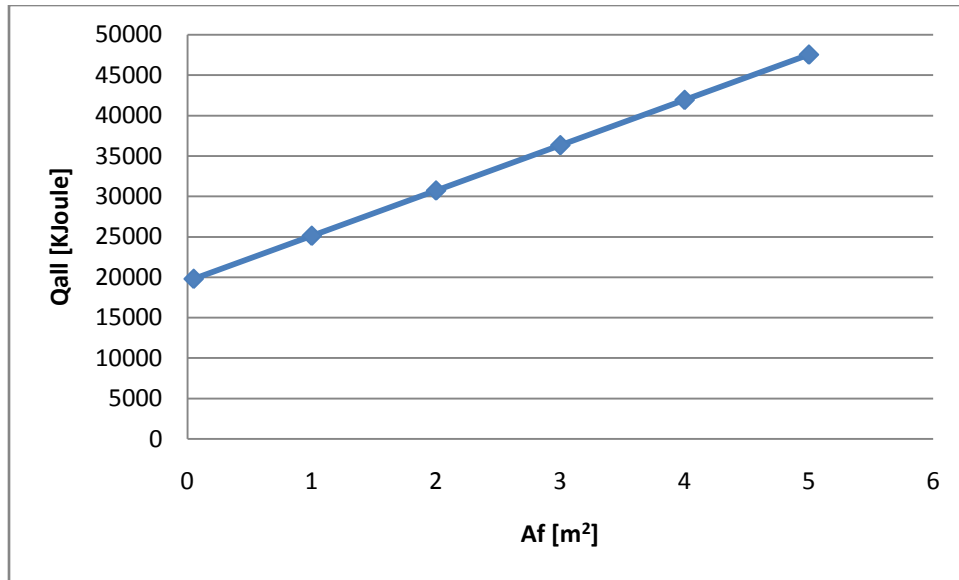
Διάγραμμα 12.5.1 Συνολικό ημερήσιο φορτίο εξωτερικού τοίχου με ενσωματωμένο PCM για την 21^η Ιανουαρίου.



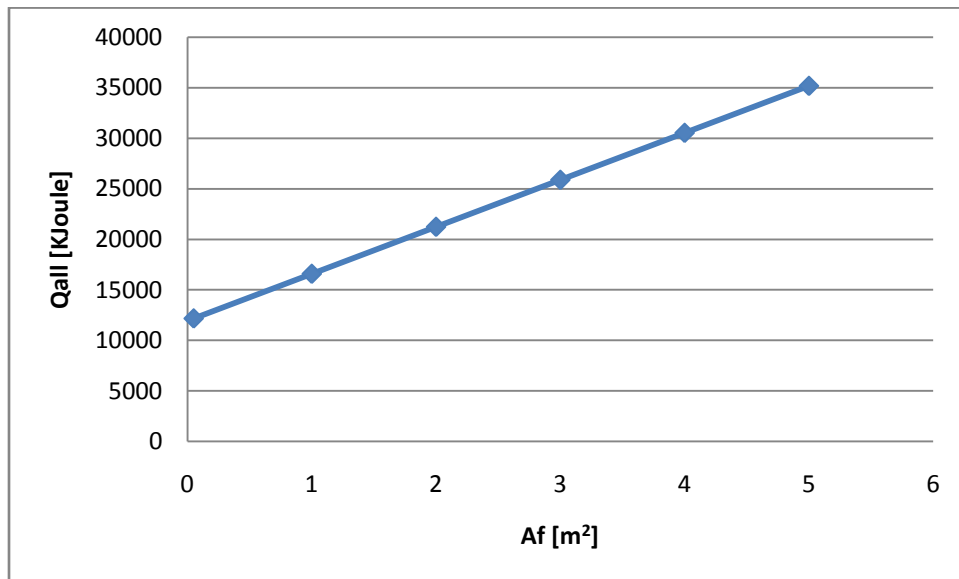
Διάγραμμα 12.5.2 Συνολικό ημερήσιο φορτίο εξωτερικού τοίχου με ενσωματωμένο PCM για την 21^η Φεβρουαρίου.



Διάγραμμα 12.5.3 Συνολικό ημερήσιο φορτίο εξωτερικού τοίχου με ενσωματωμένο PCM για την 21^η Μαρτίου.



Διάγραμμα 12.5.4 Συνολικό ημερήσιο φορτίο εξωτερικού τοίχου με ενσωματωμένο PCM για την 21^η Νοεμβρίου.



Διάγραμμα 12.5.5 Συνολικό ημερήσιο φορτίο εξωτερικού τοίχου με ενσωματωμένο PCM για την 21^η Δεκεμβρίου.

Παρατηρούμε ότι,

- Μεγαλύτερες τιμές συνολικού ημερήσιου φορτίου εξωτερικού τοίχου ενσωματωμένο με PCM αναπτύσσονται το Νοέμβριο, με το Μάρτιο και το Φεβρουάριο να ακολουθούν, και στη συνέχεια το Δεκέμβριο με τον Ιανουάριο να παρουσιάζει το μικρότερο φορτίο που μπορεί να αναπτύξει ο τοίχος με PCM,
- Το στρώμα PCM που έχουμε τοποθετήσει στον εξωτερικό τοίχο αποθηκεύει μεγάλα ποσά θερμότητας από το ηλιακή θερμική ακτινοβολία που προσπίπτει στο τοίχο και οι απώλειες που προκύπτουν, είτε από το PCM είτε από τις απώλειες λόγω αγωγής διαμέσου των υαλοπινάκων, δεν είναι αρκετά μεγάλες ώστε να αντισταθμίσουν αυτό το ηλιακό θερμικό κέρδος. Συνεπώς, δεν προκύπτει για κανέναν συνδυασμό παραμέτρων ψευδοαδιαβατικός τοίχος.

Γ' ΜΕΡΟΣ: ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. http://en.wikipedia.org/wiki/Building_envelope
2. http://library.tee.gr/digital/m2414/m2414_androutsopoulos.pdf
3. <http://www.c2es.org/docUploads/BuildingEnvelope.pdf>
4. <http://blog.titanwall.com/tag/envelope-building-science>
5. Αιμ.Γ. Κορωναίος, Γ.Ι.Πουλάκος, Τεχνικά υλικά, τόμος 2, 2005
6. Κλειώ Ν. Αξαρή, (2009). Ενεργειακός σχεδιασμός και ενεργειακή απόδοση κτιρίων – Γενικές αρχές βιοκλιματικού σχεδιασμού.
7. http://www.cres.gr/energy_saving/Ktiria/ktiria_intro.htm
8. Άγις Μ. Παπαδόπουλος, Προδιαγραφές ιδιοτήτων θερμομονωτικών υλικών υλικών, 2004
9. Πέρδιος Σ.Δ., (2007). Επεμβάσεις εξοικονόμησης ενέργειας σε κτίρια – αθλητικά κέντρα - βιομηχανίες - μεταφορές.
10. Αντωνόπουλος Κ.Α., (2011). Κλιματισμός, Μέρος Πρώτο.
11. Αραβαντινός Δ., (2008). Εξωτερικές τοιχοποιίες: υλικά και κατασκευή, θερμομόνωση και υγραμόνωση, επίχριση και βαφή, συντήρηση και επισκευή.
12. Παπαϊωάννου Κ., (1998). Η τεχνολογία της τοιχοποιίας.
13. Μπίκας Δ., (2007). Ξύλινη στέγη: κατασκευή, υλικά, θερμομόνωση, στεγανοποίηση, επικαλύψεις, φωτοβολταϊκά, εξαρτήματα, επισκευή.
14. Αραβαντινός Δ., (2005). Θερμομόνωση και στεγανοποίηση των κτιρίων: διάγνωση, ευαίσθητα σημεία, επιλογή λύσης, υλικά, εφαρμογή.

15. ενERGON Τεχνική, Φυτεμένο δώμα, <<http://www.energontexniki.gr/data.php?timitat1=52593&timitat2=27966&timitat3=0&timitat4=0&timitat5=0&timitat6=0&timitat7=0>>.
16. Ανδρουτσόπουλος Α., (2008). Δυνατότητες εφαρμογής ΑΠΕ ως δομικά προϊόντα στο κέλυφος των κτιρίων.
17. Σκαρλάτος Π., (2007). Δάπεδα εσωτερικών και εξωτερικών χώρων: υλικά, επιλογή, τοποθέτηση, επεξεργασία, συντήρηση.
18. Τεχνικό Επιμελητήριο Ελλάδας Τμήμα Κεντρικής Μακεδονίας, (2009). Κατασκευές από φέρουσα τοιχοποιία, κανονισμός - βλάβες - αποκατάσταση.
19. Σύλλογος πολιτικών μηχανικών Ελλάδας, (2012). Τεχνική οδηγία 3:Σκυροδέτηση σε συνήθεις καιρικές συνθήκες.
20. Ριζάκος ΑΒΕΤΕ, <<http://www.rizakos.gr/>>.
21. Τεχνική Οδηγία Τ.Ο.Τ.Ε.Ε. 20701-1/2010, -2/2010, -5/2010
22. www.cres.gr/greenbuilding/PDF/odigies/ENVELOPE_FINAL_review.pdf
23. Glass for Europe, Υαλοπίνακες ηλιακού ελέγχου για μεγαλύτερη ενεργειακή απόδοση, 2006
24. www.patrinos.gr/images/products/1293621096IDIOTITES%20ENERG EIAKON.pdf
25. www.garoufalisglass.gr/products/glasses/triplex-laminated
26. koufomata-expert.blogspot.gr
27. B.P. Jelle, 'Traditional, state – of – the – art and future thermal building insulation materials and solutions – Properties, requirements and possibilities', 2011

28. Κ.Α.Π.Ε. ,Οδηγός εξοικονόμησης ενέργειας μέσω θερμομόνωσης ,1999
29. www.ktizontastomellon.gr/bibliothiki
30. www.cres.gr/energy_saving/Ktiria/bioklimatikos_sxediasmos.htm
31. Σ. Κεσίδου, Μονωτικά υλικά και περιβάλλον, 2010
32. http://en.wikipedia.org/wiki/Vacuum_insulated_panel
33. Βάιος Ηλίας Σελλούντος, Θέρμανση & κλιματισμός : μελέτη, κατασκευή, υλικά, δίκτυα, εξοπλισμός / τόμος Α , 2002
34. www.tsanosglasstech.gr
35. Χ.Τζιβανίδης, Φ.Γιώτη, Κ.Αντωνόπουλος, Επίδραση του συνδυασμού μόνωσης και υαλοπινάκων στη μεταβατική κατανάλωση ενέργειας των κτιρίων, 2010
36. Κανονισμός Ενεργειακής Απόδοσης Κτιρίων (Κ.Εν.Α.Κ.)
37. <http://www.ktirio.gr/innet/UsersFiles/sa/documents/articles/2009-07-184.pdf>)
38. http://kataskeui.blogspot.gr/2010/08/blog-post_19.html
39. [_http://el.wikipedia.org/wiki/Ηλιακή_ενέργεια](http://el.wikipedia.org/wiki/Ηλιακή_ενέργεια)
40. [_http://www.econ3.gr/readmore.php?article_id=51771295788153](http://www.econ3.gr/readmore.php?article_id=51771295788153)
41. www.daikin.be/ul/contact-en-support/faq/algeween/faq13.jsp
42. Atul Sharma , V.V. Tyagi , C.R. Chen , D. Buddhi <<Review on thermal energy storage with phase change materials and applications>>
43. A. Shanmuga Sundaram, R.V. Seeniraj, R. Velraj: An experimental investigation on passive cooling system comprising phase change

- material and two-phase closed thermosyphon for telecom shelters in tropical and desert regions
44. <http://www.fibre2fashion.com/industry-article/9/884/phase-changematerials-overview2.asp>
 45. <http://gearjunkie.com/everest-gear>
 46. <http://www.outlast.com/index.php?id=70&L=0>
 47. http://www.sierrabmwonline.com/index.php/bmw-riders-apparel-2011-bmw-functional-underwear-c-169_80
 48. http://en.wikipedia.org/wiki/Phase_Change_Material
 49. Ghoneim.A.A. & Klein.S.A, Phase Change Materials Analysis, Solar Energy, Vol.47, No.3., 1991
 50. Lane George A., Solar Heat Storage: Latent Heat Materials Volume I: Background and Scientific Principles. Vol. I. 1983, Florida: CRC Press, Inc.
 51. [_http://www.baulinks.de/webplugin/2006/1048.php4](http://www.baulinks.de/webplugin/2006/1048.php4)
 52. Phase Change Materials-Part V., Harald Mehling and Luisa Cabeza[
 53. Vineet Veer Tyagi, D. Buddhi,PCM thermal storage in buildings: A state of art, Renewable and Sustainable Energy Reviews, 11, 2007, p. 1146-1166.
 54. <http://www.rubitherm.de/>. (n.d.).
 55. S Takeda, K.Nagano, T.Mochida, K.Shimakura, Development of a ventilation
 56. Piia Lamberg, Reijo Lehtiniemi, Anna-Maria Henell, Numerical andexperimental investigation of melting and freezing processes in phase change material storage

57. Eleftherios Dimitrios Kravvaritis, Kimon Antonopoulos, Christos Tzivanidis, Solar energy management using PCM passive systems in the Athens area buildings, (υπό δημοσίευση)
58. S.D. Sharma, Kazunobu Sagara, Latent Heat Storage Materials and Systems: A Review, International Journal of Green Energy, February 2007
59. Manish K. Rathod, Jyotirmay Banerjee, Thermal stability of phase change materials used in latent heat energy storage systems: A review, Renewable and Sustainable Energy Reviews, 15 November 2012
60. Ajeet Kumar Rai, Ashish Kumar, A Review on Phase Change Materials and Their Applications, International Journal of Advanced Research in Engineering and Technology Vol. 3, December 2012
61. D. Zhoua, C.Y. Zhaob' Review on thermal energy storage with phase change materials (PCMs) in building applications'
62. H.Mehling, L.F.Cabeza, Heat and cold storage with PCM:An up to date introduction into basics and applications, Solid-liquid phase change materials.
63. Χ. Τζιβανίδης: «Σημειώσεις του μαθήματος Θερμική Συμπεριφορά Κτιρίων» Εκδόσεις Ε.Μ.Π. Μάιος 2006
64. H.K.D.H. Bhadeshia, "Thermal Analysis Techniques", University of Cambridge, Materials Science & Metallurgy
65. Ana Lazaro, Eva Gunther, Harald Mehling, Stefan Hiebler, Jose M Marin and Belen Zalba: Verification of a T-history installation to measure enthalpy versus temperature curves of phase change materials
66. http://en.wikipedia.org/wiki/Differential_thermal_analysis

67. http://en.wikipedia.org/wiki/Differential_scanning_calorimetry
68. <http://www.npl.co.uk/science-technology/advanced-materials/measurement-techniques/thermal-analysis/differential-scanning-calorimetry>
69. <http://materials.npl.co.uk/matsol/thermal.html>
70. Zhang Yinping, Jiang Yi: A simple method, the T –history method, of determining the heat of fusion, specific heat and thermal conductivity of phase-change materials
71. Jose M Marin, Belen Zalba, Luisa F Cabeza and Harald Mehling: Determination of enthalpy–temperature curves of phase change materials with the temperature-history method: improvement to temperature dependent properties
72. Jong Hyeon Peck, Jae-Jun Kim, Chaedong Kang, Hiki Hong: A study of accurate latent heat measurement for a PCM with a low melting temperature using T-history method
73. Victor delValle, Dale Bessette, Lisa Sopkow, John Zhou and Kaz Szymocha: Long-term Performance of the Phase Change Material Applied for Heat Storage
74. E. Gunther, S. Hiebler, H. Mehling , MEASUREMENT OF THE ENTHALPY OF PCM.
75. Pablo Dolado , Ana Lazaro, Jose M. Marin, Belen Zalba , Characterization of melting and solidification in a real scale PCM-air heat exchanger: Numerical model and experimental validation.
76. Elena Palomo del Barrio , Jean-Luc Dauvergne, A non-parametric method for estimating enthalpy-temperature functions of shape-stabilized phase change materials.

77. Robert Cernjil , Jan Toman , Jaroslav SestAk , Measuring the effective specific heat of building materials.
78. K. Darkwa , P.W. O_Callaghan , Simulation of phase change drywalls in a passive solar building , Received 22 April 2005; accepted 7 October 2005 .
79. www.google.com
80. Farid M.M., Khudhair M.A., Razack S.A.K., Al-Hallaj S., A review on phase change energy storage: materials and applications, Energy Conversion and Management 45, 2004.
81. M. Huang, P. Eames, Phase change materials for limiting temperature rise in building integrated photovoltaic, Int. J. Solar Energy
82. Kern M, Aldrich RA. Phase change energy storage in a greenhouse solar heating system. ASME paper no. 79-4028. Am Soc. Agric. Eng., St. Joseph, MI; 1979. Kern meeting 24--27, University of Manitoba,
83. F. Tan, C. Tso, Cooling of mobile electronic devices using pcm, Applied thermal engineering, Vol 24
84. P. Espeau, D. Mondieig, 'Active Package' for thermal protection of food products, Packing Technology and Science, Vol 10.
85. D. Mondieig, F. Rajabalee, Protection of temperature sensitive biomedical products using pcm, Transfusion and Aphaeresis science, Vol 28 .
86. Denise Mondieig a,* , Fazil Rajabalee a, Alain Laprie b, Harry A.J. Oonk c, Thereza Calvetd, Miguel Angel Cuevas-Diarte , Protection of temperature sensitive biomedical products using molecular alloys as phase change material , Received 10 July 2002; accepted 2 November 2002 .

87. <http://www.outlast.com>
88. <http://www.nrel.gov/vehiclesandfuels/energystorage/pdfs/techbr.pdf>
89. <http://www.pcmenergy.com/products/telecom.htm>
90. http://en.wikipedia.org/wiki/Base_Station_Subsystem
91. <http://freespace.virgin.net/m.eckert/index.htm>
92. Neeper DA, Thermal dynamics of wallboard with latent heat storage, Solar Energy,2000 .
93. Kissok JK, Hannig JM, Whitney TI, Drake ML, Testing and simulation of phase change wallboard for thermal storage in buildings.Proceedings of 1998 international solar energy conference, New York ,USA , 1998 .
94. A. Pasupathy, R. Velraj, R.V. Seeniraj. Phase change material- based building architecture for thermal management in residential and commercial establishment;2006.
95. Na Zhu, Zhenum Ma, Shengwei Wang, Dynamic characteristics and energy performance of buildings using phase change materials.
96. Kaygusuz K. Investigation of a combined solar-heat pump system for residential heating Part1: experimental results. Int J Energy Res 1999;23(14):1213-23.
97. Koschenz M, Lehmann B. Development of a thermally activated ceiling panel with PCM for application in lightweight and retrofitted buildings. Energy Build 2004;36(6):567–78.
98. Kunping Lin, Yinping Zhang, Xu Xu , Hongfa Di,Rui Yang, Penghua Qin, Experimental study of under-floor electric heating system with shape-stabilized PCM plates.

99. Farid MM, Chen XD. Domestic electrical space heating with heat storage. Proc Inst Mech Eng A: J Power Energy 1999;213(2):83–92.
100. Farid MM, Kong WJ. Underfloor heating with latent heat storage. Proc Inst Mech Eng A: J Power Energy 2001;215(5):601–9.
101. Zalba B, Marin JM, Sanchez-Valverde B, Cabeza LF. Free-cooling. An application of PCMs in TES; proceedings of the third workshop of IEA ECES IA Annex 17, Tokyo, Japan. 2002.
102. University of Nottingham. <http://www.nottingham.ac.uk/sbe/research/ventcool/objectives.htm>, 2002.
103. Wakiltojjar S., Saman M., Domestic heating and cooling with thermal storage. Eight international conference on thermal energy storage , Stuttgart, Germany, 2000 .
104. Hassan MM, Beliveau Y. Modeling of an integrated solar system. Build Environ 2008;43(5):804–10.
105. Schweigler C, Hiebler S, Keil C, Kobel H, Kren C, Mehling H. Low-temperature heat storage for solar heating and cooling applications. ASHRAE Trans 2007;113(1):89–96.
106. Wang XC, Niu JL, Van Paassen AHC. Raising evaporative cooling potentials using combined cooled ceiling and MPCM slurry storage. Energy Build 2008;40(9):1691–8.
107. Telkes M. Thermal storage for solar heating and cooling. In: Proceedings of the workshop on solar energystorage sub systems for heating and cooling of buildings, Charlottesville, University of Virginia, 1975.

108. Askew GL. Solar heating utilization a paraffin's phase change material. In: Proceedings of the second national passive solar conference, Philadelphia, PA, 1978.
109. Farouk B, Guceri SI. Tromb–Michal wall using a phase change material. In: Proceedings of the second Miami international conference on alternative energy, Miami, 1979.
110. Bourdeau LE. Study of two passive solar systems containing phase change materials for thermal storage. In: Hayes J, Snyder R, editors. Proceedings of the fifth national passive solar conference, 19–26 October, Amherst. Newark, DE: American Solar Energy Society; 1980. p. 297–301.
111. Buddhi D, Sharma SD. Measurements of transmittance of solar radiation through stearic acid: latent heat storage material. *Energy Convers Manage* 1999;40:1979–84.
112. Arkar C, Medved S., Enhanced solar assisted building ventilation system using sphere encapsulated PCM thermal heat storage, Advanced thermal energy storage techniques-feasibility studies and demonstration projects 2nd workshop, April 2002, Ljubliana Slovenia
113. Shapiro MM, Feldman D, Hawes D, Banu D. PCM thermal storage in wallboard. In: Proceedings of the 12th passive solar conference, Portland, 1987. p. 48–58.
114. Shapiro M. Development of the enthalpy storage materials, mixture of methyl stearate and methyl palmitate. Subcontract Report to Florida Solar Energy Center, 1989.
115. Feldman D, Khan MA, Banu D. Energy storage composite with an organic phase change material. *SolEnergy Mater* 1989;18:333–41.

116. Feldman D, Shapiro M, Banu D, Fuks CJ. Fatty acids and their mixtures as phase change materials for thermal energy storage. *Sol Energy Mater* 1989;18:201–16.
117. Feldman D, Banu D, Hawes D, Ghanbari E. Obtaining an energy storing building material by direct incorporation of an organic phase change material in gypsum wallboard. *Sol Energy Mater* 1991;22: 231–42.
118. Neeper DA, Thermal dynamics of wallboard with latent heat storage, *Solar Energy*,2000 .
119. Kissok JK, Hannig JM, Whitney TI, Drake ML, Testing and simulation of phase change wallboard for thermal storage in buildings. *Proceedings of 1998 international solar energy conference, New York ,USA , 1998 .*
120. Buddhi D.Mishra HS, Sharma A, Theoretical performance studies of a test cell having a PCM window in south direction, *India* 2003 .
121. Ismail KAR, Henriquez JR. Thermally effective windows with moving phase change material curtains. *App Thermal Eng* 2001;21:1909–23.
122. Guthertz JM, Schiler ME. A passive solar heating system for the perimeter zone of office buildings. *Energy Sources* 1991;13:39–54.