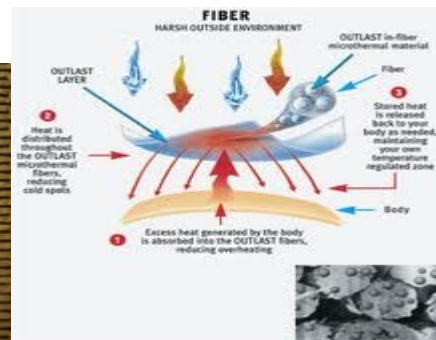




ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ
ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΤΟΜΕΑΣ ΘΕΡΜΟΤΗΤΑΣ

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

**"ΠΑΘΗΤΙΚΟ ΣΥΣΤΗΜΑ ΘΕΡΜΑΝΣΗΣ ΧΩΡΟΥ
ΜΕ ΤΗ ΧΡΗΣΗ PCM"**



ΤΗΣ ΦΟΙΤΗΤΡΙΑΣ: ΦΛΩΡΟΥ ΜΑΡΙΑΣ

ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ :

ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ κ. Κ. Α. ΑΝΤΩΝΟΠΟΥΛΟΣ.

**ΠΑΘΗΤΙΚΟ ΣΥΣΤΗΜΑ ΘΕΡΜΑΝΣΗΣ ΧΩΡΟΥ ΜΕ ΤΗ
ΧΡΗΣΗ PCM**

ΑΘΗΝΑ, ΜΑΡΤΙΟΣ 2011

Στο σημείο αυτό οφείλω ένα μεγάλο ευχαριστώ στον καθηγητή και επιβλέποντα μου κύριο Κ.Α.Αντωνόπουλο για την βοήθεια , τις υποδείξεις , την επιμονή , τον χρόνο και τον ενθουσιασμό του. Επιπλέον θα ήθελα να ευχαριστήσω την οικογένεια μου για την κατανόηση και την συμπαράσταση τους.

Αφιερώνω αυτό το σύγγραμμα στον παππού μου...

ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Στο θεωρητικό μέρος της εργασίας πραγματοποιείται μια έρευνα γύρω από τα υλικά αλλαγής φάσης , τα χαρακτηριστικά και τις εφαρμογές τους. Στο πειραματικό μέρος θα εξετασθεί η θέρμανση χώρου ο οποίος βρίσκεται στην περιοχή της Αθήνας με γεωγραφικό πλάτος $37,97^{\circ}$. Ο χώρος έχει εμβαδόν δαπέδου $10*10=100\text{m}^2$ και ύψος 3m. Η επιφάνεια του υαλοπίνακα είναι 15m^2 και βρίσκεται στο νότιο τοίχο και ταυτόχρονα τοποθετώ στον βόρειο τοίχο στρώμα PCM. Το στρώμα αυτό απορροφά θερμότητα και μεταπίπτει στην υγρή φάση. Επιπλέον θα εξεταστούν κάποιες παραλλαγές του παραπάνω προβλήματος με σκοπό να καταλήξουμε σε κάποια συμπεράσματα. Η μελέτη θα πραγματοποιηθεί την 21 μέρα για τους μήνες Νοέμβριο , Δεκέμβριο, Ιανουάριο , Φεβρουάριο και Μάρτιο . Ο χώρος που εξετάζουμε είναι ένα νοσοκομείο . Για την κάλυψη των ενεργειακών αναγκών του κτιρίου χρησιμοποιούνται και άλλα κοινά συμπληρωματικά μέσα με σκοπό την διατήρηση της θερμοκρασίας του χώρου στους 20°C .

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1:Εισαγωγή	17
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2:Θερμική ενέργεια και περιβαλλοντικές επιπτώσεις	
2.1.Θερμική ενέργεια.....	19
2.2.Εφαρμογές θερμικής ενέργειας.....	19
2.3.Περιβαλλοντικές επιπτώσεις.....	20
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3:Αρχές Θερμοδυναμικής	
3.1.Αποθήκευση θερμότητας ως αισθητή θερμότητα.....	27
3.1.1. Αποθήκευση θερμότητας ως αισθητή θερμότητα σε υγρά μέσα αποθήκευσης.....	27
3.1.2. Αποθήκευση θερμότητας ως αισθητή θερμότητα σε στερεά μέσα αποθήκευσης.....	28
3.2.Αποθήκευση θερμότητας ως λανθάνουσα θερμότητα.....	29
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4:Υλικά αλλαγής φάσης	
4.1.Εισαγωγή στα υλικά αλλαγής φάσης	31
4.2.Κατηγοριοποίηση των υλικών αλλαγής φάσης.....	33
4.2.1.Οργανικά υλικά αλλαγής φάσης.....	34
4.2.2.Ανόργανα υλικά αλλαγής φάσης.....	40
4.2.3.Ευτηκτικά.....	46
4.3.Ιδιότητες των υλικών αλλαγής φάσης.....	48
4.3.1. Φυσικές ιδιότητες.....	48
4.3.2. Κινητικές ιδιότητες.....	49
4.3.3. Χημικές ιδιότητες.....	49
4.3.4. Τεχνικές ιδιότητες.....	49
4.3.5. Οικονομικές ιδιότητες	50
4.4.Δυσκολίες κατα την χρήση των PCM.....	50
4.4.1. Διαχωρισμός φάσεων	50
4.4.2.Μικρή τιμή της θερμικής αγωγιμότητας	52
4.4.3.Υπόψυξη - Υπέρψυξη (Subcooling – Supercooling).....	53
4.4.4.Διάβρωση.....	55
4.5.Μέθοδοι μέτρησης ιδιοτήτων των υλικών αλλαγής φάσης -Μειονεκτήματα και πλεονεκτήματα των μεθόδων μέτρησης ιδιοτήτων των υλικών αλλαγής φάσης	55
4.5.1.DSC.....	56

4.5.1.1.DSC με σταθερό ρυθμό ψύξης και θέρμανσης (δυναμική μέτρηση θερμοχωρητικότητας, dynamic DSC).....	57
4.5.1.2.DSC ισόθερμων βημάτων (isothermal steps mode).....	58
4.5.2.Ανάλυση αντικειμένων από PCM (analysis of PCM-objects).....	60
4.5.3.Η μέθοδος T-history.....	62
4.5.4.Μέθοδος ‘double cell’.....	69
4.6.Συμβατότητα των υλικών αλλαγής φάσης με άλλα υλικά	69
4.7.Σταθερότητα θερμικών ιδιοτήτων των υλικών αλλαγής φάσης.....	70
4.8.Συστήματα αποθήκευσης.....	71
4.8.1.Αποθήκευση σε δεξαμενές-Μαζική αποθήκευση	72
4.8.2.Τοποθέτηση σε μακροκάψουλες.....	75
4.8.3.Τοποθέτηση σε μικροκάψουλες.....	77
4.8.4. Άμεση ενσωμάτωση.....	79
4.8.5. Εμβάπτιση.....	79
4.8.6.Σανίδα με ελάσματα PCM.....	80
4.8.7.Ενσωμάτωση σε τούβλο –πειράματα στην Τεχεράνη.....	80
4.8.8. Ενσωμάτωση PCM σε τούβλο σε κυλινδρικές τρύπες-πειράματα στο Κουβέιτ.....	81
4.8.9.Τύπος PCM.....	82
4.8.10.Ποσότητα PCM.....	83
4.8.11.Η θέση που τοποθετείται το PCM στο τούβλο.....	84
4.8.12.Τοποθέτηση σε τοιχοποιία.....	85
4.9.Εφαρμογές των υλικών αλλαγής φάσης.....	87
4.9.1.Συστήματα αποθήκευσης μη άμεσης επαφής με το μέσο μεταφοράς.....	87
4.9.2.Συστήματα αποθήκευσης άμεσης επαφής με το μέσο μεταφοράς.....	89
4.9.3.Φωτοβολταϊκά πλαίσια.....	90
4.9.4.Συστήματα κλιματισμού.....	90
4.9.5.Ηλιακά συστήματα.....	91
4.9.6.Ηλεκτρονικά εξαρτήματα.....	93
4.9.7.Χρήση σε ηλεκτρονικούς υπολογιστές.....	94
4.9.8.Μονάδα επείγουσας ψύξης.....	95
4.9.9.Τηλεπικοινωνίες.....	97
4.9.10.Οχήματα.....	98
4.9.11.Μεταφορές αγαθών.....	100
4.9.12.Θερμική Ένδυση.....	102
4.9.13.Εφαρμογές σε υποδήματα και πάτους υποδημάτων.....	105

4.9.14.Εφαρμογές σε γιλέκα.....	105
4.9.15.Εφαρμογές σε κράνη.....	106
4.9.16.Εφαρμογές για τον ύπνο.....	106
4.9.17.Εφαρμογές σε έπιπλα.....	107
4.9.18.Εφαρμογές σε κινητά	107
4.9.19.Εφαρμογες σε κτίρια.....	110
4.9.19.1.Δομικά υλικά.....	110
4.9.19.2.Τοιχοποιία.....	113
4.9.19.3.Συστήματα ενδοδαπέδιας θέρμανσης με υλικά αλλαγής φάσης.....	119
4.9.20.Εφαρμογές σε βιομηχανικές εγκαταστάσεις.....	122
4.9.20.1.Κλιμαστικές εγκαταστάσεις.....	122
4.9.20.2.Συστήματα βελτίωσης απόδοσης επίγειων στροβιλομηχανών.....	124

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5:Μηχανισμοί μεταφοράς θερμότητας

5.1.Μεταφορά θερμότητας με αγωγή.....	127
5.1.1. Μηχανισμός μεταφοράς θερμότητας με αγωγή στα Αέρια/Υγρά/Στερεά.....	129
5.2.Μεταφορά θερμότητας με συναγωγή.....	130
5.3.Μεταφορά θερμότητας με ακτινοβολία.....	133

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6:Ηλιακή ακτινοβολία

6.1.Ηλιακή ακτινοβολία	135
6.2.Γωνία πρόσπτωσης.....	139
6.3.Ακτινοβολία οριζόντιας και κεκλιμένης επιφάνειας	140
6.4.Ακτινοβολία οριζόντιας επιφάνειας εκτός ατμόσφαιρας.....	141
6.5.Εξασθένηση της ηλιακής ακτινοβολίας στην ατμόσφαιρα.....	142

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7: Ενεργητικό και παθητικό σύστημα

7.1.Ενεργητικό και παθητικό σύστημα.....	145
--	-----

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 8:Παθητικό ηλιακό σύστημα θέρμανσης

8.1.Γενικά.....	147
8.2.Παθητικές διατάξεις άμεσου κέρδους.....	148
8.2.1.Απαιτήσεις.....	149
8.2.2Παραλλαγές διατάξεων άμεσου κέρδους.....	149

8.3. Παθητικές διατάξεις έμμεσου κέρδους.....	150
8.3.1. Ηλιακοί τοίχοι.....	151
8.3.2. Ηλιακός χώρος(θερμοκήπιο).....	154
8.3.3. Ηλιακό αίθριο.....	155
8.3.4. Σύστημα απομονωμένου κέρδους.....	156

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 9: Εφαρμογές PCM στα κτίρια ως συστήματα παθητικής αποθήκευσης

9.1. Τοίχος trombe με PCM	159
9.2. Παραθυρόφυλλο με PCM	161
9.3. Τοίχος συλλογής ηλιακής θερμότητας για αερισμό του κτιρίου.....	161
9.4. Γυψοσανίδα με ενσωματωμένο PCM	163
9.5. Μπλόκ τσιμέντου με ενσωματωμένο PCM	165
9.6. PCM ενσωματωμένο σε ξύλο-ελαφρύ τσιμέντο.....	166
9.7. Θερμικά αυξημένος σκελετός τοίχου με PCM.....	167

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 10: Συστήματα θέρμανσης και ψύξης του χώρου με PCM

10.1. PCM σε συστήματα θέρμανσης του χώρου	169
10.1.1. Σύστημα θέρμανσης χώρου ενσωματωμένο στην οροφή.....	169
10.1.2. Σύστημα θέρμανσης βασισμένο στον αέρα.....	170
10.1.3. Θέρμανση στο πάτωμα.....	171
10.1.4. Σανίδες στο ταβάνι.....	172
10.2. PCM σε συστήματα ψύξης του χώρου	172
10.2.1. Free cooling.....	173
10.2.2. Passive cooling.....	177
10.3. PCM σε συνδυασμένο σύστημα θέρμανσης –ψύξης.....	178

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 11: Εξοικονόμηση ενέργειας με την χρήση υλικών αλλαγής φάσης

11.1. Ενεργειακή αποδοτικότητα των τ οίχων δωματίου που περιέχουν PCM κάτω από απόλυτα ελεγχόμενες εργαστηριακές συνθήκες.....	181
11.1.1. Εισαγωγή.....	181
11.1.2. Διεξαγωγή του πειράματος.....	181
11.1.3. Πειραματικά αποτελέσματα.....	182
11.1.3.1. Μετρήσεις σε δύο διαφορετικά ύψη.....	182
11.1.3.2. Θερμοκρασιακές μεταβολές στο εσωτερικό μέρος των τοίχων.....	183

11.1.3.3. Πυκνότητα της ροής θερμότητας.....	185
11.1.3.4. Μελέτη της ενέργειας που αποθηκεύεται και αποδεσμεύεται.....	186
11.2. Εφαρμογή ενός επικυρωμένου αριθμητικού μοντέλου για την πρόβλεψη της κατανάλωσης ενέργειας από την χρήση υλικών αλλαγής φάσης στα κατασκευαστικά υλικά του κτιρίου.....	187
11.2.1. Παραμετρική ανάλυση.....	187
11.3. Αναλυτική βελτιστοποίηση του εσωτερικού ενός δωματίου ελαφράς κατασκευής για παθητικό σύστημα αποθήκευσης ενέργειας με σκοπό την εξοικονόμηση αυτής.....	192
11.3.1. Βασικές αρχές της διαδικασίας βελτιστοποίησης.....	192
11.3.2. Βελτιστοποίηση της θερμοκρασίας αλλαγής φάσης.....	193
11.3.3. Εκτίμηση της μέσης θερμοκρασίας του εσωτερικού αέρα.....	193
11.3.4. Εκτίμηση της διακύμανσης της θερμοκρασίας του εσωτερικού αέρα.....	194
11.3.5. Βελτιστοποίηση της ικανότητας αποθήκευσης λανθάνουσας μορφής θερμότητας.....	194
11.3.6. Εφαρμογή και συμπεράσματα.....	195

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 12: Υπολογιστικά μοντέλα μετάδοσης θερμότητας σε υλικά αλλαγής φάσης

12.1. Μέθοδος ενθαλπίας σε υλικά αλλαγής φάσης.....	197
12.2. Μέθοδος ενεργού θερμοχωρητικότητας.....	201

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 13: Μελέτη για την θέρμανση τοίχου στην Αθήνα με χρήση PCM που λειτουργεί ως παθητικό σύστημα

13.1. Η συνολική ακτινοβολία που προσπίπτει στον υαλοπίνακα	203
13.1.1. Υπολογισμός της άμεσης ακτινοβολίας.....	203
13.1.2. Υπολογισμός της διάχυτης ακτινοβολίας.....	207
13.1.3. Υπολογισμός της συνολικής ακτινοβολίας.....	212
13.2. Υπολογισμός της θερμοκρασίας του εξωτερικού περιβάλλοντος....	232
13.3. Εφαρμογή της συνάρτησης μεταφοράς στα ελληνικά κτιρια....	237
13.3.1. Ισοδύναμη θερμοκρασία 35 ελληνικών πόλεων.....	238
13.3.2. Απλοποίηση της διαδικασίας υπολογισμού θερμικής ροής δομικών στοιχείων.....	241
13.3.3. Διαστρωμάτωση των τοίχων και της οροφής.....	242
13.3.4. Φυσικά χαρακτηριστικά των υλικών.....	243

13.3.5. Επιλογή υλικού PCM	244
13.3.6. Επιλογή των τιμών του συντελεστή θερμικής συναγωγής H (W/m ² ° C).....	244
13.3.6.1. Συντελεστής συναγωγής τοίχου -περιβάλλοντος..	244
13.3.6.2. Συντελεστής συναγωγής τοίχου-δωματίου.....	244
13.3.7. Θεωρητικός υπολογισμός ψυκτικού φορτίου.....	244
13.3.7.1. Θεωρητικός υπολογισμός ψυκτικού φορτίου υαλοπίνακα.....	244
13.3.7.2. Θεωρητικός υπολογισμός ψυκτικού φορτίου λόγω φωτισμού.....	248
13.3.7.3. Θεωρητικός υπολογισμός ψυκτικού φορτίου από ανθρώπους.....	249
13.3.7.4. Θεωρητικός υπολογισμός ψυκτικού φορτίου λόγω ανανέωσης και διείδυσης αέρος.....	250
13.4. Πειραματικό μέρος υπολογισμού θερμότητας.....	252
13.4.1. Υπολογισμός ψυκτικού φορτίου υαλοπίνακα.....	252
13.4.2. Υπολογισμός του ψυκτικού φορτίου του φωτισμού.....	255
13.4.3. Υπολογισμός του ψυκτικού φορτίου της ανανέωσης αέρα.....	256
13.4.4. Υπολογισμός του ψυκτικού φορτίου από ανθρώπους....	258
13.4.5. Υπολογισμός ψυκτικού φορτίου από την οροφή.....	260
13.4.6. Υπολογισμός ψυκτικού φορτίου από τον ανατολικό τοίχο.....	261
13.4.7. Υπολογισμός ψυκτικού φορτίου από τον δυτικό τοίχο...	262
13.4.8. Υπολογισμός ψυκτικού φορτίου από τον νότιο τοίχο.....	263
13.4.9. Υπολογισμός ψυκτικού φορτίου από τον βόρειο τοίχο (τοίχος με PCM).....	264
13.4.10. Υπολογισμός συνολικού ψυκτικού φορτίου.....	265
13.5. Εξέταση του παραπάνω προβλήματος - Τοποθέτηση PCM στο βόρειο τοίχο.....	267
13.6. Παραλλαγή του παραπάνω προβλήματος – Αντικατάσταση του PCM με μπετόν στο βόρειο τοίχο.....	276
13.7. Παραλλαγή του προβλήματος (13.5)–Μείωση των διαστάσεων του υαλοπίνακα	285
13.8. Παραλλαγή του προβλήματος (13.5) – Αύξηση των διαστάσεων του υαλοπίνακα	294
13.9. Παραλλαγή του προβλήματος (13.5)–Αύξηση της προσπίπτου- σας ηλιακής ακτινοβολίας.....	303
13.10. Παραλλαγή του προβλήματος (13.5) – Αύξηση της προσπίπτουσας ηλιακής ακτινοβολίας σε συνδυασμό με την α ύξηση των διαστάσεων του υαλοπίνακα.....	312

13.11. Παραλλαγή του προβλήματος (13.5) – Απουσία ηλιοφάνειας το δευτερο εικοσιτετράωρο.....	321
---	-----

***ΚΕΦΑΛΑΙΟ 14: Συμπεράσματα από την μελέτη θέρμανσης τοίχου
στην Αθήνα με χρήση PCM που λειτουργεί ως παθητικό σύστημα***

14.1. Συμπεράσματα από την μελέτη θέρμανσης τοίχου.....	333
---	-----

<i>ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ</i>	337
----------------------------------	-----

1 ΚΕΦΑΛΑΙΟ

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Στα επόμενα χρόνια , η αύξηση του πληθυσμού θα οδηγήσει τους ανθρώπους να στραφούν στις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας. Οι ήπιες μορφές ενέργειας (ή ανανεώσιμες πηγές ενέργειας (ΑΠΕ), ή νέες πηγές ενέργειας, ή πράσινη ενέργεια) είναι μορφές εκμεταλλεύσιμης ενέργειας που προέρχονται από διάφορες φυσικές διαδικασίες, όπως ο άνεμος , η γεωθερμία, η κυκλοφορία του νερού και άλλες. Ο όρος «ήπιες» αναφέρεται σε δυο βασικά χαρακτηριστικά τους. Καταρχάς, για την εκμετάλλευσή τους δεν απαιτείται κάποια ενεργητική παρέμβαση, όπως εξόρυξη ,άντληση ή καύση, όπως με τις μέχρι τώρα χρησιμοποιούμενες πηγές ενέργειας, αλλά απλώς η εκμετάλλευση της ήδη υπάρχουσας ροής ενέργειας στη φύση. Δεύτερον, πρόκειται για «καθαρές» μορφές ενέργειας, πολύ «φιλικές» στο περιβάλλον, που δεν αποδεδμεύουν υδρογονάνθρακες, διοξείδιο του άνθρακα ή τοξικά και ραδιενεργά απόβλητα, όπως οι υπόλοιπες πηγές ενέργειας που χρησιμοποιούνται σε μεγάλη κλίμακα. Έτσι οι ΑΠΕ θεωρούνται από πολλούς μία αφετηρία για την επίλυση των οικολογικών προβλημάτων που αντιμετωπίζει η Γη.

Ως «ανανεώσιμες πηγές» θεωρούνται γενικά οι εναλλακτικές των παραδοσιακών πηγών ενέργειας (π.χ. του πετρελαίου ή του άνθρακα), όπως η ηλιακή και η αιολική. Ο χαρακτηρισμός «ανανεώσιμες» είναι κάπως καταχρηστικός, μιας και ορισμένες από αυτές τις πηγές, όπως η γεωθερμική ενέργεια δεν ανανεώνονται σε κλίμακα χιλιετιών. Σε κάθε περίπτωση οι ΑΠΕ έχουν μελετηθεί ως λύση στο πρόβλημα της αναμενόμενης εξάντλησης των (μη ανανεώσιμων) αποθεμάτων ορυκτών καυσίμων. Τελευταία από την Ευρωπαϊκή Ένωση, αλλά και από πολλά μεμονωμένα κράτη, υιοθετούνται νέες πολιτικές για τη χρήση ανανεώσιμων πηγών ενέργειας, που προάγουν τέτοιες εσωτερικές πολιτικές και για τα κράτη μέλη. Οι ΑΠΕ αποτελούν τη βάση του μοντέλου οικονομικής ανάπτυξης της πράσινης οικονομίας και κεντρικό σημείο εστίασης της σχολής των οικολογικών οικονομικών, η οποία έχει κάποια επιρροή στο οικολογικό κίνημα.

Πλεονεκτήματα ανανεώσιμων πηγών ενέργειας:

- ✓ Είναι πολύ φιλικές προς το περιβάλλον, έχοντας ουσιαστικά μηδενικά κατάλοιπα και απόβλητα.
- ✓ Δεν πρόκειται να εξαντληθούν ποτέ, σε αντίθεση με τα ορυκτά καύσιμα.

- ✓ Μπορούν να βοηθήσουν την ενεργειακή αυτάρκεια μικρών και αναπτυσσόμενων χωρών, καθώς και να αποτελέσουν την εναλλακτική πρόταση σε σχέση με την οικονομία του πετρελαίου.
- ✓ Είναι ευέλικτες εφαρμογές που μπορούν να παράγουν ενέργεια ανάλογη με τις ανάγκες του επί τόπου πληθυσμού, καταργώντας την ανάγκη για τεράστιες μονάδες παραγωγής ενέργειας (καταρχήν για την ύπαιθρο) αλλά και για μεταφορά της ενέργειας σε μεγάλες αποστάσεις.
- ✓ Ο εξοπλισμός είναι απλός στην κατασκευή και τη συντήρηση και έχει μεγάλο χρόνο ζωής.
- ✓ Επιδοτούνται από τις περισσότερες κυβερνήσεις.

Μειονεκτήματα ανανεώσιμων πηγών ενέργειας:

- ✓ Έχουν αρκετά μικρό συντελεστή απόδοσης, της τάξης του 30% ή και χαμηλότερο. Συνεπώς απαιτείται αρκετά μεγάλο αρχικό κόστος εφαρμογής σε μεγάλη επιφάνεια γης. Γι' αυτό το λόγο μέχρι τώρα χρησιμοποιούνται σαν συμπληρωματικές πηγές ενέργειας.
- ✓ Για τον παραπάνω λόγο προς το παρόν δεν μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την κάλυψη των αναγκών μεγάλων αστικών κέντρων.
- ✓ Η παροχή και απόδοση της αιολικής, υδροηλεκτρικής και ηλιακής ενέργειας εξαρτάται από την εποχή του έτους αλλά και από το γεωγραφικό πλάτος και το κλίμα της περιοχής στην οποία εγκαθίστανται.
- ✓ Για τις αιολικές μηχανές υπάρχει η άποψη ότι δεν είναι κομψές από αισθητική άποψη κι ότι προκαλούν θόρυβο και θανάτους πουλιών. Με την εξέλιξη όμως της τεχνολογίας τους και την προσεκτικότερη επιλογή χώρων εγκατάστασης (π.χ. σε πλατφόρμες στην ανοιχτή θάλασσα) αυτά τα προβλήματα έχουν σχεδόν λυθεί.
- ✓ Για τα υδροηλεκτρικά έργα λέγεται ότι προκαλούν έκλυση μεθανίου από την αποσύνθεση των φυτών που βρίσκονται κάτω απ' το νερό κι έτσι συντελούν στο φαινόμενο του θερμοκηπίου.

2 ΚΕΦΑΛΑΙΟ

ΘΕΡΜΙΚΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑ ΚΑΙ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΙΚΕΣ ΕΠΙΠΤΩΣΕΙΣ

2.1.Θερμική ενέργεια

Στην σημερινή εποχή η αποθήκευση ενέργειας παίζει πολύ σημαντικό ρόλο στην επιτυχία οποιασδήποτε εγκατάστασης παραγωγής που προσπαθεί να καλύψει την ενεργειακή ζήτηση. Για παράδειγμα η ανάγκη αποθήκευσης στις εφαρμογές ηλιακής ενέργειας είναι επιτακτική , ειδικά όταν η διαθεσιμότητα της ηλιακής ενέργειας είναι στο κατώτατο σημείο , κυρίως τον χειμώνα.

Τα συστήματα αποθήκευσης ενέργειας μπορούν να συνεισφέρουν τα μέγιστα ώστε να ικανοποιηθεί αποτελεσματικά η ανάγκη της κοινωνίας για πιο αποδοτικά και , φιλικότερα προς το περιβάλλον συστήματα παραγωγής ή διαχείρισης ενέργειας που χρησιμοποιούνται στην θέρμανση και την ψύξη κτιρίων , στην αεροναυτική και σε πρακτικές εφαρμογές. Τα συστήματα αποθήκευσης ενέργειας συχνά οδηγούν σε σημαντικά οφέλη όπως:

- Μειωμένο κόστος ενέργειας
- Μειωμένη κατανάλωση ενέργειας
- Εσωτερικός αέρας καλύτερης ποιότητας
- Αυξημένη ευκαμψία λειτουργίας
- Μειωμένα αρχικά έξοδα
- Μειωμένα έξοδα συντήρησης
- Μειωμένος όγκος εξοπλισμού
- Αποδοτικότερη και πιο αποτελεσματική χρήση του εξοπλισμού
- Διατήρηση των φυσικών καυσίμων (διευκολύνοντας και κάνοντας πιο αποδοτική την χρήση της ενέργειας ή την αντικατάσταση των καυσίμων)
- Μειωμένες εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου (CO₂) καθώς και αερίων που επηρεάζουν αρνητικά το περιβάλλον (CFCs)

2.2.Εφαρμογές θερμικής ενέργειας

Η ανάγκη αποθήκευσης θερμότητας γίνεται επιτακτική σε αρκετούς τομείς στην καθημερινότητα μας. Χαρακτηριστικά παραδείγματα αποτελούν οι εφαρμογές αποθήκευσης θερμότητας στην βιομηχανία. Ακόμα πολύ σημαντική αποδεικνύεται η αποθήκευση από την πλευρά της ενεργειακής

κατανάλωσης σε κατοικίες και εμπορικά κτίρια για την μείωση των φορτίων αιχμής που επιβάλλονται από τα συμβατικά ηλεκτρικά φορτία. Στον τομέα των μεταφορών που τώρα κυριαρχούν τα βενζινοκίνητα οχήματα, επαρκής συστήματα αποθήκευσης ηλεκτρισμού μπορεί να ενθαρρύνουν την χρήση ενός μεγάλου αριθμού ηλεκτρικών αυτοκινήτων μειώνοντας έτσι την ζήτηση στο πετρέλαιο. Ήδη σήμερα τα πρώτα ηλεκτρικά αυτοκίνητα έχουν κάνει την εμφάνισή τους, είτε κινούμενα εξολοκλήρου από ηλεκτρικούς κινητήρες είτε κινούμενα υποβοηθούμενα από ηλεκτρικούς κινητήρες. Η σκέψη της αποθήκευσης ενέργειας σε τροχούς δεν είναι καινούργια. Η ικανότητα των τροχών να μεταφέρουν ομαλά διακοπτόμενη ισχύς βρέθηκε λίγο μετά την ανακάλυψη των παλινδρομικών μηχανών τον 18ο αιώνα. Ειδικά αυτοκινούμενα οχήματα χρησιμοποιήθηκαν τροφοδοτούμενα από εξωτερικά αποθηκευμένα ενέργεια που προσδίδεται από ατμό για πάνω από εκατό χρόνια. Τα ηλεκτρικά αυτοκίνητα είναι η συνέχεια αυτών των μηχανών.

Οι καταγεγραμμένες αυξήσεις στις τιμές των καυσίμων τα τελευταία χρόνια, η ολοένα αυξανόμενη δυσκολία στην απόκτηση κεφαλαίου για την επέκταση των εγκαταστάσεων παραγωγής ενέργειας σε συνδυασμό με την πρόσφατη ανάπτυξη της τεχνολογίας αποθήκευσης ενέργειας οδηγεί στην δημιουργία ενδιαφέροντος για τις προοπτικές των συστημάτων αποθήκευσης ενέργειας.

Για τον πάροχο της ενέργειας, η ενέργεια είναι ένα αγαθό του οποίου η αξία προσδιορίζεται από το κόστος παραγωγής του και την ζήτηση της κοινωνίας. Για τον καταναλωτή της ενέργειας, η αξία της εξαρτάται από την συνεισφορά της στην παραγωγή προϊόντων και υπηρεσιών ή από τον βαθμό της άνεσης και ανακούφισης που προσφέρει.

2.3.Περιβαλλοντικές Επιπτώσεις [6]

Η ανάγκη αποθήκευσης θερμικής ενέργειας στις μέρες μας είναι απαραίτητη εξαιτίας των περιβαλλοντικών επιπτώσεων που προκύπτουν διαφορετικά. Αξίζει να σημειωθεί ότι η υπερθέρμανση του πλανήτη, η μόλυνση του αέρα, η καταστροφή του όζοντος, η αποψίλωση των δασών και οι εκπομπές ραδιενεργών ουσιών είναι μερικά από τα σημαντικότερα προβλήματα που μας προβληματίζουν και απαιτούν την άμεση αντιμετώπισή τους. Τα σοβαρά αυτά περιβαλλοντικά προβλήματα πρέπει να ληφθούν υπόψη αν η ανθρωπότητα θέλει να αναπτυχθεί στο μέλλον και να διατηρεί ταυτόχρονα ένα καθαρό περιβάλλον. Αν οι άνθρωποι και οι κοινωνίες συνεχίσουν να υποβαθμίζουν το περιβάλλον το μέλλον προβλέπεται δυσοίονο.

Κατά την διάρκεια των προηγούμενων δεκαετιών οι κίνδυνοι και η πραγματικότητα της περιβαλλοντικής υποβάθμισης έγιναν πιο φανεροί. Η επίδραση στο περιβάλλον εξαιτίας των ανθρώπινων δραστηριοτήτων ήταν και είναι μεγάλη. Αυτό οφείλεται στον συνδυασμό πολλών παραγόντων όπως η

αύξηση του παγκόσμιου πληθυσμού , η κατανάλωση ενέργειας , η βιομηχανική δραστηριότητα κλπ. Κατά την δεκαετία του '70 οι περισσότερες περιβαλλοντικές έρευνες και τα μετρητικά τους όργανα εστίαζαν στους συμβατικούς ρυπαντές όπως το διοξείδιο του θείου (SO₂) , τα οξείδια του αζώτου (NO_x) και το μονοξείδιο του άνθρακα (CO). Σήμερα το περιβαλλοντικό ενδιαφέρον εξαπλώθηκε στον έλεγχο σε ρυπαντές όπως οι τοξικές χημικές ουσίες που είναι βλαβερές ακόμη και σε πολύ μικρές ποσότητες καθώς και στα αέρια του θερμοκηπίου όπως το διοξείδιο του άνθρακα (CO₂). Παρόλη την ανάπτυξη της τεχνολογίας , η εξάπλωση της βιομηχανίας και των κτιριακών εγκαταστάσεων έχουν οδηγήσει σε καινούργια περιβαλλοντικά προβλήματα.

Τα περιβαλλοντικά προβλήματα αποτελούνται από ένα ολόένα και αυξανόμενο αριθμό ρυπαντών και καταστροφών . Τα σοβαρότερα από αυτά είναι:

- **Όξινη βροχή**

Η όξινη βροχή είναι η συνέπεια της παραγωγής ρυπαντών από την καύση ορυκτών καυσίμων. Η παραγωγή των ρυπαντών γίνεται σε σταθερές μονάδες όπως χυτήρια για μη σιδηρούχα ορυκτά καθώς και σε βιομηχανικούς καυστήρες και σε μεταφορικά οχήματα. Οι ουσίες αυτές μεταφέρονται σε μεγάλες αποστάσεις διαμέσου της ατμόσφαιρας όπου και αντιδρούν με αυτή σχηματίζοντας οξέα τα οποία καταλήγουν στο έδαφος από την βροχή (όξινη). Τα οξέα αυτά εναποθέτονται στα διάφορα οικοσυστήματα τα οποία είναι ιδιαίτερα ευαίσθητα σε υψηλές οξύτητες. Η όξινη βροχή αποδίδεται κυρίως στις εκπομπές διοξειδίου του θείου (SO₂) και διοξειδίων του αζώτου (NO_x). Τα αέρια αυτά αντιδρούν στην ατμόσφαιρα με τα μόρια του νερού και του οξυγόνου και δημιουργούν θειικό και νιτρικό οξύ.

Στο παρελθόν αυτοί οι ρυπαντές δημιουργούσαν προβλήματα μόνο κατά τόπους. Σήμερα γνωρίζοντας την συμβολή τους στη δημιουργία όξινης βροχής έχουμε εστίασει την προσοχή μας σε αυτά ελέγχοντας τις εκπομπές τους καθώς και τις εκπομπές άλλων ρυπαντών με βάση το χλώριο ή το όζον. Τα ανεπιθύμητα αποτελέσματα που μπορεί να προκαλέσει η όξινη βροχή είναι τα εξής:

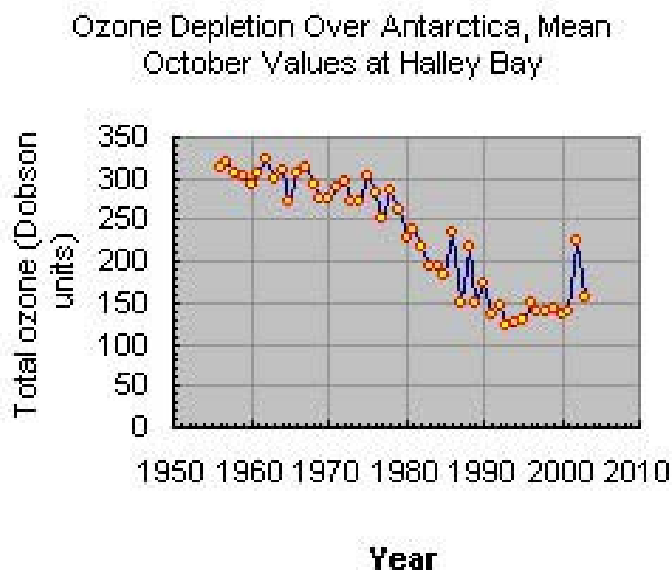
- Αύξηση της οξύτητας σε λίμνες , ποτάμια, ρυάκια και υπόγεια νερά
- Καταστροφές σε δάση , σε αγροτικές καλλιέργειες και σε φυτά λόγω της τοξικότητας από την μεγάλη συγκέντρωση οξέων.
- Καταστροφές στα ψάρια και γενικότερα στην θαλάσσια ζωή
- Διάβρωση των υλικών των κτιρίων , των μεταλλικών κατασκευών , των αρχαιοτήτων και των μνημείων

- Μεταβολές στις φυσικές και οπτικές ιδιότητες των νεφών εξαιτίας της επίδρασης των στερεών αλάτων που δημιουργούνται από τις αντιδράσεις στα στρώματα της ατμόσφαιρας.

- **Καταστροφή του όζοντος**

Είναι γνωστό ότι το όζον που βρίσκεται στην στρατόσφαιρα , στα ύψη μεταξύ 12 και 25 χιλιομέτρων , έχει τον ρόλο μίας «ομπρέλας» προστασίας για την γη , απορροφώντας την υπεριώδη ακτινοβολία (ultraviolet UV) μήκους κύματος 240-320 nm καθώς και την υπέρυθη ακτινοβολία. Ένα παγκόσμιο περιβαλλοντικό πρόβλημα είναι η τοπική ελάττωση του στρώματος του όζοντος που βρίσκεται στην στρατόσφαιρα που δημιουργείται από την εκπομπή των χλωροφθορανθράκων (CFCs) και των οξειδίων του αζώτου (NOx). Η συρρίκνωση ή η καταστροφή αυτού του στρώματος επιτρέπει στην βλαβερή υπεριώδη ακτινοβολία να φτάσει στο επιφάνεια της γης , αυξάνοντας τις καρκινογόνες παθήσεις του δέρματος , προκαλώντας ζημιά στην όραση μας καθώς και βλάβες στους μικρότερους ζωντανούς οργανισμούς.

Εδώ και αρκετά χρόνια γίνονται επιστημονικές συζητήσεις και υπάρχουν διαμάχες για την καταστροφή του όζοντος. Το 1987 υπογράφηκε το πρώτο διεθνές πρωτόκολλο στο Μόντρεαλ του Καναδά για την μείωση της παραγωγής των χλωροφθορανθράκων (CFCs).



ΕΙΚΟΝΑ 2.3.1: ΜΕΙΩΣΗ ΤΟΥ ΣΤΡΩΜΑΤΟΣ ΤΟΥ ΟΖΟΝΤΟΣ ΣΤΗΝ ΑΝΤΑΡΚΤΙΚΗ ΣΕ ΜΟΝΑΔΕΣ DOBSON ΑΠΟ ΤΟ 1950 ΩΣ ΤΟ 2004

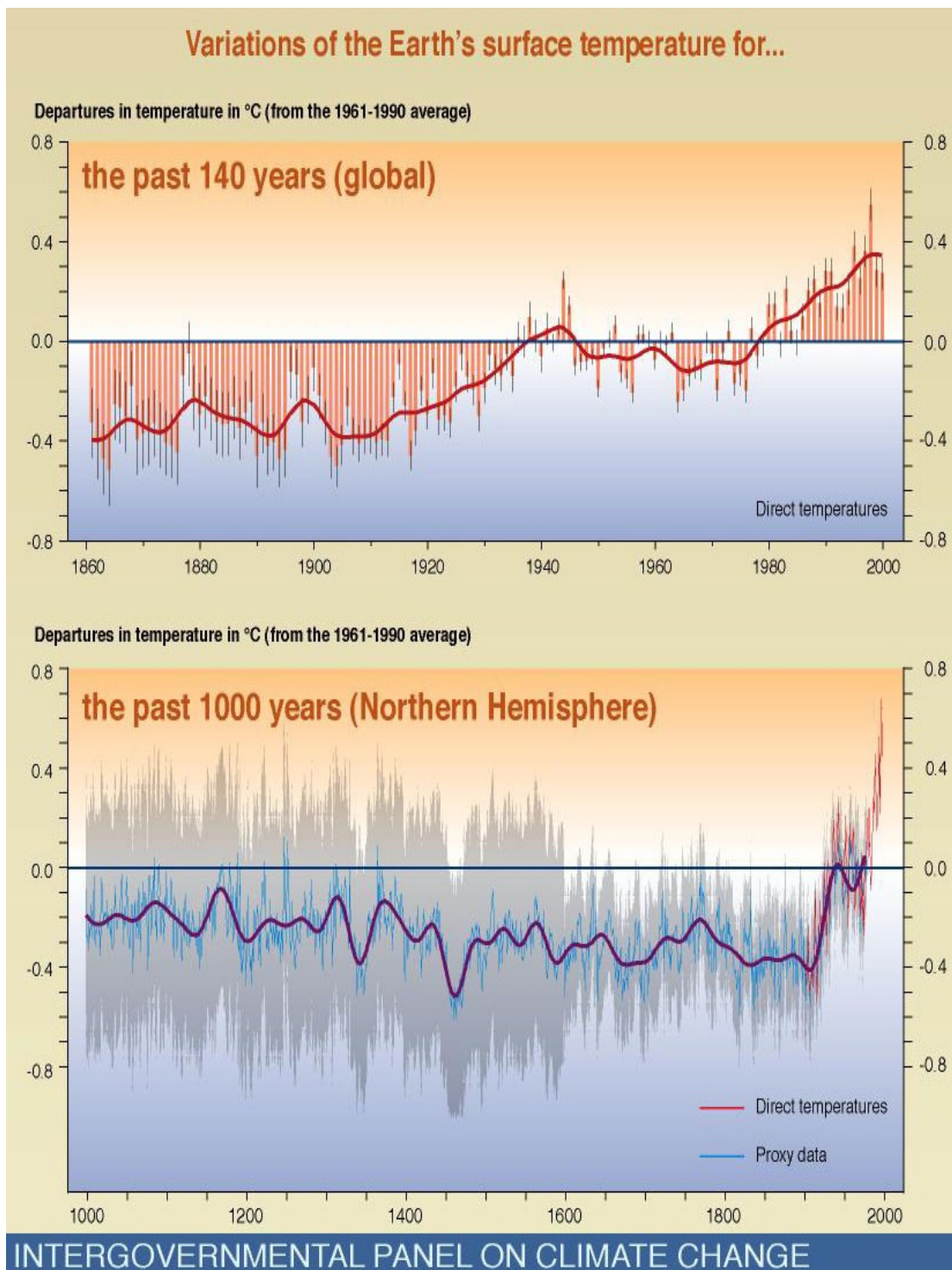
- **Παγκόσμια κλιματική αλλαγή (φαινόμενο του θερμοκηπίου):**

Αν και ο όρος φαινόμενο του θερμοκηπίου χρησιμοποιούταν στο παρελθόν για να αναφερθούμε στον ρόλο της ατμόσφαιρας στην διατήρηση

της θερμοκρασίας της επιφάνειας της γης σήμερα συνδέεται με την συμβολή του διοξειδίου του άνθρακα (CO₂) στην αύξηση της θερμοκρασίας. Οι εκπομπές του διοξειδίου του άνθρακα είναι υπεύθυνες περίπου για το 50% του ανθρωπογενούς φαινομένου του θερμοκηπίου. Άλλα αέρια που παράγονται από τις βιομηχανίες όπως το μεθάνιο, οι χλωροφθοράνθρακες, το διοξείδιο του αζώτου, το όζον, τα νιτρικά οξέα συμβάλλουν και αυτά στην έξαρση του φαινομένου του θερμοκηπίου που οδηγεί στην αύξηση της θερμοκρασίας της γης. Το διοξείδιο του άνθρακα και αυτά τα αέρια ονομάζονται αέρια του θερμοκηπίου.

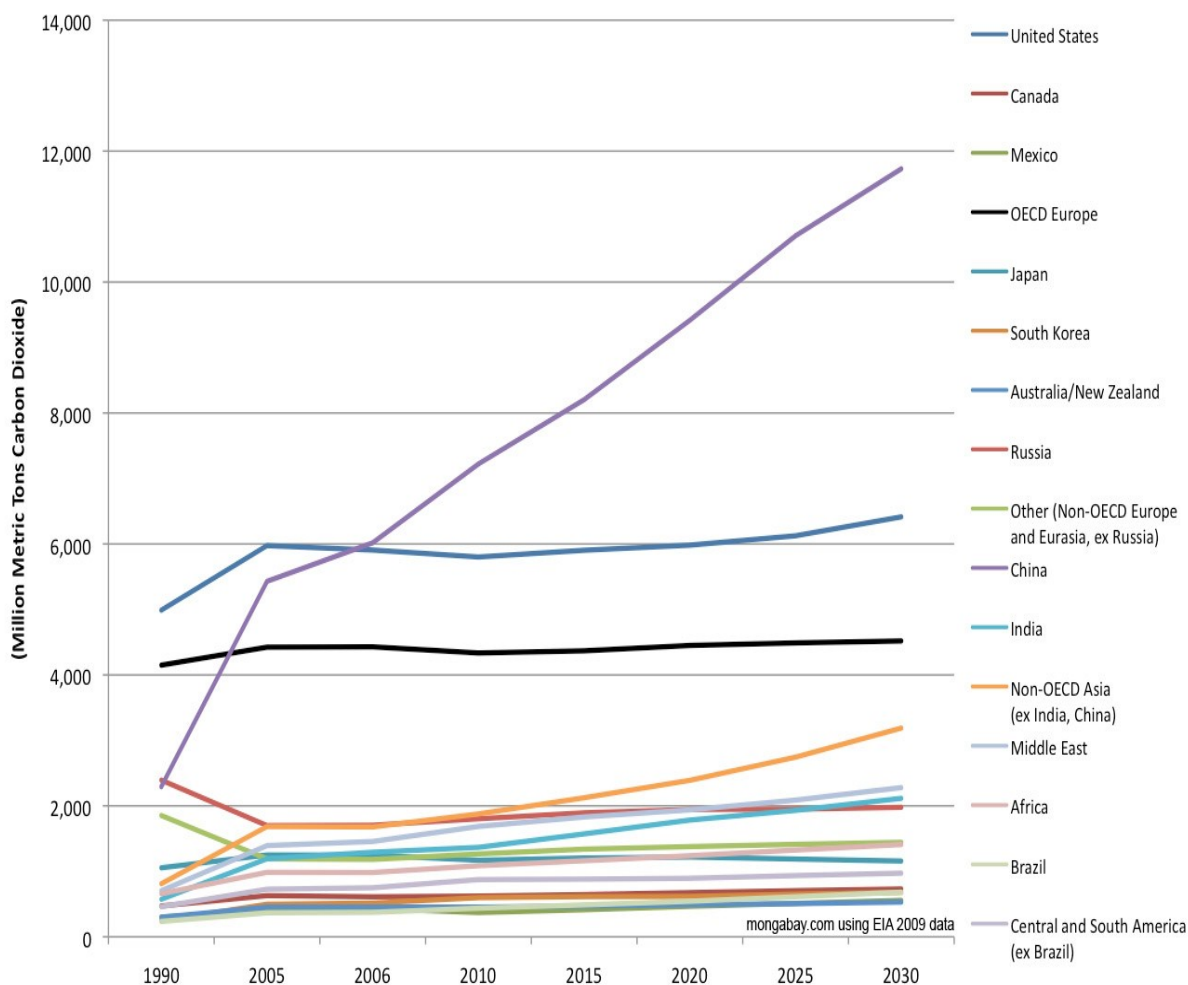
Το φαινόμενο του θερμοκηπίου είναι το πιο μεγάλο περιβαλλοντικό πρόβλημα που σχετίζεται με την χρήση και την παραγωγή ενέργειας. Συνδέεται με την συγκέντρωση των αερίων του θερμοκηπίου στην ατμόσφαιρα, που παγιδεύουν την θερμότητα που ακτινοβολεί η επιφάνεια της γης ως εκ τούτου αυξάνεται η θερμοκρασία της επιφάνειας. Τον τελευταίο αιώνα η θερμοκρασία της γης έχει αυξηθεί κατά 0.6 °C με αποτέλεσμα η στάθμη της θάλασσας να έχει ανέβει 20 cm. Τέτοιου είδους αλλαγές μπορεί να έχουν τεράστιες επιπτώσεις στις ανθρώπινες δραστηριότητες ανά τον κόσμο.

Η ανθρωπότητα με πολλούς τρόπους συμβάλει σημαντικά στην επιδείνωση του φαινομένου αυτού. Για παράδειγμα το διοξείδιο του άνθρακα που απελευθερώνεται από την καύση των ορυκτών καυσίμων, το μεθάνιο που απελευθερώνεται από την αυξημένη ανθρώπινη δραστηριότητα, οι χλωροφθοράνθρακες και η αποψίλωση των δασών, όλα συμβάλουν στην επιδείνωση του φαινομένου. Πολλοί επιστήμονες υποστηρίζουν ότι αν συνεχίσει να αυξάνεται η συγκέντρωση των αερίων του θερμοκηπίου στην ατμόσφαιρα η θερμοκρασία της γης μπορεί να αυξηθεί μέχρι και 2 °C μέσα στα επόμενα 50 χρόνια σύμφωνα με τις πιο αισιόδοξες έρευνες. Αν αυτό συμβεί η στάθμη της θάλασσας θα ανέβει τόσο ώστε πολλές σημερινές περιοχές όπως τα νησιά Φίτζι θα εξαφανιστούν και θα είναι πια υποθαλάσσια, πολλές γεωργικές περιοχές θα εκτοπιστούν σε μεγαλύτερα υψόμετρα και η πρόσβαση σε πόσιμο νερό θα γίνει πολύ δύσκολη για ένα μεγάλο μέρος του πληθυσμού. Τέτοιες συνέπειες μπορεί να απειλήσουν την επιβίωση ολόκληρων λαών.



ΕΙΚΟΝΑ 2.3.2: ΜΕΤΑΒΟΛΕΣ ΣΤΗΝ ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ ΤΗΣ ΓΗΣ ΤΑ ΤΕΛΕΥΤΑΙΑ 140 ΧΡΟΝΙΑ ΚΑΙ ΤΑ ΤΕΛΕΥΤΑΙΑ 1000 ΧΡΟΝΙΑ

World Carbon Dioxide Emissions by Region, Reference Case, 1990-2030



ΕΙΚΟΝΑ 2.3.3 : ΠΑΓΚΟΣΜΙΕΣ ΕΚΠΟΜΠΕΣ ΔΙΟΞΕΙΔΙΟΥ ΤΟΥ ΑΝΘΡΑΚΑ (CO₂) ΣΕ ΕΚΑΤΟΜΜΥΡΙΑ ΜΕΤΡΙΚΟΥΣ ΤΟΝΟΥΣ ΑΝΑ ΠΕΡΙΟΧΗ-ΚΡΑΤΟΣ, ΜΕ ΠΡΟΒΛΕΨΗ ΩΣ ΤΟ 2030

- **Επικίνδυνοι ρυπαντές του ατμοσφαιρικού αέρα**
- **Κακή ποιότητα του περιβάλλοντα αέρα**
- **Μόλυνση του νερού και της θαλάσσιας ζωής**
- **Προβλήματα στην καλλιεργήσιμη γη**
- **Καθιζήσεις εδάφους**
- **Ραδιενέργεια και ακτινοβολία**
- **Απαλλαγή των στερεών αποβλήτων**

Τα ευρύτερα γνωστά και σημαντικότερα από τα παραπάνω είναι η παγκόσμια κλιματική αλλαγή, η όξινη βροχή και η καταστροφή του όζοντος. Γίνεται αντιληπτό δηλαδή ότι η ενέργεια, το περιβάλλον και η συνεχή ανάπτυξη της τεχνολογίας συνδέονται μεταξύ τους. Μία κοινωνία για να διατηρήσει την ανάπτυξή της πρέπει να χρησιμοποιεί ενέργεια που δεν έχει επιπτώσεις στο περιβάλλον (παρ. καθόλου εκπομπές ή εκπομπές που δεν επηρεάζουν αρνητικά το περιβάλλον). Παρολαυτά αφού όλες οι ενεργειακές πηγές οδηγούν σε κάποιες επιπτώσεις για το περιβάλλον, είναι εύλογο να υποθέτουμε ότι κάποια από τα προβλήματα (όχι όλα) που παρουσιάζονται μπορούν να ξεπεραστούν αυξάνοντας τον βαθμό απόδοσης της παραγωγής ενέργειας. Ένας ισχυρός δεσμός υπάρχει μεταξύ του βαθμού απόδοσης και των περιβαλλοντικών επιπτώσεων αφού, για τις ίδιες υπηρεσίες ή προϊόντα, γίνεται χρήση λιγότερων ενεργειακών πόρων και επομένως έχουμε λιγότερες εκπομπές.

Η ενέργεια είναι με πολλούς τρόπους το «καύσιμο» της οικονομίας. Χωρίς τις ενεργειακές πηγές, οι κοινωνίες μας δεν θα μπορούσαν να λειτουργήσουν και θα κατέρρεαν. Η επίδραση που έχει η διακοπή ρεύματος σε μία πόλη μόνο για ένα εικοσιτετράωρο δείχνει πόσο πολύ είμαστε εξαρτημένοι από την ενέργεια. Οι ηλεκτρονικοί υπολογιστές οι ανελκυστήρες παύουν να λειτουργούν, τα νοσοκομεία προσφέρουν μόνο την βασική φροντίδα και τα φώτα σβήνουν.

Ο μέσος όρος αύξησης του πληθυσμού ανά τον κόσμο είναι 2% . Καθώς ο πληθυσμός αυξάνεται η ανάγκη για όλο και περισσότερη ενέργεια είναι αναπόφευκτη. Ακόμη και η άνοδος του βιοτικού επιπέδου συμβαδίζει με την ανάγκη για περισσότερη ενέργεια. Σήμερα υπάρχει πολύ μεγάλη διαφορά ανάμεσα στους πληθυσμούς των χωρών όσον αφορά τον πλούτο και την χρήση ενέργειας. Οι πλούσιες βιομηχανοποιημένες χώρες που εκπροσωπούν το 25% του παγκόσμιου πληθυσμού, καταναλώνουν περίπου το 75% της συνολικής διαθέσιμης ενέργειας.

Ο πληθυσμός της γης αναμένεται να διπλασιαστεί στα μέσα του 21^{ου} αιώνα και η οικονομική ανάπτυξη σίγουρα θα συνεχίσει να μεγαλώνει. Η παγκόσμια ζήτηση για ενεργειακές υπηρεσίες αναμένεται να αυξηθεί κατά μία τάξη μεγέθους μέχρι το 2050, ενώ η ενεργειακή ζήτηση αναμένεται να αυξηθεί 1,5-3 φορές. Ταυτόχρονα ο προβληματισμός για τις επιπτώσεις της ενέργειας στο περιβάλλον θα συνεχίσει να αυξάνεται εξαιτίας των παγκόσμιων κλιματολογικών αλλαγών.

Ο περιβαλλοντικός προβληματισμός έχει κατακλίσει την κοινωνία και τις βιομηχανίες τις τελευταίες δύο δεκαετίες. Μια προτεινόμενη λύση στο πρόβλημα της έλλειψης των ενεργειακών αποθεμάτων είναι η χρήση τεχνολογιών θερμικής αποθήκευσης ενέργειας.

3 ΚΕΦΑΛΑΙΟ

ΑΡΧΕΣ ΘΕΡΜΟΔΥΝΑΜΙΚΗΣ

Η θερμική ενέργεια μπορεί να αποθηκευτεί και να ανακτηθεί σαν αλλαγή στη εσωτερική ενέργεια ενός υλικού ως αισθητή θερμότητα, λανθάνουσα θερμότητα και θερμοχημικές αντιδράσεις ή ακόμα και το συνδυασμό τους.

3.1. Αποθήκευση θερμότητας ως αισθητή θερμότητα [8]

Στην αποθήκευση αισθητής θερμότητας (sensible heat storage-SHS) η θερμική ενέργεια αποθηκεύεται με την αύξηση της θερμοκρασίας ενός στερεού ή υγρού. Το SHS σύστημα χρησιμοποιεί την θερμοχωρητικότητα και την αλλαγή στην θερμοκρασία του υλικού κατά την διάρκεια της φόρτισης και της αποφόρτισης. Το ποσό της αποθηκευμένης θερμικής ενέργειας εξαρτάται από την συγκεκριμένη θερμότητα του εκάστοτε μέσου, την θερμοκρασία αλλαγής και την ποσότητα του υλικού. Η SHS μπορεί να κατηγοριοποιηθεί με κριτήριο το μέσο αποθήκευσης θερμότητας σε υγρά και στερεά μέσα με τις αντίστοιχες υποκατηγορίες.

3.1.1. Αποθήκευση θερμότητας ως αισθητή θερμότητα σε υγρά μέσα αποθήκευσης

- *Αποθήκευση σε νερό:* Σε χαμηλές θερμοκρασίες το νερό είναι ένα από τα καλύτερα αποθηκευτικά μέσα. Έχει υψηλότερη ειδική θερμότητα σε σχέση με άλλα υλικά, είναι φτηνό και ευρέως διαθέσιμο. Ωστόσο, εξαιτίας της υψηλής πίεσης ατμών που έχει, απαιτεί ακριβή μόνωση και ένα containment που να είναι ανθεκτικό στην πίεση για εφαρμογές με υψηλές θερμοκρασίες. Το νερό μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε μεγάλο εύρος θερμοκρασιών (25-90°C). Ως τυπικό παράδειγμα αναφέρεται ότι για μία αλλαγή θερμοκρασίας 60°C το νερό θα αποθηκεύσει 250kJ/kg ή $2,5 \cdot 10^5$ kJ/m³. Το ζεστό νερό χρησιμοποιείται στο πλύσιμο, στο μπάνιο και φυσικά στα καλοριφέρ για την θέρμανση των εσωτερικών χώρων. Το νερό μπορεί να χρησιμοποιηθεί επιπλέον ως αποθηκευτικό και μεταφορικό μέσο της ενέργειας, για παράδειγμα, σε ένα σύστημα ηλιακής ενέργειας.
- *Αποθήκευση σε αλατισμένο-αλμυρό νερό:* Οι ηλιακοί συλλέκτες προσφέρουν μία απλή και οικονομική μέθοδο για συλλογή και αποθήκευση μεγάλων ποσοτήτων ηλιακής ενέργειας σε μορφή χαμηλής θερμοκρασίας θερμικής ενέργειας (50-95°C). Έχουν δυνατότητες εφαρμογής σε θέρμανση και ψύξη χώρων, στην βιομηχανία και στην παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας. Σε έναν τύπο

ηλιακού συλλέκτη , η κλίση της πυκνότητας δημιουργείται με χρήση νερού που περιέχει άλατα ή θαλασσινού νερού, η συγκέντρωση του οποίου αυξάνεται με το βάθος από την επιφάνεια. Τα NaCl και MgCl₂ είναι τα πιο συνηθισμένα άλατα σε αυτόν τον τύπο συλλέκτη.

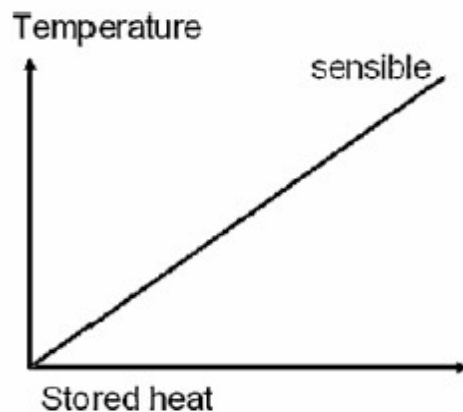
- *Αποθήκευση σε άλλα υγρά:* Τα πιο συνηθισμένα προτεινόμενα υποκατάστατα του νερού είναι τα πετρελαιοειδή έλαια και τα λιωμένα άλατα. Οι θερμοχωρητικότητες τους είναι το 25-40% αυτής του νερού. Ωστόσο αυτά τα υποκατάστατα έχουν χαμηλότερη πίεση ατμών σε σχέση με αυτή του νερού και είναι ικανά να λειτουργούν σε υψηλές θερμοκρασίες που ξεπερνούν τους 300° C. Τα έλαια περιορίζονται κάτω από τους 350°C για λόγους ευστάθειας και ασφάλειας, αλλά και γιατί είναι κάπως ακριβά.

3.1.2. Αποθήκευση θερμότητας ως αισθητή θερμότητα σε στερεά μέσα αποθήκευσης

Στα μέσα αυτά η ενέργεια μπορεί να αποθηκευτεί σε χαμηλές ή υψηλές θερμοκρασίες δεδομένου ότι ούτε παγώνουν ούτε βράζουν. Οι δυσκολίες της υψηλής πίεσης ατμών του νερού και οι περιορισμοί των άλλων υγρών μπορούν να αποφευχθούν με την αποθήκευση θερμικής ενέργειας ως αισθητή θερμότητα στα στερεά. Επιπλέον τα στερεά δεν διαρρέουν από το δοχείο τοποθέτησής τους. Το καλύτερο υλικό στη λίστα των στερεών είναι ο χυτοσίδηρος, ο οποίος ξεπερνάει τα επίπεδα πυκνότητας της ενέργειας του νερού, αλλά είναι αρκετά ακριβός οπότε απαιτεί μεγάλη χρονική περίοδο για να κάνει απόσβεση.

- *Αποθήκευση σε rocks:* η θερμική ενέργεια είναι αποθηκευμένη στην κλίνη συμπιέζοντας τον θερμό αέρα στην κλίνη και επαναχρησιμοποιώντας αυτόν με ανακυκλοφορία εξωτερικού αέρα στην θερμή πλέον κλίνη. Η αποθήκευση ενέργειας στην κλίνη εξαρτάται, εκτός από τις θερμοφυσικές ιδιότητες του υλικού, από κάποιες παραμέτρους συμπεριλαμβανομένου και του μεγέθους και του σχήματος της πέτρας.
- *Αποθήκευση στη δομή του κτιρίου:* η αποθήκευση θερμότητας είναι εφαρμόσιμη σε νέες αλλά και σε προϋπάρχουσες κατασκευές και μπορεί να ενσωματωθεί σε συστήματα διανομής νερού και αέρα. Τα πιο διαδεδομένα υλικά είναι τα κεραμικά τούβλα, τα οποία περιέχουν olivine, magnesite, microtherm ή feolite. Η μάζα του κτιρίου και το δομικό τσιμέντο μπορούν επίσης να χρησιμοποιηθούν με ενεργητικό και παθητικό αποθηκευτικό σχεδιασμό. Η πιο συνηθισμένη διαμόρφωση χρησιμοποιώντας τη μάζα του κτιρίου για θερμική αποθήκευση είναι η θέρμανση του δαπέδου. Το δάπεδο μπορεί να γίνει μία μεγάλη επιφάνεια χαμηλής θερμοκρασίας που ακτινοβολεί με το μπετόν-σκυρόδεμα να δρα ως μέσο αποθήκευσης θερμότητας.

- Αποθήκευση σε μέταλλα: Τα περισσότερα από τα υλικά που προτείνονται για υψηλές θερμοκρασίες αποθήκευσης ενέργειας είναι είτε τα ανόργανα άλατα είτε τα μέταλλα. Από τα μέταλλα το αλουμίνιο, το μαγνήσιο και ο ψευδάργυρος αναφέρονται ως τα πιο κατάλληλα. Η χρήση των μετάλλων είναι προτιμότερη όταν απαιτείται υψηλή θερμική αγωγιμότητα και όταν το κόστος είναι δευτερεύουσας σημασίας.



ΕΙΚΟΝΑ 3.1.1 : ΑΠΟΘΗΚΕΥΣΗ ΘΕΡΜΟΤΗΤΑΣ ΩΣ ΑΙΣΘΗΤΗ ΘΕΡΜΟΤΗΤΑ ΣΥΝΑΡΤΗΣΕΙ ΤΗΣ ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑΣ.

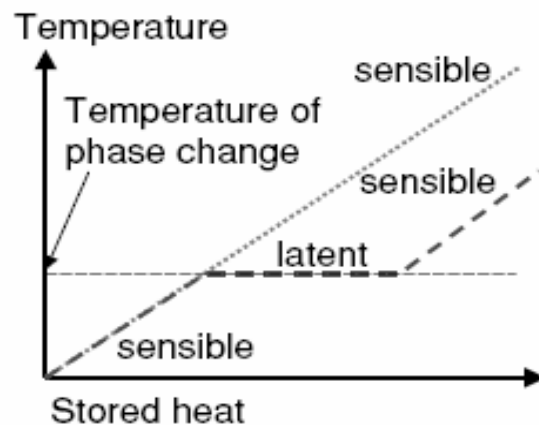
3.2.Αποθήκευση θερμότητας ως λανθάνουσα θερμότητα

Αντίθετα η LHS βασίζεται στην απορρόφηση ή απελευθέρωση θερμότητας καθώς το υλικό υφίσταται μία αλλαγή φάσης από την στερεή στην υγρή φάση ή από την υγρή αέρια φάση και αντίστροφα.[7]

Τα συστήματα LHS υπερέχουν σε κάποια χαρακτηριστικά τους σε σύγκριση με τα SHS. Το σημαντικότερο είναι η υψηλότερη ενεργειακή πυκνότητα ανά μονάδα μάζας και ανά μονάδα όγκου. Τα θερμοχημικά συστήματα στηρίζονται στην απορρόφηση ή απελευθέρωση θερμότητας στο σπάσιμο και στον ανασχηματισμό των μοριακών δεσμών σε μία πλήρως αναστρέψιμη χημική αντίδραση. Σε αυτήν την περίπτωση η αποθήκευση θερμικής ενέργειας εξαρτάται από το υλικό ,την ενδοθερμική θερμότητα της αντίδρασης και το βαθμό της μετατροπής.

Ανάμεσα στις διάφορες τεχνικές αποθήκευσης θερμότητας η λανθάνουσα φαίνεται πιο ελκυστική χάρη στην ικανότητα της να παρέχει πυκνότητα αποθήκευσης υψηλής ενέργειας και στο χαρακτηριστικό της να αποθηκεύει θερμότητα σε σταθερή θερμοκρασία αντίστοιχη με την θερμοκρασία αλλαγής φάσης του PCM. Η LHS μπορεί να πραγματοποιηθεί μεταξύ των μετατροπών στερεής-υγρής, υγρής-αέριας, στερεής-αέριας και

στερεής-στερεής φάσης.Ωστόσο οι αλλαγές από στερεή σε υγρή και από στερεή σε στερεή παρουσιάζουν το μεγαλύτερο ενδιαφέρον.Τα συστήματα στερεού-αερίου και υγρού-αερίου είναι περιορισμένης εφαρμογής,γιατί απαιτούν μεγάλους όγκους.Από τα δυο πρακτικά συστήματα ,αυτό του στερεού-υγρού έχει μελετηθεί πιο πολύ και είναι περισσότερο διαθεσιμο στο εμπόριο.Από την άλλη το σύστημα στερεού-στερεού είναι πολλά υποσχόμενο,αλλά είναι υπό έρευνα τώρα.Η αποθήκευση θερμικής ενέργειας μπορεί να χρησιμοποιηθεί για να αποθηκεύσει ενέργεια για ψύξη ή θέρμανση.
[9]



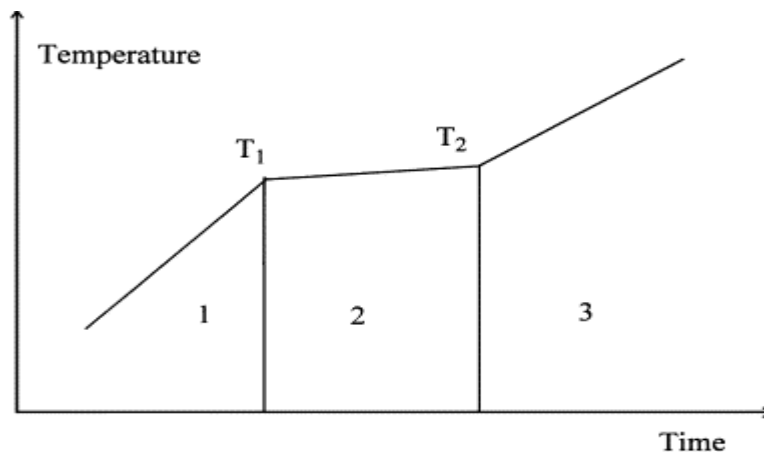
ΕΙΚΟΝΑ 3.2.1 :ΑΠΟΘΗΚΕΥΣΗ ΘΕΡΜΟΤΗΤΑΣ ΩΣ ΛΑΝΘΑΝΟΥΣΑ ΘΕΡΜΟΤΗΤΑ ΣΥΝΑΡΤΗΣΕΙ ΤΗΣ ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑΣ

4 ΚΕΦΑΛΑΙΟ

ΥΛΙΚΑ ΑΛΛΑΓΗΣ ΦΑΣΗΣ

4.1.Εισαγωγή στα υλικά αλλαγής φάσης

Ένα υλικό αλλαγής φάσης (PCM) είναι μια ουσία με υψηλή θερμοκρασία τήξης, που λειώνει και σταθεροποιείται σε μια ορισμένη θερμοκρασία και είναι σε θέση να αποθηκεύσει και να ελευθερώσει μεγάλα ποσά ενέργειας. Η θερμότητα απορροφάται ή απελευθερώνεται όταν αλλάζει το υλικό από στερεό σε υγρό και αντίστροφα. Τα PCMs είναι ταξινομημένα ως λανθάνουσες μονάδες αποθήκευσης θερμότητας (LHS).[10]



ΕΙΚΟΝΑ 4.1.1 : ΤΥΠΙΚΟ ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ ΑΛΛΑΓΗΣ ΦΑΣΗΣ ΕΝΟΣ PCM (1- ΣΤΕΡΕΗ ΦΑΣΗ , 2- ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ ΑΛΛΑΓΗΣ ΦΑΣΗΣ , 3- ΥΓΡΗ ΦΑΣΗ)

Κατά αυτόν τον τρόπο ένα υλικό μπορεί να χρησιμοποιηθεί σαν αποθήκη θερμότητας όταν το περίσσειμα της θερμικής ενέργειας διοχετευθεί σε αυτό έτσι ώστε να τηχθεί και το τήγμα να διατηρηθεί χωρίς απώλειες. Όταν απαιτηθεί αυτή η θερμότητα, θα ανακτηθεί από το τήγμα σε ποσότητα ίση με τη λανθάνουσα θερμότητα τήξης, οπότε το τήγμα θα πήξει. Αυτό είναι δυνατό να επαναλαμβάνεται συνέχεια.

Για παράδειγμα, η αποθηκευμένη θερμότητα ενός υλικού που μεταβαίνει από μία θερμοκρασία T_1 σε μια υψηλότερη θερμοκρασία T_2 , αν συμβαίνει και αλλαγή φάσης αυτού σε μία ενδιάμεση θερμοκρασία T^* είναι το άθροισμα της αισθητής θερμότητας για τη μετάβαση της στερεάς φάσης του υλικού από τη θερμοκρασία T_1 στη θερμοκρασία T^* και της λανθάνουσας θερμότητας στη θερμοκρασία τήξης T^* και της αισθητής θερμότητας για τη μετάβαση της υγρής φάσης από θερμοκρασία T^* σε T_2 :

$$Q_s = m[(T^* - T_1) \cdot C_s + f_s + (T_2 - T^*) \cdot C_l] \quad (4.1.1)$$

όπου m , η μάζα του υλικού, C_s , C_l , είναι οι ειδικές θερμοχωρητικότητες της στερεάς και της υγρής φάσης αυτού αντίστοιχα και, f_s , είναι η λανθάνουσα θερμότητα τήξης του υλικού.

Τα βασικά πλεονεκτήματα των συστημάτων αποθήκευσης θερμικής ενέργειας με υλικά που αλλάζουν φάση είναι η υψηλή πυκνότητα αποθηκευμένης ενέργειας ανά μονάδα μάζας σε σχέση με τα συστήματα αποθήκευσης με αισθητή θερμότητα και το μικρό θερμοκρασιακό εύρος λειτουργίας του συστήματος, αφού η διεργασία αλλαγής φάσης γίνεται σε σχεδόν σταθερή θερμοκρασία. Επίσης, δεν υπάρχει βαθμιαία μείωση στην θερμοκρασία καθώς το υλικό αποφορτίζεται.

Γενικά είναι δυνατές οι ακόλουθες μετατροπές στην κατάσταση ενός υλικού, κατά φθίνουσα σειρά εμπλεκόμενου ποσού λανθάνουσας θερμότητας:

- Από στερεό σε αέριο
- Από υγρό σε αέριο
- Από στερεό σε υγρό

Οι πρώτες δύο μορφές αλλαγής φάσης δε χρησιμοποιούνται καθώς το βασικό τους πρόβλημα είναι ο σχηματισμός αερίου και κατά συνέπεια η σημαντική μεταβολή όγκου η οποία κάνει περισσότερο πολύπλοκη τη λειτουργία του συστήματος (δοχεία υπό πίεση κλπ.) Για αυτό η πιο συνηθισμένη διεργασία είναι η τήξη και η πήξη του μέσου αποθήκευσης.

Τα PCMs διατίθενται σε ευρύ φάσμα θερμοκρασιών και θερμοτήτων αλλαγής φάσης. Σε πραγματικά συστήματα αποθήκευσης θερμικής ενέργειας η αλλαγή της φάσης του υλικού δε γίνεται σε απόλυτα σταθερή θερμοκρασία αφού τα συστήματα αυτά δε βρίσκονται σε θερμοδυναμική ισορροπία. Η μεταβολή αυτή της θερμοκρασίας έχει ως αποτέλεσμα εκτός από τη λανθάνουσα θερμότητα να αποθηκεύεται στο υλικό ακόμη ένα ποσό ενέργειας με τη μορφή της αισθητής θερμότητας.

Για να χρησιμοποιηθεί ένα υλικό PCM, σαν αποθήκη ενέργειας, θα πρέπει, σε μια πρώτη προσέγγιση, να ικανοποιεί αυτό και ο χώρος στον οποίο θα γίνει η αποθήκευση, τα παρακάτω κριτήρια:

- Ικανότητα για πλήρη αντιστροφή της διαδικασίας
- Ικανή θερμοκρασία μετάβασης από τη μια φάση στην άλλη
- υψηλή ενθαλπία μετάβασης ανά μονάδα μάζας
- χημική ισορροπία και σταθερότητα με τον αποθηκευτικό χώρο

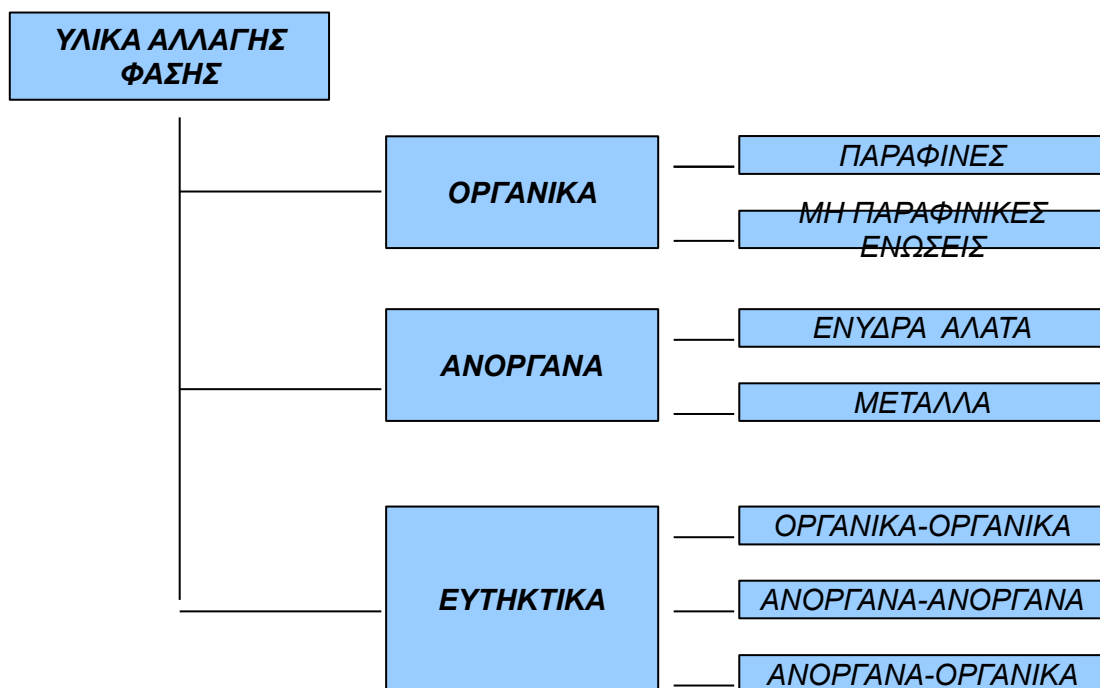
- ελάχιστη αλλαγή όγκου με την αλλαγή φάσης
- μη τοξικότητα
- χαμηλό κόστος

Η πιο συνηθισμένη εφαρμογή αυτής της μεθόδου αποθήκευσης είναι η μετατροπή του νερού σε πάγο. Έτσι, τα συστήματα ψύξης που εμπεριέχουν την παραγωγή και αποθήκευση πάγου έχουν ένα εξαιρετικό πλεονέκτημα όσον αφορά τις διαστάσεις των μονάδων των ψυκτικών μηχανημάτων. Αυτό είναι και το μεγαλύτερο πλεονέκτημα αυτής της μεθόδου αποθήκευσης ενέργειας, ο μικρότερος όγκος του ενεργειακού συστήματος σε σχέση με τις άλλες μεθόδους αποθήκευσης.

Αυτά τα συστήματα προσφέρουν μεγαλύτερη χωρητικότητα θερμότητας από την αποθήκευση σε υλικά με απλή άνοδο της θερμοκρασίας. Με τα συστήματα αυτά, επίσης, έχουμε τη δυνατότητα να τροφοδοτούμε θερμότητα με σταθερή θερμοκρασία. Στην αποθήκευση με τήξη χρησιμοποιούμε χημικές ενώσεις με μεγάλη θερμότητα τήξης.

4.2.Κατηγοριοποίηση των υλικών αλλαγής φάσης

Είναι διαθέσιμος μεγάλος αριθμός υλικών αλλαγής φάσης (οργανικά, ανόργανα και εύτηκτα υλικά) σε μεγάλο εύρος θερμοκρασιών. Παρ'όλα αυτά δεν παρουσιάζουν όλα τα επιθυμητά χαρακτηριστικά για χρήση σε εφαρμογές αποθήκευσης ενέργειας. Μερικές αδυναμίες των PCM μπορούν να καλυφθούν με ιδιαιτερότητες στην σχεδίαση του συστήματος (π.χ. Υλικό αλλαγής φάσης με μικρή θερμική αγωγιμότητα μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε διάταξη με μεταλλικά πτερύγια ώστε να μειωθεί η επίδραση της κακής φυσικής ιδιότητας του υλικού) ενώ άλλες μπορούν να παρακαμφθούν με προσθήκη χημικών (π.χ. Το φαινόμενο της υπέρψηξης μπορεί να μειωθεί με χρήση κάποιου μέσου πυρήνωσης). Σε γενικές γραμμές τα ανόργανα συστατικά έχουν μεγαλύτερη (σχεδόν διπλάσια) χωρητικότητα αποθήκευσης λανθάνουσας θερμότητας ανά μονάδα όγκου. Στη συνέχεια αναλύονται περισσότερο οι επιμέρους ομάδες των υλικών καθώς έχουν ιδιαίτερα χαρακτηριστικά που επιδρούν σημαντικά στο σχεδιασμό του συστήματος.[11]



ΕΙΚΟΝΑ 4.2.1: ΚΑΤΗΓΟΡΙΟΠΟΙΗΣΗ ΤΩΝ PCM

4.2.1. Οργανικά υλικά αλλαγής φάσης

Τα οργανικά υλικά χωρίζονται σε παραφινικές και μη παραφινικές ενώσεις. Τα οργανικά υλικά δεν εμφανίζουν ασύμπτωτη τήξη δηλαδή τήκονται και πήζουν άμεσα χωρίς διαχωρισμό φάσης, οπότε δεν αντιμετωπίζουν πρόβλημα υποβάθμισης της λανθάνουσας θερμότητας μετά από αρκετούς κύκλους φόρτισης-εκφόρτισης. Συνήθως είναι μη διαβρωτικά υλικά.[11]

- Παραφίνες

Τα κεριά παραφίνης αποτελούνται από ένα μείγμα κυρίως ευθέων αλυσίδων n-αλκανίων $\text{CH}_3-(\text{CH}_2)_n-\text{CH}_3$. Η πήξη της CH_3 - αλυσίδας απελευθερώνει μεγάλες ποσότητες λανθάνουσας θερμότητας. Το σημείο τήξης καθώς και η λανθάνουσα θερμότητα τήξης αυξάνονται παράλληλα με την αύξηση του μήκους της αλυσίδας. Οι παραφίνες διακρίνονται σαν PCM χάρη στην διαθεσιμότητά τους σε μεγάλο θερμοκρασιακό εύρος. Λαμβάνοντας υπόψη το κόστος προκύπτει πως ως μέσο αποθήκευσης λανθάνουσας θερμότητας μπορούν να χρησιμοποιηθούν μόνο τεχνητές παραφίνες και όχι αυτές από απόσταξη πετρελαίου. Η τεχνητή παραφίνη είναι ασφαλής, αξιόπιστη, προβλέψιμη, λιγότερο ακριβή και μη διαβρωτική. Είναι χημικά αδρανείς και σταθερές ενώσεις κάτω από τους 500°C , εμφανίζουν μικρές

μεταβολές ως προς τον όγκο κατά την τήξη τους και μικρή τάση ατμών . Πέρα από τις επιθυμητές ιδιότητες που εμφανίζουν , έχουν κάποια μειονεκτήματα. Έχουν χαμηλή θερμική αγωγιμότητα , δεν είναι συμβατές με πλαστικές δεξαμενές αποθήκευσης και είναι σχετικά εύφλεκτες. Όλα αυτά τα μειονεκτήματα μπορούν μερικώς να εξαλειφθούν με μικρές τροποποιήσεις στις ιδιότητες του κεριού και στη δεξαμενή αποθήκευσης.[11]

ΠΙΝΑΚΑΣ 4.2.1.1:ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ ΤΕΧΝΗΤΩΝ ΠΑΡΑΦΙΝΩΝ

<i>Παραφίνες</i>	<i>Σημείο πήξης</i>	<i>Λανθάνουσα θερμότητα</i>	<i>Ομάδα</i>
6106	42–44	189	I
P116 ^c	45–48	210	I
5838	48–50	189	I
6035	58–60	189	I
6403	62–64	189	I
6499	66–68	189	I

ΠΙΝΑΚΑΣ 4.2.1.2:ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ ΠΑΡΑΦΙΝΩΝ

<i>Αριθμός ατόμων C</i>	<i>Σημείο πήξης</i>	<i>Λανθάνουσα θερμότητα (kJ/kg)</i>	<i>Ομάδα</i>
14	5.5	228	I
15	10	205	II
16	16.7	237.1	I
17	21.7	213	II
18	28.0	244	I
19	32.0	222	II
20	36.7	246	I
21	40.2	200	II

22	44.0	249	II
23	47.5	232	II
24	50.6	255	II
25	49.4	238	II
26	56.3	256	II
27	58.8	236	II
28	61.6	253	II
29	63.4	240	II
30	65.4	251	II
31	68.0	242	II
32	69.5	170	II
33	73.9	268	II
34	75.9	269	II

Στους παραπάνω πίνακες παρατηρούμε ότι οι παραφίνες είναι κατηγοριοποιημένες σε τρεις ομάδες:

I ΟΜΑΔΑ : περισσότερο υποσχόμενες παραφίνες

II ΟΜΑΔΑ : υποσχόμενες

III ΟΜΑΔΑ: λιγότερο υποσχόμενες

- Μη παραφινικές ενώσεις.

Οι μη παραφινικές οργανικές ενώσεις εμφανίζουν μεγάλη ποικιλία ιδιοτήτων. Κάθε ένωση-υλικό αυτής της κατηγορίας έχει διαφορετικές ιδιότητες, αντίθετα με τις παραφίνες που έχουν παραπλήσιες μεταξύ τους. Αυτή είναι και η μεγαλύτερη κατηγορία υποψήφιων υλικών PCM για αποθήκευση θερμότητας. Οι Abhat et al και Buddhi και Sawhney έχουν κάνει εκτεταμένη έρευνα σε οργανικές ενώσεις και βρήκανε σημαντικό αριθμό από εστέρες, λιπαρά οξέα, αλκοόλες και γλυκόλες κατάλληλες για ενεργειακή αποθήκευση. Αυτά τα υλικά είναι εύφλεκτα και δεν πρέπει να εκτίθενται σε εξαιρετικά υψηλές θερμοκρασίες, φλόγες ή οξειδωτικά μέσα. Μερικά από τα χαρακτηριστικά που εμφανίζουν αυτά τα οργανικά υλικά είναι:

- Υψηλή θερμότητα τήξης
- Ευφλεκτότητα
- Χαμηλή θερμική αγωγιμότητα
- Χαμηλό σημείο ανάφλεξης
- Διαφορετικά επίπεδα τοξικότητας
- Αστάθεια σε υψηλές θερμοκρασίες

Τα λιπαρά οξέα έχουν υψηλότερη θερμότητα τήξης σε σύγκριση με τις παραφίνες. Επίσης έχουν σταθερή συμπεριφορά τήξης και πήξης κατά την επανάληψη ενώ δεν εμφανίζουν και υπέρψυξη. Ο γενικός τύπος που περιγράφει τα λιπαρά οξέα είναι $\text{CH}_3(\text{CH}_2)_{2n}\text{COOH}$ και θεωρούνται καλή περίπτωση για αποθήκευση θερμότητας. [11]

ΠΙΝΑΚΑΣ 4.2.1.3: ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ ΜΗ ΠΑΡΑΦΙΝΙΚΩΝ ΕΝΩΣΕΩΝ

<i>Υλικό</i>	<i>Σημείο τήξης</i>	<i>Λανθάνουσα θερμότητα (KJ/Kg)</i>	<i>Ομάδα</i>
Formic acid	7.8	247	III
Caprylic acid	16.3	149	–
Glycerin	17.9	198.7	III
d-Lactic acid	26	184	I
Methyl palmitate	29	205	II
Camphenilone	39	205	II
Docosyl bromide	40	201	II
Caprylone	40	259	II
Phenol	41	120	III
Heptadecanone	41	201	II
1-Cyclohexyloctadecane	41	218	II

4-Heptadecanone	41	197	II
<i>p</i> -Joluidine	43.3	167	–
Cyanamide	44	209	II
Methyl eicosanate	45	230	II
3-Heptadecanone	48	218	II
2-Heptadecanone	48	218	II
Hydrocinnamic acid	48.0	118	–
Cetyl alcohol	49.3	141	–
α -Nephthylamine	50.0	93	–
Camphene	50	238	III
<i>O</i> -Nitroaniline	50.0	93	–
9-Heptadecanone	51	213	II
Thymol	51.5	115	–
Methyl behenate	52	234	II
Diphenyl amine	52.9	107	–
<i>p</i> -Dichlorobenzene	53.1	121	–
Oxolate	54.3	178	–
Hypophosphoric acid	55	213	II
<i>O</i> -Xylene dichloride	55.0	121	–
β -Chloroacetic acid	56.0	147	III
Chloroacetic acid	56	130	III
Nitro naphthalene	56.7	103	–
Trimyristin	33–57	201–213	I
Heptaudecanoic acid	60.6	189	II
α -Chloroacetic acid	61.2	130	–

Bee wax	61.8	177	II
Bees wax	61.8	177	II
Glyolic acid	63.0	109	–
Glycolic acid	63	109	–
<i>p</i> -Bromophenol	63.5	86	–
Azobenzene	67.1	121	–
Acrylic acid	68.0	115	–
Dinto toluent (2,4)	70.0	111	–
Phenylacetic acid	76.7	102	–
Thiosinamine	77.0	140	–
Bromcamphor	77	174	–
Durene	79.3	156	–
Benzylamine	78.0	174	–
Methyl brombrenzoate	81	126	–
Alpha naphthol	96	163	–
Glautaric acid	97.5	156	–
<i>p</i> -Xylene dichloride	100	138.7	–
Catechol	104.3	207	III
Quinone	115	171	II
Acetanilide	118.9	222	II
Succinic anhydride	119	204	II
Benzoic acid	121.7	142.8	III
Stibene	124	167	–
Benzamide	127.2	169.4	III

ΠΙΝΑΚΑΣ 4.2.1.4: ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ ΛΙΠΑΡΩΝ ΟΞΕΩΝ

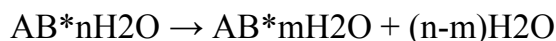
Υλικό	Χημικός τύπος	Σημείο τήξης C	Λανθάνουσα θερμότητα (KJ/Kg)	Ομάδα
Acetic acid	CH ₃ COOH	16.7	184	I
Polyethylene glycol 600	H(OC ₂ H ₂) <i>n</i> -OH	20–25	146	I
Capric acid	CH ₃ (CH ₂) ₈ ·COOH	36	152	–
Eladic acid	C ₈ H ₇ C ₉ H ₁₆ ·COOH	47	218	I
Lauric acid	CH ₃ (CH ₂) ₁₀ ·COOH	49	178	II
Pentadecanoic acid	CH ₃ (CH ₂) ₁₃ ·COOH	52.5	178	–
Tristearin	(C ₁₇ H ₃₅ COO) ₃ C ₃ H ₅	56	191	I
Myristic acid	CH ₃ (CH ₂) ₁₂ ·COOH	58	199	I
Palmitic acid	CH ₃ (CH ₂) ₁₄ ·COOH	55	163	I
Stearic acid	CH ₃ (CH ₂) ₁₆ ·COOH	69.4	199	I
Acetamide	CH ₃ CONH ₂	81	241	I
Methyl fumarate	(CHCO ₂ NH ₃) ₂	102	242	I

4.2.2.Ανόργανα υλικά αλλαγής φάσης

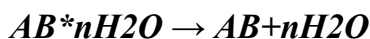
Τα ανόργανα υλικά χωρίζονται στα ένυδρα άλατα και στα μέταλλα. Αυτά τα υλικά αλλαγής φάσης δεν εμφανίζουν σημαντική υπέρψηξη ενώ η λανθάνουσα θερμότητα τήξης τους δεν μειώνεται με τους πολλαπλούς κύκλους φόρτισης-εκφόρτισης.[11]

- Ένυδρα άλατα

Τα ένυδρα άλατα μπορούν να θεωρηθούν σαν κράματα ανόργανων αλάτων και νερού, σχηματίζοντας έτσι ένα τυπικό στερεό με γενικό χημικό τύπο της μορφής : AB_nH_2O . Η μετατροπή από στερεό σε υγρό ένυδρο άλας είναι ουσιαστικά απομάκρυνση του μορίου ύδατος. Αυτή η διαδικασία μοιάζει θερμοδυναμικά με την τήξη και πήξη. Ένα ένυδρο άλας τήκεται συνήθως σε ένυδρο άλας με λιγότερα moles νερού και νερό:



Υπάρχει επίσης περίπτωση να έρθει στη μορφή άνυδρου άλατος.



Στο σημείο τήξης ο κρύσταλλος σπάει σε άνυδρο άλας και νερό ή σε λιγότερο άνυδρο άλας και νερό. Ένα πρόβλημα με τα περισσότερα ένυδρα άλατα είναι αυτό της ασύμπτωτης τήξης. Αυτό συμβαίνει καθώς το νερό που απελευθερώνεται δεν είναι αρκετό για τη διάλυση όλου του στερεού υπολείμματος. Εξ αιτίας της διαφοράς στην πυκνότητα που προκύπτει (κατά την τήξη), το άλας με την μικρότερη περιεκτικότητα σε νερό (ή το άνυδρο άλας) κατακάθεται στον πάτο της δεξαμενής αποθήκευσης. Τα περισσότερα ένυδρα άλατα εμφανίζουν κακές ιδιότητες πυρήνωσης που οδηγούν σε φαινόμενα υπέρψυξης του υγρού πριν ξεκινήσει η ανάπτυξη κρυστάλλου. Το πρόβλημα αυτό αντιμετωπίζεται είτε με την προσθήκη κάποιου παράγοντα πυρήνωσης είτε με τη διατήρηση κάποιας μικρής ψυχρής περιοχής στο PCM που θα τελεί χρέη πυρήνα. Τα ένυδρα άλατα είναι η πιο σημαντική κατηγορία PCM που έχει εκτενώς μελετηθεί για χρήση σε συστήματα αποθήκευσης ενέργειας με τη μορφή λανθάνουσας θερμότητας. Τα σημαντικότερα πλεονεκτήματα που χαρακτηρίζουν αυτή την κατηγορία υλικών είναι :

- Υψηλή λανθάνουσα θερμότητα τήξης ανα μονάδα όγκου
- Σχετικά υψηλή θερμική αγωγιμότητα (σχεδόν διπλάσια από αυτή των παραφινών)
- Μικρές μεταβολές όγκου κατά την τήξη

Δεν είναι πολύ διαβρωτικά υλικά, είναι ελαφρά τοξικά, ενώ είναι συμβατά με πλαστικές δεξαμενές αποθήκευσης. Επίσης πολλά ένυδρα άλατα είναι επαρκώς φτηνά για τη μελετώμενη χρήση (αποθήκευση θερμότητας). Τα άλατα εμφανίζουν συμπεριφορές κατά την τήξη, που έχουν χωριστεί σε τρεις κατηγορίες:

- Ασύμπτωτη τήξη: προκύπτει όταν το άλας δεν είναι πλήρως διαλυτό στο νερό στη θερμοκρασία τήξης.
- Μερικώς ασύμπτωτη τήξη : έχουμε όταν το άλας δεν είναι πλήρως διαλυτό στο νερό στην θερμοκρασία τήξης.
- Σύμπτωτη τήξη: Προκύπτει όταν το άνυδρο άλας είναι πλήρως διαλυτό στο νερό στη θερμοκρασία τήξης και συνεπώς δεν εμφανίζεται διαχωρισμός των φάσεων.

Η σύμπτωτη τήξη προφανώς και είναι η επιθυμητή συμπεριφορά ενός άλατος καθώς οι κύκλοι επαναλαμβανόμενης τήξης και πήξης δεν επιδρούν αρνητικά στην απόδοση και σύσταση του αρχικού άλατος. Ένα παράδειγμα μερικώς ασύμπτωτης τήξης είναι αυτό του $\text{CaCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$. Όταν το υγρό ψύχεται το ένυδρο άλας $\text{CaCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ δεν σχηματίζεται αμέσως. Αντίθετα ένα στερεό και ένα υγρό σχηματίζονται πρώτα. Το στερεό έχει τη χημική σύσταση $\text{CaCl}_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ ενώ το υγρό έχει υψηλότερο περιεχόμενο ύδατος από το $\text{CaCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$. η αιτία αυτής της συμπεριφοράς είναι πως η καμπύλη υγραποίησης του $\text{CaCl}_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ τέμνει αυτή του $\text{CaCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ σε περιοχή χαμηλότερης συγκέντρωσης άλατος. Όταν η θερμοκρασία φτάσει περίπου στο επίπεδο των 28°C το στερεό $\text{CaCl}_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ και το υγρό διάλυμα αντιδρούν και προκύπτει το στερεό ένυδρο άλας $\text{CaCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$.

Το πρόβλημα με το διαχωρισμό της φάσης που προκύπτει είναι πως μπορεί να μειώσει δραστικά την πυκνότητα αποθήκευσης θερμότητας καθώς αυτή η κατάσταση δεν επιτρέπει την πλήρη πήξη του PCM και συνεπώς η λανθάνουσα θερμότητα δεν απελευθερώνεται σε όλο της το βαθμό.

Η ασύμπτωτη τήξη αντιμετωπίζεται με :

- Μηχανική ανάδευση
- Προσθήκη του υλικού σε κάψουλες ώστε να μειωθεί ο χώρος και η ποσότητα που μπορεί να υποστεί διαχωρισμό
- Προσθήκη πρόσθετων πυκνώσεων που εμποδίζουν την καθίζηση και κρατούν το στερεό άλας σε αιώρηση.
- Χρήση πρόσθετου νερού έτσι ώστε να μην προκύπτει υπερκορεσμένο άλας
- Χημική τροποποίηση του άλατος ώστε να μην εμφανίζει ασύμπτωτη τήξη .

ΠΙΝΑΚΑΣ 4.2.2.1: ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ ΕΝΥΔΡΩΝ ΑΛΑΤΩΝ

<i>Υλικό</i>	<i>Σημείο τήξης</i>	<i>Λανθάνουσα Θερμότητα (KJ/Kg)</i>	<i>Ομάδα</i>
K ₂ HPO ₄ ·6H ₂ O	14.0	109	II
FeBr ₃ ·6H ₂ O	21.0	105	II
Mn(NO ₃) ₂ ·6H ₂ O	25.5	148	II
FeBr ₃ ·6H ₂ O	27.0	105	II
CaCl ₂ ·12H ₂ O	29.8	174	I
LiNO ₃ ·2H ₂ O	30.0	296	I
LiNO ₃ ·3H ₂ O	30	189	I
Na ₂ CO ₃ ·10H ₂ O	32.0	267	II
Na ₂ SO ₄ ·10H ₂ O	32.4	241	II
KFe(SO ₄) ₂ ·12H ₂ O	33	173	I
CaBr ₂ ·6H ₂ O	34	138	II
LiBr ₂ ·2H ₂ O	34	124	I
Zn(NO ₃) ₂ ·6H ₂ O	36.1	134	III
FeCl ₃ ·6H ₂ O	37.0	223	I
Mn(NO ₃) ₂ ·4H ₂ O	37.1	115	II
Na ₂ HPO ₄ ·12H ₂ O	40.0	279	II
CoSO ₄ ·7H ₂ O	40.7	170	I
KF·2H ₂ O	42	162	III
MgI ₂ ·8H ₂ O	42	133	III
CaI ₂ ·6H ₂ O	42	162	III
K ₂ HPO ₄ ·7H ₂ O	45.0	145	II
Zn(NO ₃) ₂ ·4H ₂ O	45	110	III

Mg(NO ₃)·4H ₂ O	47.0	142	II
Ca(NO ₃)·4H ₂ O	47.0	153	I
Fe(NO ₃) ₃ ·9H ₂ O	47	155	I
Na ₂ SiO ₃ ·4H ₂ O	48	168	II
K ₂ HPO ₄ ·3H ₂ O	48	99	II
Na ₂ S ₂ O ₃ ·5H ₂ O	48.5	210	II
MgSO ₄ ·7H ₂ O	48.5	202	II
Ca(NO ₃) ₂ ·3H ₂ O	51	104	I
Zn(NO ₃) ₂ ·2H ₂ O	55	68	III
FeCl ₃ ·2H ₂ O	56	90	I
Ni(NO ₃) ₂ ·6H ₂ O	57.0	169	II
MnCl ₂ ·4H ₂ O	58.0	151	II
MgCl ₂ ·4H ₂ O	58.0	178	II
CH ₃ COONa·3H ₂ O	58.0	265	II
Fe(NO ₃) ₂ ·6H ₂ O	60.5	126	–
NaAl(SO ₄) ₂ ·10H ₂ O	61.0	181	I
NaOH·H ₂ O	64.3	273	I
Na ₃ PO ₄ ·12H ₂ O	65.0	190	–
LiCH ₃ COO·2H ₂ O	70	150	II
Al(NO ₃) ₂ ·9H ₂ O	72	155	I
Ba(OH) ₂ ·8H ₂ O	78	265	II
Mg(NO ₃) ₂ ·6H ₂ O	89.9	167	II
KAl(SO ₄) ₂ ·12H ₂ O	91	184	II
MgCl ₂ ·6H ₂ O	117	167	I

- **Μέταλλα**

Αυτή η κατηγορία περιλαμβάνει μέταλλα με χαμηλή θερμοκρασία τήξης και τα ευτηκτικά μέταλλα. Δεν έχει μελετηθεί εκτενώς σαν κατηγορία αποθήκευσης θερμικής ενέργειας εξαιτίας του υψηλού ειδικού βάρους που εμφανίζουν. Παρ' όλα αυτά όταν ο όγκος είναι το κρίσιμο μέγεθος ενώ δεν υπάρχουν προβλήματα του αυξημένου βάρους, είναι πιθανά προς χρήση εξαιτίας της υψηλής λανθάνουσας θερμότητας τήξης ανα μονάδα ογκου. Επίσης έχουν μεγάλη θερμική αγωγιμότητα οπότε δεν απαιτούνται πρόσθετες κατασκευές για βελτίωσή της που θα ανέβαζαν το βάρος της κατασκευής. Αυτή είναι και η βασική τους διαφορά σε σχέση με τα υπόλοιπα PCMs. Η χρήση τους όμως εξαιτίας της διαφορετικής τους συμπεριφοράς φέρνει στην επιφάνεια ασυνήθιστα μηχανολογικά προβλήματα. [11] Τα γενικά χαρακτηριστικά που παρουσιάζουν είναι:

- Υψηλή θερμότητα τήξης ανά μονάδα όγκου
- Χαμηλή θερμότητα τήξης ανά μονάδα βάρους
- Υψηλή θερμική αγωγιμότητα
- Σχετικά χαμηλή πίεση ατμών
- Χαμηλή ειδική θερμότητα.

ΠΙΝΑΚΑΣ 4.2.2.2: ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ ΜΕΤΑΛΛΩΝ

<i>Υλικό</i>	<i>Σημείο τήξης</i>	<i>Λανθάνουσα Θερμότητα (KJ/Kg)</i>	<i>Ομάδα</i>
Gallium–gallium antimony eutectic	29.8	–	–
Gallium	30.0	80.3	I
Cerrolow eutectic	58	90.9	–
Bi–Cd–In eutectic	61	25	–
Cerrobend eutectic	70	32.6	I
Bi–Pb–In eutectic	70	29	–
Bi–In eutectic	72	25	–
Bi–Pb–tin eutectic	96	–	–
Bi–Pb eutectic	125	–	–

ΠΙΝΑΚΑΣ 4.2.2.3 : ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΟΡΓΑΝΙΚΩΝ ΚΑΙ ΑΝΟΡΓΑΝΩΝ PCM

Οργανικά PCM	Ανόργανα PCM
Πλεονεκτήματα	
Μη διαβρωτικά	Μεγαλύτερη ενθαλπία αλλαγής Φάσης
Ελάχιστη ή καθόλου υπόψυξη	
Χημική και θερμική σταθερότητα	
Μειονεκτήματα	
Χαμηλότερη ενθαλπία αλλαγής Φάσης	Υπόψυξη
Χαμηλή θερμική αγωγιμότητα	Διάβρωση
Εύφλεκτα	Διαχωρισμός φάσεων
	Απομόνωση φάσεων, έλλειψη θερμικής σταθερότητας

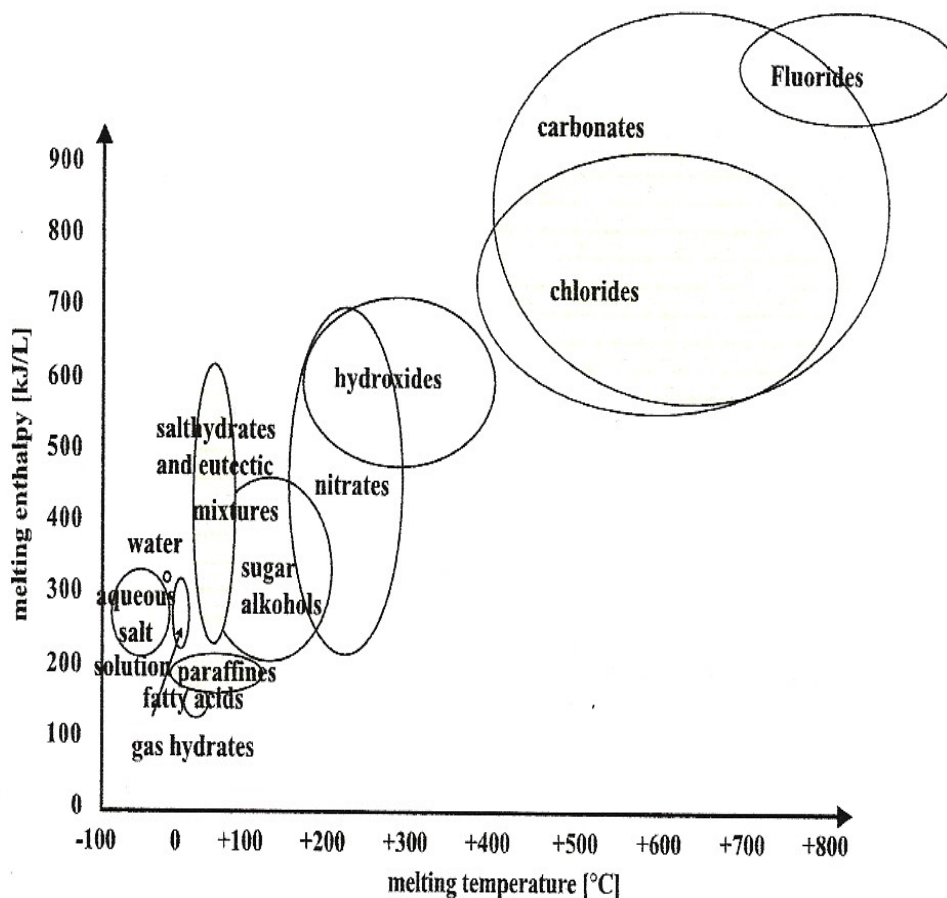
4.2.3.Ευτηκτικά

Το σημείο τήξης ενός μείγματος δύο ή περισσότερων στερεών εξαρτάται από τις αναλογίες των υλικών του. Ένα ευτηκτικό μείγμα έχει τέτοιες αναλογίες υλικών ώστε να τήκεται και να πήζει ταυτόχρονα, χωρίς να υπάρχει διαχωρισμός. Ευτηκτικά μείγματα που συνήθως χρησιμοποιούνται σαν PCM είναι οργανικά-οργανικά, οργανικά-ανόργανα, ανόργανα-ανόργανα.[11]

ΠΙΝΑΚΑΣ 4.2.3.1: ΣΥΣΤΑΣΗ ΚΑΙ ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ ΕΥΤΗΚΤΙΚΩΝ ΥΛΙΚΩΝ

Υλικό	Σύσταση	Σημείο τήξης	Λανθάνουσα Θερμότητα (KJ/Kg)	Ομάδα
CaCl ₂ ·6H ₂ O + CaBr ₂ ·6H ₂ O	45 + 55	14.7	140	–
Triethylolethane + water + urea	38.5 + 31.5 + 30	13.4	160	I
C ₁₄ H ₂₈ O ₂ + C ₁₀ H ₂₀ O ₂	34 + 66	24	147.7	–

CaCl ₂ + MgCl ₂ ·6H ₂ O	50 + 50	25	95	II
CH ₃ CONH ₂ + NH ₂ CONH ₂	50 + 50	27	163	II
Triethylolethane + urea	62.5 + 37.5	29.8	218	I
Ca(NO ₃) ₂ ·4H ₂ O + Mg(NO ₃) ₂ ·6H ₂ O	47 + 53	30	136	–
CH ₃ COONa·3H ₂ O + NH ₂ CO NH ₂	40 + 60	30	200.5	I
NH ₂ CONH ₂ + NH ₄ NO ₃	53 + 47	46	95	II
Mg(NO ₃) ₂ ·6H ₂ O + NH ₄ NO ₃	61.5 + 38.5	52	125.5	I
Mg(NO ₃) ₂ ·6H ₂ O + MgCl ₂ ·6 H ₂ O	58.7 + 41.3	59	132.2	I
Mg(NO ₃) ₂ ·6H ₂ O + MgCl ₂ ·6 H ₂ O	50 + 50	59.1	144	–
Mg(NO ₃) ₂ ·6H ₂ O + Al(NO ₃) ₃ ·9H ₂ O	53 + 47	61	148	–
CH ₃ CONH ₂ + C ₁₇ H ₃₅ COO H	50 + 50	65	218	–
Mg(NO ₃) ₂ ·6H ₂ O + MgBr ₂ ·6 H ₂ O	59 + 41	66	168	I
Napthalene + benzoic acid	67.1 + 32.9	67	123.4	–
NH ₂ CONH ₂ + NH ₄ Br	66.6 + 33.4	76	151	II
LiNO ₃ + NH ₄ NO ₃ + NaNO ₃	25 + 65 + 10	80.5	113	–
LiNO ₃ + NH ₄ NO ₃ + KNO ₃	26.4 + 58.7 + 14.9	81.5	116	–
LiNO ₃ + NH ₄ NO ₃ + NH ₄ Cl	27 + 68 + 5	81.6	108	–



ΕΙΚΟΝΑ 4.2.3.1: ΚΑΤΗΓΟΡΙΕΣ PCM ΣΕ ΣΥΝΑΡΤΗΣΗ ΜΕ ΤΗΝ ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ ΚΑΙ ΤΗΝ ΕΝΘΑΛΠΙΑ ΤΗΞΗΣ [12]

4.3. Ιδιότητες των υλικών αλλαγής φάσης

Η κατάλληλη θερμοκρασία αλλαγής φάσης και η μεγάλη ενθαλπία τήξης είναι οι βασικές απαιτήσεις που πρέπει να καλυφτούν από ένα P.C.M. . Εντούτοις, υπάρχουν απαιτήσεις που πρέπει να καλυφθούν για τις περισσότερες, αλλά όχι όλες τις εφαρμογές. Οι βασικότερες από αυτές είναι οι ακόλουθες [12],[14] :

4.3.1. Φυσικές ιδιότητες :

- Κατάλληλη θερμοκρασία αλλαγής φάσης, ώστε να εξασφαλισθεί η αποθήκευση και στη συνέχεια η απελευθέρωση της θερμότητας σε μια εφαρμογή, με σταθερό θερμοκρασιακό εύρος.

- Μεγάλο ποσό ενθαλπίας αλλαγής φάσης (ΔH), για να επιτευχθεί υψηλή πυκνότητα αποθήκευσης θερμότητας σε σχέση με την αποθήκευση που θα γινόταν αν είχαμε αποθήκευση ενέργειας με αισθητή θερμότητα.
- Μεγάλη τιμή της θερμικής αγωγιμότητας, ώστε να είναι δυνατή η εξαγωγή της αποθηκευμένης θέρμανσης ή ψύξης με ικανοποιητικό ποσό θερμοροής.
- Δυνατότητα αναστρεψιμότητας των αλλαγών φάσεων, ώστε το υλικό να είναι δυνατόν να χρησιμοποιηθεί πολλές φορές. Οι σταθερότητα των κύκλων φόρτισης του υλικού στη διεθνή βιβλιογραφία καλούνται « *cycling stability* ».
- Μικρό ποσό υπόψυξης (*subcooling*), ώστε να βεβαιωθούμε ότι το υλικό τήκεται και στερεοποιείται στις ίδιες θερμοκρασίες.

4.3.2. Κινητικές ιδιότητες:

- Υψηλή εμπύρινη αναλογία (nucleation rate) ώστε να αποφεύγεται το φαινόμενο της υπόψυξης της υγρής φάσης.
- Υψηλή ταχύτητα ανάπτυξης των κρυστάλλων, ώστε το σύστημα να μπορεί να καλύπτει την ζήτηση ανακτώντας θερμότητα από το σύστημα αποθήκευσης.

4.3.3. Χημικές ιδιότητες:

- Ο κύκλος τήξης/στερεοποίησης να είναι πλήρως αναστρέψιμος.
- Να μην υποβαθμίζεται μετά από πολλούς κύκλους τήξης / στερεοποίησης (κόπωση).
- Να μην διαβρώνει τα υλικά με τα οποία έρχεται σε επαφή.
- Να μην είναι τοξικό, να μην είναι εύφλεκτο και να μην εκρήγνυται.

4.3.4. Τεχνικές ιδιότητες :

- Μικρή τιμή της πίεσης ατμών, για να μειωθούν απαιτήσεις μηχανικής αντοχής στο δοχείο που θα βρίσκεται το υλικό αλλαγής φάσης.
- Μικρή μεταβολή του όγκου κατά την αλλαγή φάσης, επίσης για να μειωθούν οι απαιτήσεις μηχανικής αντοχής στο δοχείο που θα φέρει το εν λόγω υλικό.

- Φυσική και χημική σταθερότητα του υλικού για να έχει μεγάλη διάρκεια ζωής.
- Συμβατότητα με άλλα υλικά, ώστε να εξασφαλίζεται η μακροχρόνια διάρκεια ζωής του στο δοχείο, χωρίς να επηρεάζεται η δομή και η σύστασή του από τα υλικά των τοιχωμάτων του δοχείου.

4.3.5. Οικονομικές ιδιότητες :

- Χαμηλή τιμή πώλησης, ώστε να είναι ανταγωνιστικό σε σχέση με άλλα προϊόντα τα οποία προσφέρουν αποθήκευση θερμότητας για θέρμανση και ψύξη.
- Μη τοξικά, για περιβαλλοντικούς λόγους και λόγους ασφάλειας .
- Ανακυκλώσιμα, επίσης για περιβαλλοντικούς και οικονομικούς λόγους.

Συνήθως η επιλογή της χρήσης ενός υλικού αλλαγής φάσης γίνεται με κριτήριο την θερμοκρασία αλλαγής φάσης, την ενθαλπία και την δυνατότητα αναστρεψιμότητα του κύκλου ψύξης – τήξης. Όμως στην πλειονότητα των περιπτώσεων ένα υλικό δεν είναι δυνατόν να καλύψει όλες τις παραπάνω απαιτήσεις, διότι για παράδειγμα όταν η θερμική αγωγιμότητα είναι μικρή, τότε απαιτείται η τοποθέτηση του υλικού σε κάψουλες (encapsulation), ώστε να διευκολυνθεί η μετάδοση της αποθηκευμένης θερμότητας. Επομένως έχουν αναπτυχθεί στρατηγικές και προσεγγίσεις οι οποίες έχουν στόχο να αντιμετωπίσουν αυτά τα προβλήματα.

4.4.Δυσκολίες κατά την χρήση των PCM

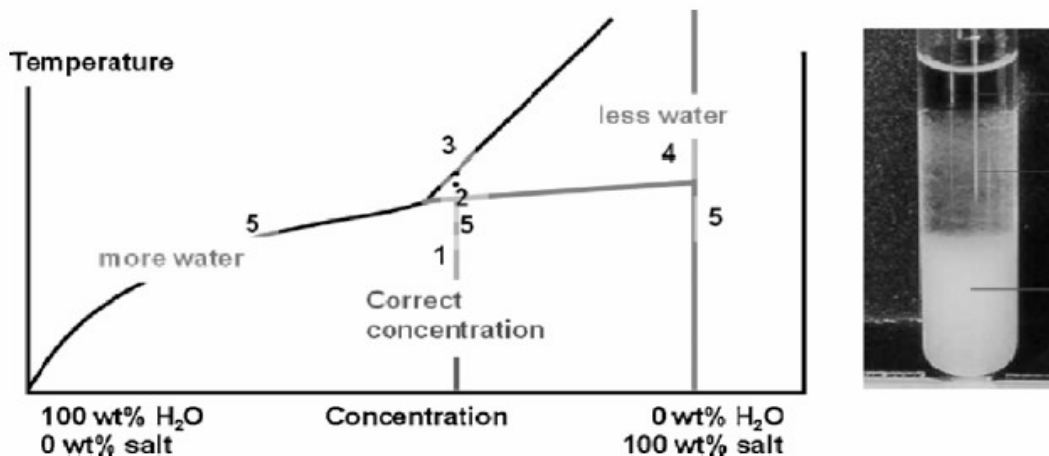
Συνήθως, κατά την επιλογή ενός υλικού, για να χρησιμοποιηθεί ως Υλικό Αλλαγής Φάσης, δεν πληρούνται όλες οι προϋποθέσεις για την ενδεχόμενη χρήση του. Για αυτό το λόγο έχουν αναπτυχθεί διάφορες στρατηγικές προκειμένου να επιλυθούν τέτοιου είδους προβλήματα. Παρακάτω παρουσιάζονται ορισμένα από τα βασικότερα προβλήματα που εμφανίζονται σε αυτού του είδους τα υλικά[12].

4.4.1.Διαχωρισμός φάσεων

Το φαινόμενο του διαχωρισμού φάσης, στη διεθνή βιβλιογραφία καλείται « phase separation » ή « semi congruent melting ». Είναι ένα από τα βασικότερα προβλήματα που εμφανίζονται στα P.C.M., ιδιαίτερα μάλιστα σε αυτά που αποτελούνται από παραπάνω από δύο συστατικά. Το φαινόμενο του

διαχωρισμού φάσης οφείλεται στην μεγάλη θερμοαποθηκευτική ικανότητα των ένυδρων αλάτων που είναι δύσκολο να διατηρηθεί καθώς μειώνεται με τους κύκλους φόρτισης του υλικού. Κύρια αιτία εκφυλισμού των θερμικών ιδιοτήτων των υλικών είναι ο διαχωρισμός των φάσεων του υλικού και ο πιθανός σχηματισμός άνυδρων αλάτων με δημιουργία ιζήματος. Το φαινόμενο λαμβάνει χώρα λόγω του ότι τα ένυδρα άλατα τήκονται σύμφωνα με το κατώτερο συστατικό του μίγματος, δημιουργώντας μη αναστρέψιμη διαδικασία που οδηγεί σε συνεχή εξασθένηση των ιδιοτήτων τους. Ο ακριβής μηχανισμός του φαινομένου περιγράφεται παρακάτω με ένα παράδειγμα.

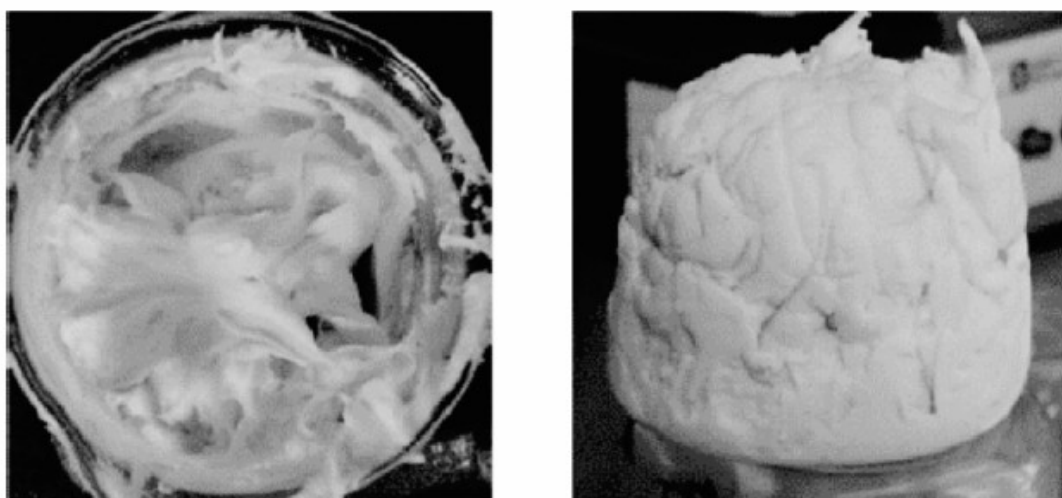
Έστω ότι έχουμε ένα ένυδρο άλας αποτελούμενο από δύο συστατικά ($\text{CaCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$). Το διάγραμμα ισορροπίας φάσεων του ένυδρου άλατος φαίνεται στο παρακάτω σχήμα [12].



ΕΙΚΟΝΑ 4.4.1.1: ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ ΙΣΟΡΡΟΠΙΑΣ ΦΑΣΕΩΝ ΑΛΑΤΟΣ-ΝΕΡΟΥ, ΑΝΤΙΣΤΟΙΧΙΑ ΤΩΝ ΦΑΣΕΩΝ ΜΕ ΔΟΚΙΜΑΣΤΙΚΟ ΣΩΛΗΝΑ, ΓΙΑ ΔΕΔΟΜΕΝΗ ΣΥΣΤΑΣΗ ΚΑΙ ΣΥΓΚΕΚΡΙΜΕΝΕΣ ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΕΣ

Το μονοφασικό μίγμα κατάστασης 1 (στερεό) θερμαίνεται μέχρι τη θερμοκρασία στο σημείο 2. Από το σημείο 3 και πάνω, έχουμε τμήσει την *liquidus* οπότε οτιδήποτε βρίσκεται πάνω από αυτή την ευθεία είναι σε υγρή κατάσταση. Κατά τη θέρμανση ή ψύξη μεταξύ των σημείων 2 και 3, σχηματίζονται δύο φάσεις, μία υγρή και μια άλλη φάση με κάποιο μικρό ποσοστό νερού (σημείο 4). Αν αυτές οι δύο φάσεις διαφέρουν σε πυκνότητα, τότε υπάρχει περίπτωση να έχουμε μακροσκοπικό διαχωρισμό των φάσεων και συνεπώς οι δύο φάσεις θα έχουν διαφορετικές συγκεντρώσεις στη δομή του P.C.M. (σημείο 5).

Για την αποφυγή τέτοιων φαινομένων διαχωρισμού φάσεων χρησιμοποιούνται κολλοειδή προσθετικά (*gelling additives*), τα οποία δημιουργούν μια δομή γύρω από τις φάσεις των συστατικών του υλικού και δεν επιτρέπουν τη διέλευση φάσεων με διαφορετικές πυκνότητες διαμέσου της δομής τους. Στο παρακάτω σχήμα φαίνεται η χρήση κολλοειδών προσθετικών σε ένυδρο άλας χλωριούχου ασβεστίου. Εναλλακτικά αν δεν χρησιμοποιηθούν προσθετικά, είναι δυνατόν να αναθερμάνουμε το μίγμα και με μοριακή διάχυση να επανέλθει στην αρχική του κατάσταση[12].



*ΕΙΚΟΝΑ 4.4.1.2:ΧΡΗΣΗ ΚΟΛΛΟΕΙΔΟΥΣ ΠΡΟΣΘΕΤΙΚΟΥ ΣΕ ΕΝΥΔΡΟ
ΑΛΑΣ $\text{CaCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$*

4.4.2.Μικρή τιμή της θερμικής αγωγιμότητας

Η χαμηλή τιμή της θερμικής αγωγιμότητας του P.C.M. είναι μια εγγενής ιδιότητα των μη μεταλλικών υγρών. Το πρόβλημα έγκειται στο ότι το P.C.M., αποθηκεύει ένα μεγάλο ποσό θερμότητας σε μικρό όγκο και αυτή η θερμότητα πρέπει να μεταφερθεί μέσω της επιφάνειας αυτού του όγκου στο εξωτερικό περιβάλλον ώστε να χρησιμοποιηθεί από το σύστημα[12].

Τρόποι βελτίωσης της θερμικής αγωγιμότητας του υλικού είναι οι ακόλουθοι :

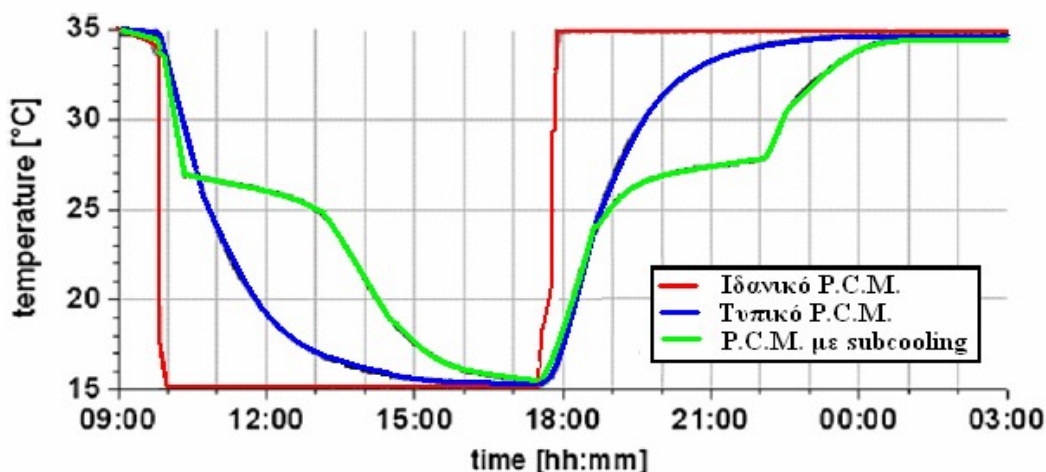
- Βελτίωση της μεταφοράς θερμότητας που χρησιμοποιώντας μεταφορά μάζας, με μεταφορά. Ο μηχανισμός της μεταφοράς εμφανίζεται μόνο κατά την υγρή φάση και επομένως ενεργεί μόνο όταν θερμότητα μεταφέρεται στο P.C.M.. Όταν η θερμότητα

εξάγεται, οι στερεές μορφές σχηματίζονται στις συναλλασσόμενες με θερμότητα επιφάνειες.

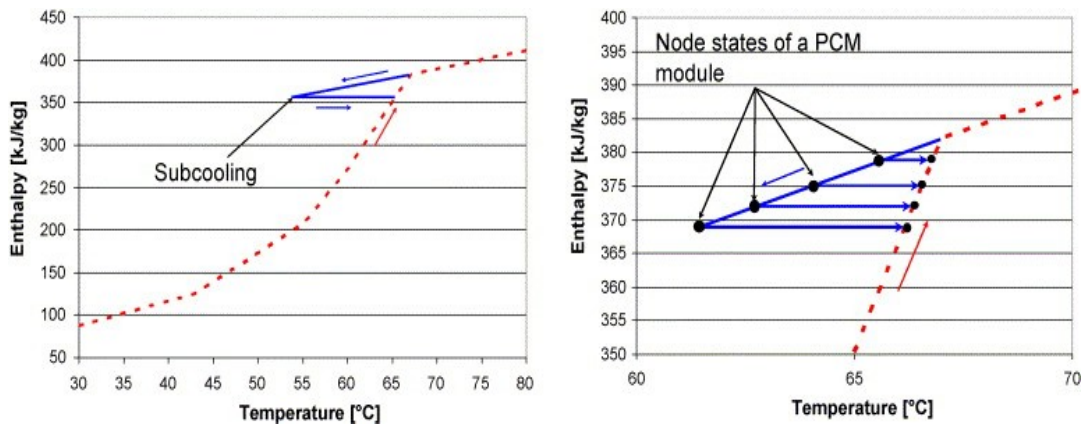
- Βελτίωση της μεταφοράς θερμότητας μέσω της αύξησης της θερμικής αγωγιμότητας. Αυτό μπορεί να επιτευχθεί με την προσθήκη των αντικειμένων με μεγαλύτερη θερμική αγωγιμότητα στο P.C.M..

4.4.3.Υπόψυξη - Υπέρψυξη (Subcooling – Supercooling)

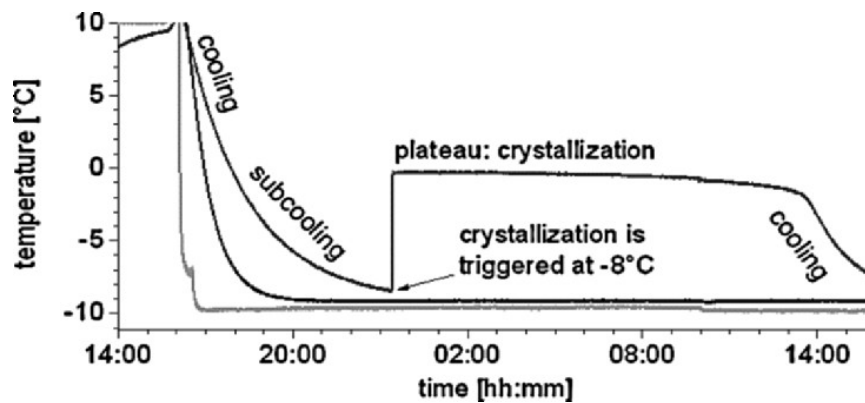
Ένα βασικό πρόβλημα που εμφανίζεται κυρίως στα ανόργανα ένυδρα άλατα είναι το φαινόμενο της υπέρψυξης ή υπόψυξης (*supercooling or subcooling*). Ένα ιδανικό υλικό αλλαγής φάσης θα έπρεπε να στερεοποιείται και να τήκεται στην ίδια θερμοκρασία, όπως φαίνεται στο παρακάτω σχήμα . Κάποια υλικά δεν στερεοποιούνται αμέσως, εάν η θερμοκρασία του υλικού είναι μικρότερη από τη θερμοκρασία τήξης, το φαινόμενο αυτό ονομάζεται υπόψυξη ή υπέρψυξη. Κατά τη διάρκεια της υπόψυξης το υλικό βρίσκεται σε μια μετασταθή κατάσταση. Το φαινόμενο είναι δυνατόν να περιορισθεί με χρήση ενός πυρήνα (*nucleator*), ο οποίος προστίθεται στο P.C.M. για να εξασφαλίσει ότι η στερεή φάση θα σχηματισθεί με μηδαμινή ή ακόμα και καθόλου υπόψυξη[12].



ΕΙΚΟΝΑ 4.4.3.1: ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑΣ-ΧΡΟΝΟΥ ΣΤΕΡΕΟΠΟΙΗΣΗΣ ΚΑΙ ΤΗΞΗΣ ΙΔΑΝΙΚΟΥ ΚΑΙ ΤΥΠΙΚΟΥ P.C.M., ΦΑΙΝΟΜΕΝΟ ΥΠΟΨΥΞΗΣ



ΕΙΚΟΝΑ 4.4.3.2: ΜΟΝΤΕΛΟ ΥΠΟΨΥΞΗΣ



ΕΙΚΟΝΑ 4.4.3.3: ΥΠΟΨΥΞΗ ΤΟΥ ΝΕΡΟΥ

Τα είδη των πυρήνων που μπορούν να προστεθούν είναι τα ακόλουθα :

- «Εγγενής» Πυρήνες (*Intrinsic nucleators*) : πρόκειται για ίδια συστατικά του P.C.M. , πρέπει να φυλάσσονται ξεχωριστά από το P.C.M., διότι αλλιώς υπάρχει κίνδυνος να τήξουν μαζί με αυτό και κατόπιν να είναι ανενεργά.

- «Συμβατοί» Πυρήνες (*Extrinsic nucleators*) : πρόκειται για χημικά τα οποία παρουσιάζουν όμοια δομή με αυτή των P.C.M., αυτό σημαίνει ότι έχουν παρόμοιες θερμοκρασίες τήξης με το P.C.M. που χρησιμοποιούμε. Επίσης θα πρέπει να φυλάσσονται ξεχωριστά από το P.C.M., διότι αλλιώς υπάρχει κίνδυνος να τήξουν μαζί με αυτό και κατόπιν να είναι ανενεργά [12]

Για την αντιμετώπιση της υπόψυξης προτείνονται οι παρακάτω λύσεις, που έχουν στόχο να προωθήσουν τη διεργασία της δημιουργίας πυρήνων:

- Με προσθήκη μικρής ποσότητας παραγόντων πυρήνωσης
- Με μηχανικά μέσα όπως η χρήση δοχείου με ανώμαλη επιφάνεια τοιχωμάτων, ή εναλλάκτη θερμότητας με τραχεία επιφάνεια
- Με διατήρηση μέσα στο PCM μιας περιοχής σε χαμηλή θερμοκρασία όταν το υπόλοιπο υλικό τήκεται με θέρμανση.

4.4.4. Διάβρωση

Πολύ σημαντικός παράγοντας στη λειτουργία ενός ΥΑΦ είναι να μην είναι διαβρωτικό, κυρίως απέναντι σε μεταλλικά υλικά. ,υστυχώς τα ανόργανα υλικά στην πλειοψηφία τους είναι διαβρωτικά, οι παραφίνες όμως όχι. Η διαβρωτικότητα ενός ΥΑΦ μπορεί σε συνδυασμό με τις συνεχείς εναλλαγές θερμοκρασίας και φάσης, σε βάθος χρόνου (όχι υποχρεωτικά μεγάλο) να καταστρέψει τη συσκευασία του ΥΑΦ και

κατ' επέκταση το σύστημα αποθήκευσης θερμότητας.

Σε πολλές θερμικές εφαρμογές με ΥΑΦ ο γραφίτης χρησιμοποιείται για την βελτίωση του φαινομένου της μεταφοράς θερμότητας. Παρ' όλ' αυτά ενισχύει και το φαινόμενο της οξειδωσης, όπου και όταν αυτό εμφανίζεται.

4.5. Μέθοδοι μέτρησης ιδιοτήτων των υλικών αλλαγής φάσης – μειονεκτήματα και πλεονεκτήματα των μεθόδων μέτρησης ιδιοτήτων των υλικών αλλαγής φάσης

Ο υπολογισμός των ιδιοτήτων ενός ΥΑΦ είναι εξαιρετικής σημασίας ζήτημα για την επιλογή του κατάλληλου υλικού για κάθε εφαρμογή. Οι κυριότερες ιδιότητες του υλικού που πρέπει να εξετάζονται είναι:

- Σημείο τήξης
- Συντελεστής θερμικής αγωγιμότητας
- Ειδική θερμοχωρητικότητα υπό σταθερή πίεση
- Λανθάνουσα θερμότητα υγροποίησης-στερεοποίησης
- Βαθμός supercooling
- Βαθμός διαχωρισμού των φάσεων
- Βαθμός διάβρωσης σε διάφορα «κοινά» υλικά

Οι ιδιότητες των ΥΑΦ εξετάζονται με δύο μεθόδους:

- Με μεθόδους με τις οποίες εξετάζονται οι ιδιότητες σε περιορισμένο χρονικό διάστημα και για ένα μόνο κύκλο φόρτισης του υλικού.
- Με μεθόδους με τις οποίες εξετάζονται οι ιδιότητες σε μεγάλο χρονικό διάστημα και για πολλούς κύκλους φόρτισης του υλικού.

Οι συνηθέστερες μέθοδοι που χρησιμοποιούνται για την μέτρηση του σημείου τήξης, της λανθάνουσας θερμότητας και της ειδικής θερμοχωρητικότητας, είναι:

- Συμβατική θερμιδομετρική μέθοδος (Conventional Calorimetry Method)
- Ψηφιακό Θερμιδόμετρο (Differential Scanning Calorimetry - DSC)
- Διαφορική θερμική ανάλυση (Differential Thermal Analysis - DTA)
- Μέθοδος T-history
- Μέθοδος double-cell

Το κύριο πλεονέκτημα αυτών των μεθόδων είναι η ακρίβεια των μετρούμενων μεγεθών, ενώ τα μειονεκτήματα συνοψίζονται στα εξής:

- Το δείγμα που χρησιμοποιείται είναι πολύ μικρό, γεγονός που είναι αντίθετο με τη γνώση ότι ορισμένες ιδιότητες των ΥΑΦ επηρεάζονται από το μέγεθος του δείγματος ή από το αν το ΥΑΦ είναι συσκευασμένο ή όχι. Επιπλέον αν το υλικό είναι μη ομογενές είναι δύσκολη έως αδύνατη η επιλογή αντιπροσωπευτικού δείγματος.
- Σε μία μέτρηση δεν μπορούν να μετρηθούν ταυτόχρονα πολλά δείγματα αλλά θα πρέπει να επαναλαμβάνεται το πείραμα για κάθε καινούριο δείγμα.
- Ο εξοπλισμός που απαιτείται για τη διεξαγωγή των πειραμάτων και των μετρήσεων είναι πολύπλοκος και πολυδάπανος[16].

4.5.1.DSC:

Το Θερμιδόμετρο Διαφορικής Ανάλυσης (DSC) είναι ένα όργανο που χρησιμοποιείται για τη μέτρηση των θερμοδυναμικών χαρακτηριστικών των ΥΑΦ.

Μπορεί να αποδώσει γραφήματα θερμορροής-θερμοκρασίας, με την παρακάτω διαδικασία:

Γνωστή ποσότητα μάζας ΥΑΦ τοποθετείται σε κλειστό δοχείο με γνωστό όγκο. Αυτό το δοχείο, όπως και άλλο ένα ίδιο, άδειο, τοποθετούνται

μέσα στο DSC. Καθώς η θερμοκρασία αυξάνεται με γνωστό και σταθερό ρυθμό, μετράται πόσο περισσότερη θερμότητα απαιτεί το υπό μελέτη δοχείο ώστε να διατηρεί τη θερμοκρασία του σταθερή και ίδια με του άδειου δοχείου. Καθώς η θερμοκρασία αυξάνει συνεχώς, σε κάποιο σημείο θα φτάσει τη θερμοκρασία τήξης του ΥΑΦ.

Η μετάβαση στην υγρή φάση είναι μία ενδόθερμη διαδικασία, δηλαδή απαιτείται απορρόφηση θερμότητας από το ΥΑΦ, και απαιτείται πρόσθετη θερμότητα για την τήξη του υλικού, σε σύγκριση πάντα με το άδειο δοχείο.

Η στερεοποίηση του ΥΑΦ συμβαίνει όταν το υλικό ψύχεται με σταθερό ρυθμό, και εμφανίζεται επίσης σαν τοπικό ακρότατο στο παραπάνω διάγραμμα. Η στερεοποίηση είναι εξώθερμη διαδικασία.

Οι λανθάνουσες θερμότητες τήξης και στερεοποίησης προσδιορίζονται ποσοτικά από το εμβαδό του γραφήματος στα δύο ακρότατα αντίστοιχα, και το αποτέλεσμα δίνεται από τη διαίρεση του εμβαδού αυτού δια του γινομένου του ρυθμού θέρμανσης (ψύξης) επί τη μάζα του δείγματος. Η διαφορά της θερμοκρασίας στο ακρότατο με την αντίστοιχη θεωρητική θερμοκρασία αλλαγής φάσης, δίνει το βαθμό της υπέρψυξης. [17]

Υπάρχουν δύο μέθοδοι θερμοκρασιακού προγράμματος:

4.5.1.1.DSC με σταθερό ρυθμό ψύξης και θέρμανσης (δυναμική μέτρηση θερμοχωρητικότητας, dynamic DSC)

Γίνεται εφαρμογή θερμοκρασιακού προγράμματος σταθερού ρυθμού ψύξης ή θέρμανσης για τον υπολογισμό της ειδικής θερμοχωρητικότητας C_p . Για τις συνήθεις εφαρμογές, οι τυπικές τιμές του ρυθμού ψύξεως ή θερμάνσεως κυμαίνονται στο διάστημα 2 έως 10 $K \text{ min}^{-1}$. Το σήμα που λαμβάνεται, κατά την μέτρηση, είναι ανάλογο προς την διαφορά θερμοκρασίας μεταξύ μετρούμενου δείγματος και δείγματος αναφοράς. Έτσι, με την βοήθεια ενός δείγματος αναφοράς, του οποίου είναι επ'ακριβώς γνωστή η καμπύλη ειδικής θερμοχωρητικότητας σε σχέση με την θερμοκρασία, υπολογίζεται η αντίστοιχη $C_p(T)$ για το μετρούμενο δείγμα.

Η εφαρμογή της μεθόδου DSC σταθερού ρυθμού ψύξης και θέρμανσης δεν ενδείκνυται για την μέτρηση της ειδικής θερμοχωρητικότητας των PCM, γιατί κατά την αλλαγή φάσης, το δείγμα δεν βρίσκεται σε θερμική ισορροπία και έχουμε σημαντική κατανομή της θερμοκρασίας, μέσα σε αυτό. Για αυτό τον λόγο οδηγούμαστε σε εσφαλμένα αποτελέσματα, των οποίων η απόκλιση εξαρτάται από το μέγεθος του δείγματος, από τον ρυθμό θέρμανσης, από το μέγεθος της θερμοχωρητικότητας και από την θερμική αγωγιμότητα. Επειδή οι θερμοφυσικές ιδιότητες των μετρούμενων υλικών συνήθως δεν είναι γνωστές με την επιθυμητή ακρίβεια, η απόκλιση αυτή δεν μπορεί μαθηματικώς να ελαχιστοποιηθεί.[18]

4.5.1.2.DSC ισόθερμων βημάτων (isothermal steps mode)

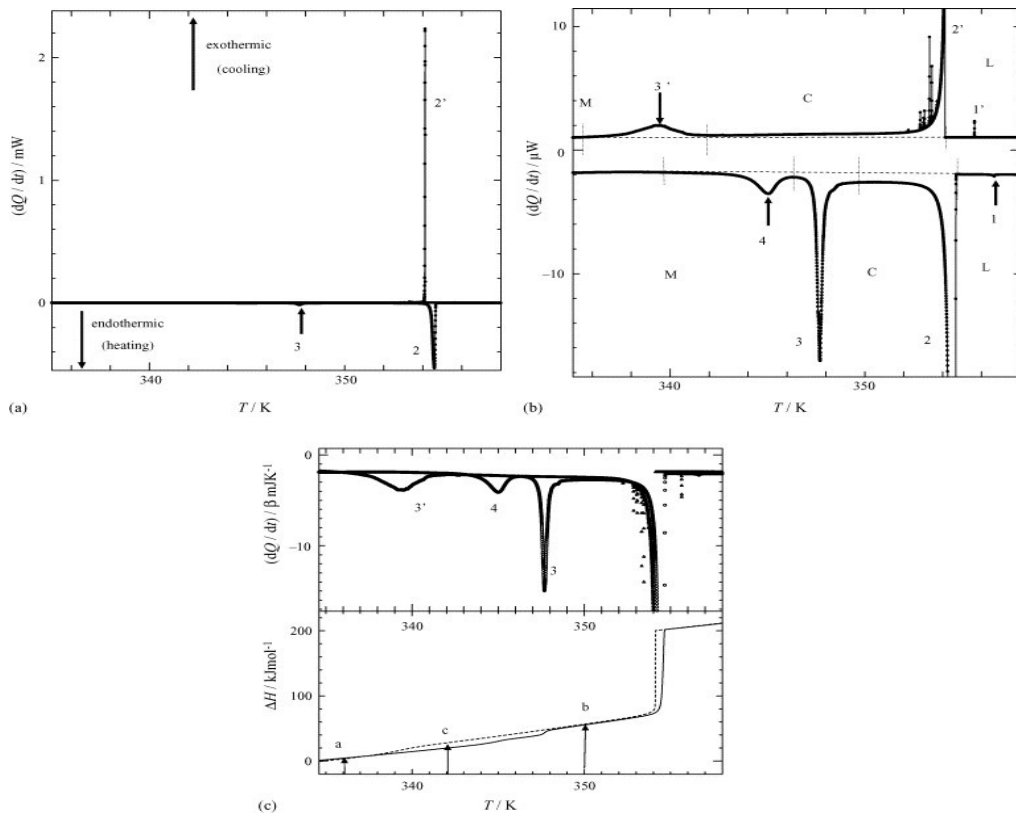
Στην περίπτωση αυτή το δείγμα θερμαίνεται βηματικά ανά τακτά χρονικά διαστήματα. Το δείγμα ακολουθεί τα βήματα με κάποια χρονική υστέρηση και έτσι παράγεται το σήμα εξόδου. Όταν θα φτάσει το δείγμα σε θερμική ισορροπία, το σήμα μηδενίζεται και ακολουθεί το επόμενο ισόθερμο βήμα. Το εμβαδόν κάτω από την καμπύλη του σήματος είναι ανάλογο της, εκ του δείγματος, απορροφούμενης θερμότητας, στο συγκεκριμένο ισόθερμο βήμα.

Η εφαρμογή της DSC ισόθερμων βημάτων είναι πιο χρονοβόρα και πιο περίπλοκη κατά την επεξεργασία απ'ότι η δυναμική μέτρηση θερμοχωρητικότητας. Το μεγάλο πλεονέκτημα, σε σύγκριση με την δυναμική μέτρηση, είναι ότι η απόκλιση στην μέτρηση της θερμοκρασίας του δείγματος είναι επ'ακριβώς γνωστή αφού σχετίζεται με το μέγεθος του ισόθερμου βήματος. Έτσι με ελάττωση του μεγέθους του βήματος επιτυγχάνεται μεγαλύτερη ακρίβεια.[18]

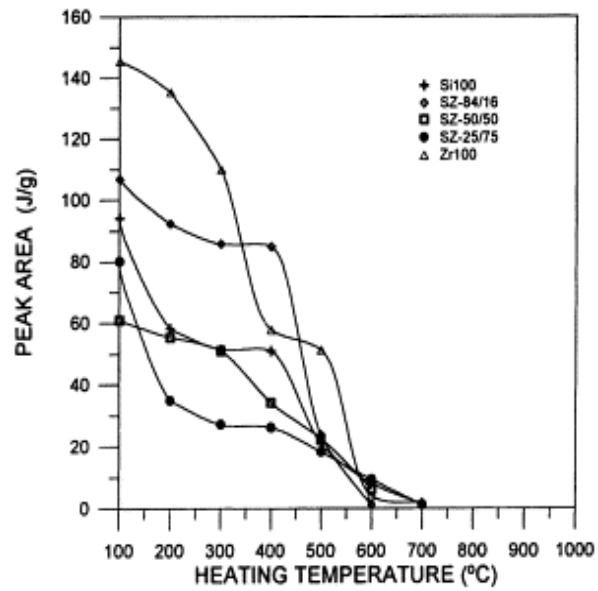
Παράγοντες οι οποίοι μπορούν να επηρεάσουν της μετρήσεις της μεθόδου, είναι :

- Λανθασμένη τοποθέτηση του δείγματος στην πλατφόρμα του DSC
- Μή καθαρότητα και μη ικανή ποσότητα μάζας υλικού.
- Ρυθμός θέρμανσης. Ένας γρήγορος ρυθμός θέρμανσης μπορεί να ελαχιστοποιήσει τα λαμβανόμενα αποτελέσματα και να έχει σαν αποτέλεσμα να μην αποδοθούν σωστά οι ιδιότητες του μελετούμενου υλικού.[17]

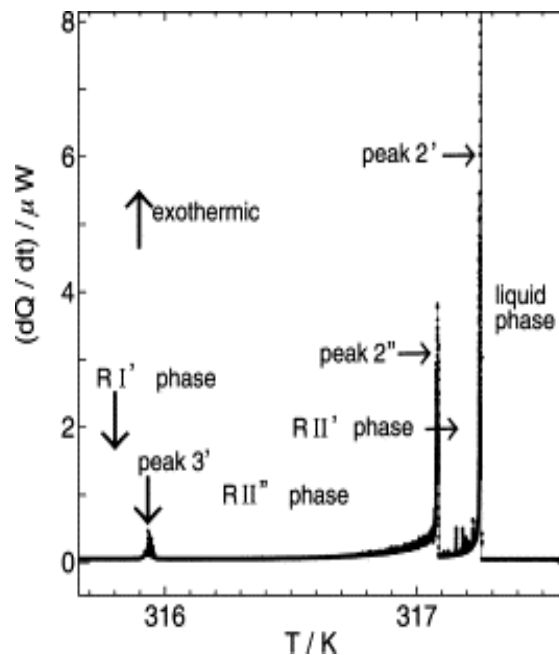
Ο πρωταρχικός σχεδιασμός της συσκευής αυτής δεν αναφερόταν στα ΥΑΦ. Η χρήση του ψηφιακού θερμιδομέτρου για τη θερμική ανάλυση των ΥΑΦ τίθεται υπό αμφισβήτηση γιατί κυρίως αδυνατεί να παρέξει χρήσιμες πληροφορίες για το φαινόμενο της υπέρψυξης. Η λανθάνουσα θερμότητα και το σημείο τήξης προσδιορίζονται καλύτερα με τη μέθοδο της θερμικής ανάλυσης. Με βάση την επιτυχημένη εφαρμογή των ένυδρων αλάτων σαν ΥΑΦ σε εμπορικές εφαρμογές, η αποτυχία στην επίτευξη σταθερότητας στις μετρήσεις με ψηφιακό θερμιδόμετρο, κατέστησε ύποπτη την ίδια τη μέθοδο. Στη μέθοδο του ψηφιακού θερμιδομέτρου οι θερμοκρασιακές αλλαγές είναι πολύ γρήγορες και το δείγμα πολύ μικρό, για να μπορεί να συσχετιστεί καλά με τις συνθήκες που επικρατούν στην πράξη. Επίσης, η θέση του αισθητήρα θερμοκρασίας στο ψηφιακό θερμιδόμετρο είναι επίσης θέμα προς εξέταση. [17]



ΕΙΚΟΝΑ 4.5.1.1: ΚΑΜΠΥΛΗ DSC ΓΙΑ ΨΥΞΗ ΚΑΙ ΘΕΡΜΑΝΣΗ



ΕΙΚΟΝΑ 4.5.1.2: ΚΑΜΠΥΛΕΣ DSC (ΘΕΡΜΑΝΣΗΣ)

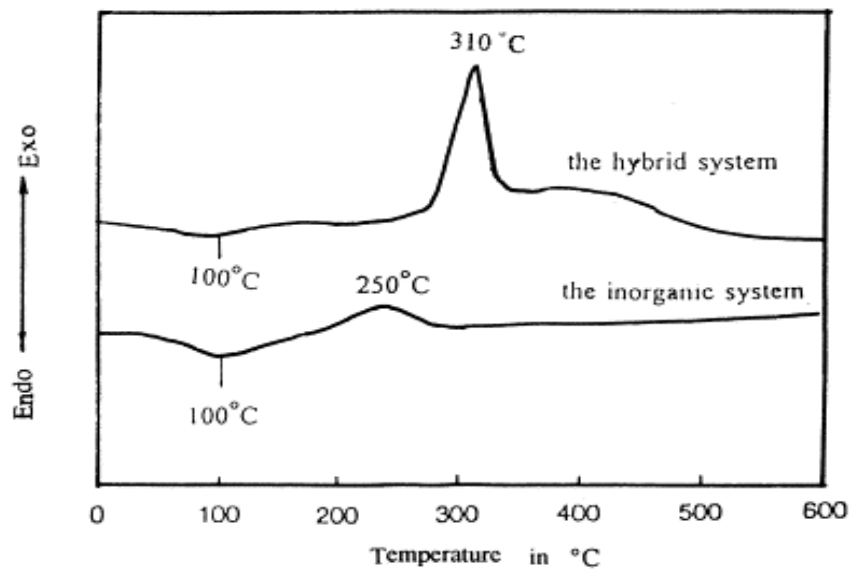


EIKONA 4.5.1.3: ΚΑΜΠΥΛΗ DSC

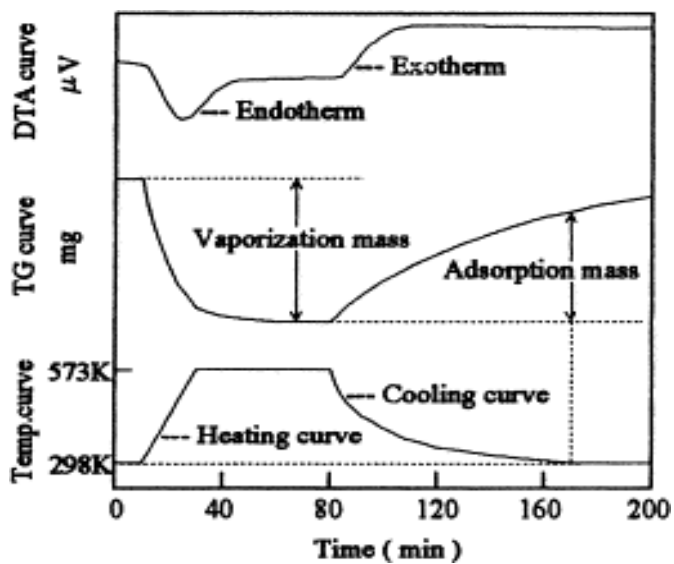
4.5.2. Ανάλυση αντικειμένων από PCM (analysis of PCM-objects)

Στην περίπτωση που έχουμε εγκατάσταση θερμικής αποθήκευσης για θέρμανση και ψύξη με εγκλεισμένο σε κέλυφος PCM (encapsulated), είναι δύσκολη η ακριβής μαθηματική ανάλυση της μεταφερόμενης θερμότητας. Για τον λόγο αυτό είναι αναγκαίο να γίνει και μακροσκοπική ανάλυση με μια μετρητική εγκατάσταση.

Βασικό τμήμα της πειραματικής διάταξης είναι ο θάλαμος όπου τοποθετείται το PCM. Στον θάλαμο αυτό εισέρχεται αέρας με γνωστή θερμοκρασία και παροχή ώστε να είναι δυνατή η διερεύνηση της μεταφοράς θερμότητας και άλλων παραγόντων που επηρεάζουν την μεταφερόμενη ισχύ, όπως η επίδραση της υπόψυξης και η επίδραση διαφόρων υλικών κελύφων. [18]



EIKONA 4.5.2.1: KAMIYIAES DTA



EIKONA 4.5.2.2: ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ TG-DTA ΠΕΙΡΑΜΑΤΟΣ

4.5.3. Η μέθοδος T-history

Μία μέθοδος μετρήσεων που χρησιμοποιείται επιτυχώς είναι η μέθοδος t-history, η οποία προτάθηκε από τους Zhang Yinping και Jiang Li. Για την εφαρμογή της μεθόδου, αναμένονται θετικά αποτελέσματα, μόνο στις περιπτώσεις όπου ο αριθμός Biot είναι μικρότερος του 0.1, περιορισμός που τίθεται εξ αιτίας της υπόθεσης μιας ομοιόμορφης θερμοκρασίας του ΥΑΦ σε έναν σωλήνα δοκιμής κατά την αποφόρτιση.

Οι σωλήνες δοκιμής γεμίζονται αντίστοιχα με το ΥΑΦ και με το υλικό αναφοράς (συνήθως χρησιμοποιείται καθαρό νερό) του οποίου οι θερμοκρασίες παραμένουν αρχικά ίδιες και μεγαλύτερες από τη χαμηλή θερμοκρασία του ΥΑΦ. Το πείραμα της μεθόδου t-history είναι πολύ απλό. Οι σωλήνες δοκιμής παραμένουν αρχικά κάθετα σε ένα λουτρό σταθερής θερμοκρασίας, και ξαφνικά εκτίθενται στην ατμόσφαιρα. Οι θερμοκρασίες στους σωλήνες δοκιμής και την ατμόσφαιρα αρχίζουν ταυτόχρονα να μετρώνται. Οι δύο καμπύλες t-history, που εμφανίζουν τη μεταβολή της θερμοκρασίας, λαμβάνονται για το ΥΑΦ και για το υλικό αναφοράς. Οι θερμοκτικές ιδιότητες όπως η θερμότητα τήξης και η ειδική θερμοχωρητικότητα, μπορούν να υπολογιστούν από τα μετρημένα πειραματικά δεδομένα και τις καμπύλες αυτές.

Εάν ο αριθμός Biot είναι μικρότερος του 0.1, τότε η θερμοκρασιακή κατανομή του δείγματος μπορεί να θεωρηθεί ομοιόμορφη, οπότε δύναται να εφαρμοστεί η μέθοδος των ομοιόμορφων ιδιοτήτων (lumped capacitance) [19],[20],[21],[22]:

$$Bi = (h * Ls) / Ks = (h * R) / 2 * Ks \quad (4.5.3.1)$$

όπου:

R είναι η ακτίνα της κυλινδρικής ράβδου

ks θερμική αγωγιμότητα του PCM

h συντελεστής φυσικής συναγωγής μεταξύ εξωτερικής επιφάνειας και αέρα

Ls το χαρακτηριστικό μήκος, $Ls = V/A$

Από τον ισολογισμό ενέργειας προκύπτει ότι το ρεύμα θερμότητας που μεταφέρεται από το στερεό σώμα όγκου *V* στο περιβάλλον από την εξωτερική του επιφάνεια *A*, ισούται με την μείωση της εσωτερικής του ενέργειας:

$$m \cdot C_p \cdot dT(t)/dt = h \cdot A \cdot (T(t) - T_{\infty})$$

$$m \cdot C_p \cdot (T_1 - T_2) = h \cdot A \cdot \int (T(t) - T_{\infty}) dt \quad (4.5.3.2)$$

Θέτοντας τις κατάλληλες αρχικές συνθήκες για το διάστημα υπολογισμού, όπου T_1 η αρχή και T_2 το πέρας, μπορούμε να θεωρήσουμε ότι ο συντελεστής συναγωγιμότητας h του PCM είναι ο ίδιος με αυτόν του νερού [19]. Οπότε λύνοντας τις εξισώσεις μπορούμε να υπολογίσουμε την ειδική θερμοχωρητικότητα του PCM.

Επίσης με την μέθοδο T-history μπορεί να προσδιοριστεί η θερμική αγωγιμότητα ενός PCM. Για την μέτρηση της θερμικής αγωγιμότητας PCM, παίρνουμε μια κυλινδρική ράβδο με λιωμένο PCM, του οποίου η θερμοκρασιακή κατανομή είναι ομοιόμορφη και ίση με T_0 , και την ψύχουμε απότομα σε ένα λουτρό κρύου νερού θερμοκρασίας $T_{\infty, w}$. Εάν ο λόγος μήκους προς την διάμετρο του κυλίνδρου είναι μεγαλύτερος του 15, μπορούμε προσεγγιστικά να θεωρήσουμε ότι η μεταφορά θερμότητας είναι μονοδιάστατη. Έτσι η θερμική αγωγιμότητα K_s υπολογίζεται από την παρακάτω σχέση:

$$K_s = \frac{(1 + (C_p \cdot (T_m - T_{\infty, w})) / H_m)}{4 \cdot (t_f \cdot (T_m - T_{\infty, w}) / (\rho_p \cdot R^2 \cdot H_m)) - 1 / (R \cdot h_w)} \quad (4.5.3.3)$$

όπου:

C_p Ειδική θερμοχωρητικότητα

T_m η θερμοκρασία τήξης

$T_{\infty, w}$ θερμοκρασία νερού

H_m η λανθάνουσα θερμότητα.

t_f ο χρόνος ολικής στερεοποίησης του PCM

ρ_p η πυκνότητα του PCM

R εξωτερική ακτίνα

h_w συντελεστής συναγωγής μεταξύ εξωτερικής επιφάνειας και νερού

Για $\Delta T < 0.1$ έχουμε την επιθυμητή ακρίβεια για μέτρηση θερμοφυσικών ιδιοτήτων. Η πειραματική διάταξη που χρησιμοποιήθηκε από τους Zhang Yinping, Jiang Yi και Jiang Yi οι οποίοι πρωτοπαρουσίασαν την μέθοδο T-history, αποτελείται από 8 γυάλινους σωλήνες διαμέτρου 10.4 mm και μήκους 180.6 mm. [19]

Το πρώτο κρίσιμο πρόβλημα στη μέθοδο t-history, είναι στην αντιμετώπιση του φαινομένου supercooling. Πρέπει αρχικά να οριστεί το σημείο απελευθέρωσης του supercooling ως το ένα άκρο της περιόδου αλλαγής φάσης. Ο βαθμός εμφάνισης του supercooling ποικίλλει και σχετίζεται με όρους όπως η ταχύτητα, η καθαρότητα και είναι απολύτως ανεξάρτητος από το τέλος της αλλαγής φάσης. Η τροποποιημένη μέθοδος t-history, χρησιμοποιεί ένα σημείο καμπής ως όριο μεταξύ των περιόδων

αλλαγής φάσης και μεταφοράς αισθητής θερμότητας, το σημείο όπου η πρώτη παράγωγος της καμπύλης t-history για το ΥΑΦ γίνεται ελάχιστη. Αυτό μπορεί να δικαιολογηθεί από το γεγονός ότι η θερμοκρασία παραμένει σταθερή, ή μειώνεται βαθμιαία κατά τη λανθάνουσα απελευθέρωση θερμότητας, ενώ μειώνεται εκθετικά στη διαδικασία ψύξης που συνοδεύει την αισθητή θερμότητα μόνο. Βέβαια, το σημείο

καμπής που χρησιμοποιήθηκε ως όριο μεταξύ των περιόδων λανθάνουσας και στερεάς κατάστασης αισθητής θερμότητας, δεν είναι πάντα εύκολο να επιλεγεί.

Άσχετα από τον βαθμό εμφάνισης του φαινομένου του supercooling, η θερμότητα τήξης που λαμβάνεται με την τροποποιημένη μέθοδο t-history συμφωνεί με αυτήν από DSC, όπως έχει διαπιστωθεί σε πολλές πειραματικές διαφορές. Στη μέθοδο αυτή είναι ιδιαίτερα σημαντικό να μετρηθεί επακριβώς η λανθάνουσα θερμότητα που απορροφά ο δοκιμαστικός σωλήνας με το ΥΑΦ.[19],[23]

Άλλα πλεονεκτήματα της μεθόδου είναι η απλότητα και το χαμηλό κόστος του εξοπλισμού, το –συγκριτικά με προηγούμενες μεθόδους- μεγάλο μέγεθος του δείγματος, η ταυτόχρονη μέτρηση πολλών δειγμάτων σε ένα πείραμα καθώς και η οπτική παρατήρηση του φαινομένου. Το μειονέκτημά της είναι ότι το σφάλμα των μετρήσεων επηρεάζεται σε σημαντικό βαθμό από την προσεκτική κατασκευή της διάταξης και τον εξοπλισμό που χρησιμοποιείται, καθώς και από τη διεξαγωγή της πειραματικής διαδικασίας.

Δύο σοβαρά προβλήματα στην ανάλυση των δεδομένων που αναφέρονται σε δημοσίευση των Hiki Hong, Sun Kuk Kim, Yong-Shik Kim είναι :

- Η υιοθέτηση του χαμηλότερου σημείου υπόψυξης, ως το τέλος της αλλαγής φάσεως. Αυτή η επιλογή είναι λανθασμένη διότι ο βαθμός υπόψυξης επηρεάζεται από την ταχύτητα ψύξης και την καθαρότητα του υλικού. Επίσης η υπόψυξη δεν έχει καμία σχέση με το τέλος της αλλαγής φάσης. Αντ' αυτού προτείνεται η χρήση ενός σημείου όπου η πρώτη παράγωγος ελαχιστοποιείται, δηλαδή έχουμε αλλαγή της κλίσης.

- Το δεύτερο πρόβλημα οφείλεται στην παράληψη της αισθητής θερμότητας στην αλλαγή φάσης. Επίσης δεν έχει αναφερθεί στην αρχική μέθοδο η επιφάνεια επαφής του κυλίνδρου με το PCM, η οποία λόγω της διαστολής αλλάζει. Γι' αυτό προτείνεται να γίνει χρήση του μέσου όρου, της επιφάνειας πριν και μετά την αλλαγή φάσης.[24]

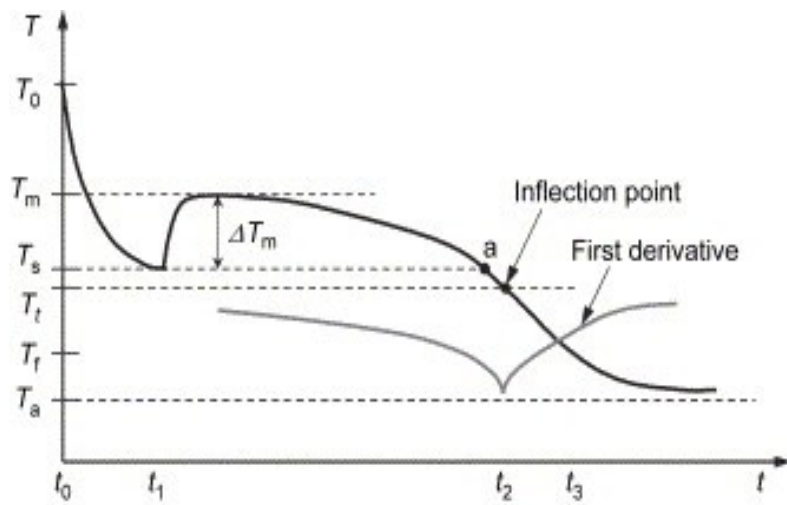
Οι εξισώσεις που προτείνονται από τους Hiki Hong , Sun Kuk Kim και Yong-Shik Kim για την αποφυγή των προβλημάτων είναι:

$$C_{p,l} = \frac{m_{t,w} * C_{p,t} + m_w * C_{p,w} * A_c * A1}{m_p} - \frac{m_{t,p}}{m_p} * C_{p,t} \quad (4.5.3.4)$$

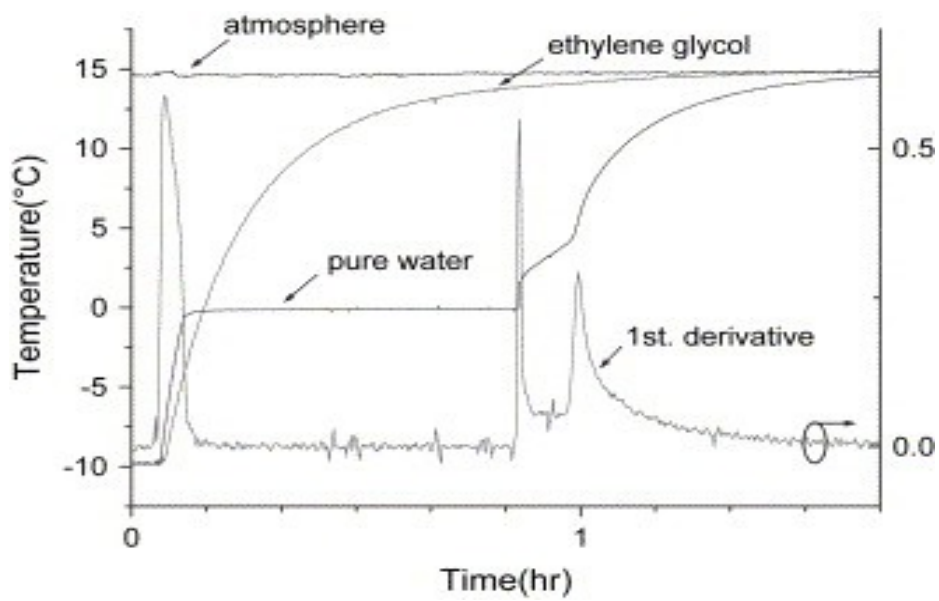
$$C_{p,s} = \frac{m_{t,w} * C_{p,t} + m_w * C_{p,w} * A_c * A3}{m_p} - \frac{m_{t,p}}{m_p} * C_{p,t} \quad (4.5.3.5)$$

$$H_m = -\frac{(m_{t,p} * C_{p,t} + C_{p,l} + C_{p,s}) * (T_m - T_i) + m_{t,w} * C_{p,t} + m_w * C_{p,w} * A_c * A2}{2} * (T_m - T_i) \quad (4.5.3.6)$$

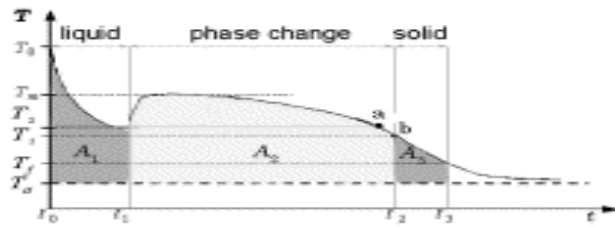
Άλλος τρόπος εφαρμογής της T-history γίνεται στο ZAE-Bayern όπου χρησιμοποιούνται μονωμένα δοχεία για την μέτρηση, ώστε η μόνωση να αποτελεί την κύρια αιτία θερμικής αντίστασης και να μπορεί να θεωρηθεί ο συντελεστής μεταφοράς θερμότητας ίσος από το περιβάλλον προς το δείγμα και από το περιβάλλον προς το δείγμα αναφοράς. Έτσι η θερμική διαπερατότητα του δείγματος μπορεί να θεωρηθεί αμελητέα πράγμα που είναι θετικό μιας και συνήθως δεν είναι γνωστή.[25]



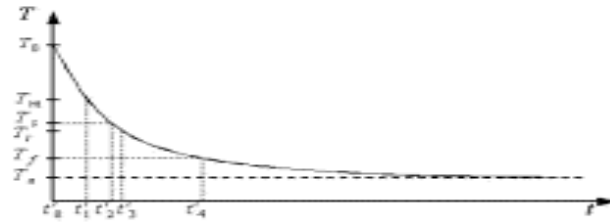
ΕΙΚΟΝΑ 4.5.3.1: ΚΑΜΠΥΛΗ T-HISTORY ΚΑΤΑ ΤΗΝ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ ΨΥΞΗΣ PCM



ΕΙΚΟΝΑ 4.5.3.2: ΚΑΜΠΥΛΗ T-HISTORY ΓΙΑ ΤΟΝ ΠΑΓΟ



(a) PCM

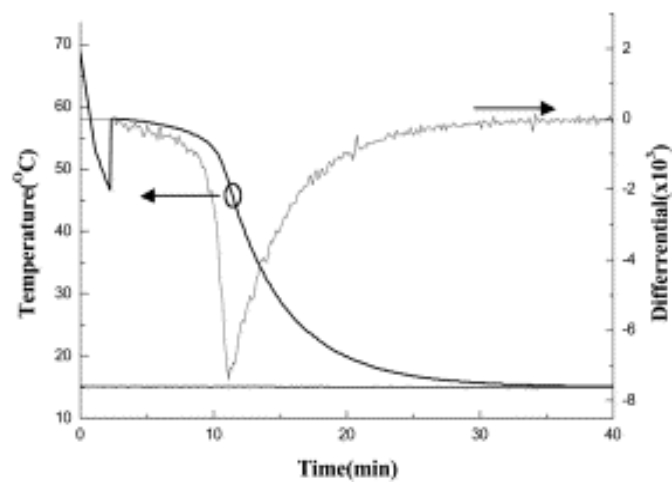


(b) Pure water

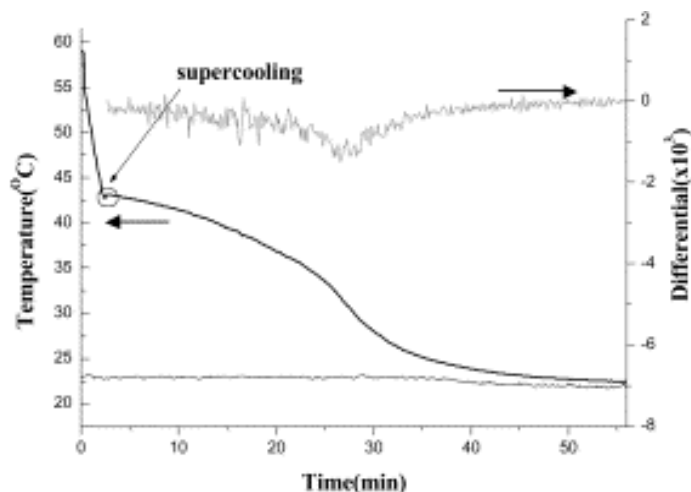


(c) First derivative

EIKONA 4.5.3.3:KAMIYAH T-HISTORY



EIKONA 4.5.3.4:KAMIYAH T-HISTORY GIA SODIUM ACETATE



EIKONA 4.5.3.5: KAMITYΛH T-HISTORY GIA LAURIC ACID

Τέλος αξίζει να αναφερθεί ότι οι DTA & DSC χρησιμοποιούν πολύ μικρά δείγματα (1-10 mg)(40~50 μl) με διαφορετικές θερμοφυσικές ιδιότητες από τις μεγάλες ποσότητες που χρησιμοποιούνται στις τεχνικές εφαρμογές. Π.χ. σε μια μικρή ποσότητα ένυδρου άλατος, ο βαθμός υπόψυξης του PCM αυξάνεται ενώ ο διαχωρισμός των φάσεων μειώνεται. Είναι πολύπλοκες και πολυδάπανες, εάν μπορούν να μετρήσουν ταυτόχρονα λανθάνουσα θερμότητα, ειδική θερμοχωρητικότητα, θερμική αγωγιμότητα πολλών δειγμάτων PCM. Επίσης είναι δύσκολη η ακριβής μέτρηση κατά την αλλαγή φάσης με τις συμβατικές μεθόδους. Οι ιδιότητες υλικών που περιέχουν διάφορα πρόσθετα, όπως πηκτικά και πυρηνοποιητές, πρέπει να μετρώνται με μεγάλη επιφύλαξη με τις μεθόδους DTA και DSC, διότι σε μία πολύ μικρή ποσότητα δείγματος οι ιδιότητες μπορεί να είναι διαφορετικές απ'ότι στις μεγάλες, λόγω της ανομοιογενούς κατανομής των ετερογενών προσθέτων. Υπάρχει πρόβλημα ακριβείας στην περίπτωση που το μετρούμενο PCM παρουσιάζει υπόψυξη (sub cooling).

Μία από τις πιο σημαντικές παραμέτρους για την επιλογή ενός PCM είναι να μην εκφυλίζεται το υλικό με την πάροδο του χρόνου και αλλάζουν οι θερμοφυσικές ιδιότητες του. Για την μελέτη της συμπεριφοράς αυτής είναι σημαντικό η μέθοδος μέτρησης να είναι όσο το δυνατόν πιο απλή και εύχρηστη, ώστε να γίνονται εύκολα μετρήσεις και να εξάγονται σε σύντομο χρονικό διάστημα τα όποια συμπεράσματα.

Επίσης η αναφορά σε λανθάνουσα θερμότητα, όπως συνήθως γίνεται στην βιβλιογραφία, είναι άστοχη αφού η πλειονότητα των PCM είναι ανισότροπα υλικά, ως προς την σύσταση και η αλλαγή φάσης γίνεται σε ένα θερμοκρασιακό εύρος. Για τον λόγο αυτό είναι αναγκαίο να είναι γνωστή η καμπύλη της ειδικής θερμοχωρητικότητας ή της ενθαλπίας σε συνάρτηση με την θερμοκρασία, ώστε να μπορούν να γίνουν ακριβείς υπολογισμοί για τις

τεχνικές εφαρμογές. Για να ληφθούν υπ' όψιν παράγοντες όπως η υπόψυξη και η υστέρηση θα πρέπει να γίνονται και οι δύο μετρήσεις και η ψύξη και η θέρμανση.

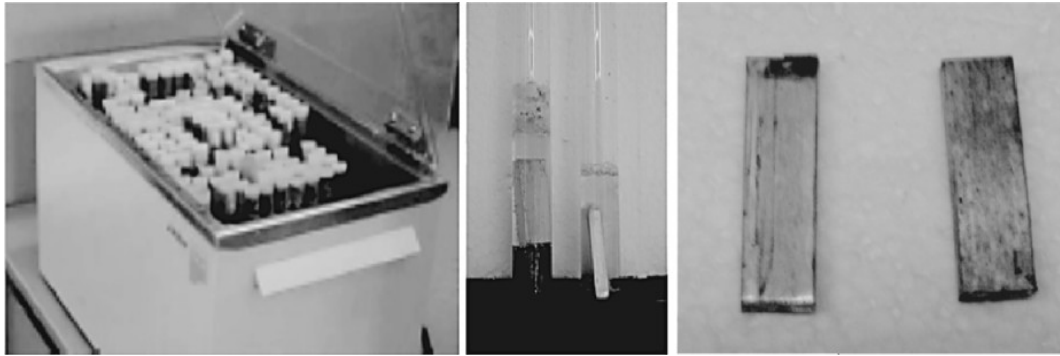
4.5.4. Μέθοδος 'double cell'

Μία ακόμα μέθοδος που έχει αναπτυχθεί [42] για την μελέτη της μακροχρόνιας συμπεριφοράς των PCM που εφαρμόζονται για αποθήκευση θερμότητας, ονομάζεται 'double cell'. Η τελευταία έχει δημιουργηθεί για μακροχρόνιες δοκιμές των PCM, είναι μία μέθοδος θερμιδικού τύπου που επιτρέπει την μέτρηση και σύγκριση της θερμικής αποθηκευτικής ικανότητας σε πολλούς κύκλους. Η στρατηγική των δοκιμών με βασίζεται στην εναλλακτική συμμετρική θέρμανση και ψύξη κάτω από ελεγχόμενες συνθήκες ενός σχετικά μεγάλου δείγματος PCM (1-2kg) που βρίσκεται τοποθετημένο στο εσωτερικό ενός πολύ καλά μονωμένου καλύμματος. Αν και δεν θεωρείται τόσο ακριβής σαν μέθοδος καθορισμού της θερμικής αποθηκευτικής ικανότητας των μικρών δειγμάτων, πιστεύεται ότι παρέχουν καλές πληροφορίες για τους ερευνητές και τους κατασκευαστές εμπορικών ή και μαγαλύτερης κλίμακας προϊόντων που επιθυμούν να εξετάσουν την συνολική συμπεριφορά της θερμικής αποθηκευτικής ικανότητας των δειγμάτων μεγάλων διατάσεων σε ένα μεγάλο αριθμό κύκλων. [101]

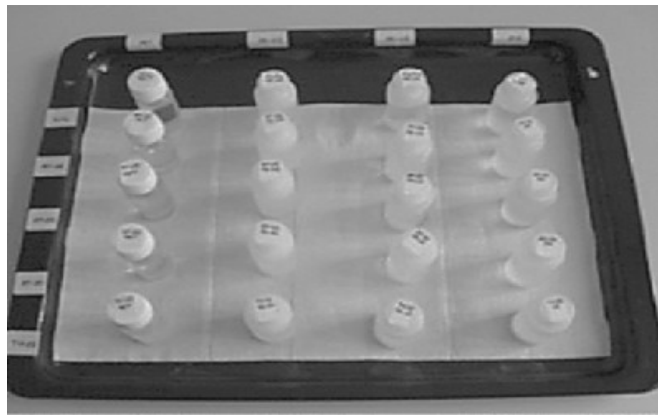
4.6. Συμβατότητα των υλικών αλλαγής φάσης με άλλα υλικά

Η συμβατότητα των P.C.M. με άλλα υλικά είναι σημαντική τόσο για τη διάρκεια ζωής του δοχείου ή της κάψουλας που φέρει το P.C.M., όσο και για μία πιθανή διαρροή του τήγματος προς τον περιβάλλοντα χώρο όπου μπορεί να προξενήσει προβλήματα. Τα πιο συνήθη προβλήματα αναφορικά με τη συμβατότητα των υλικών και τα P.C.M. είναι τα ακόλουθα :

- Διάβρωση των μετάλλων όταν έρθουν σε επαφή με ανόργανα P.C.M..
- Απώλεια σταθερότητας δομής των πλαστικών όταν έρχονται σε επαφή με οργανικά P.C.M..
- Μετακίνηση υγρών ή αερίων διαμέσου πλαστικών δοχείων, τα οποία επηρεάζουν τη δομή του περιεχόμενου ανόργανου ή οργανικού P.C.M.. [12]



ΕΙΚΟΝΑ 4.6.1: ΤΕΣΤ ΣΥΜΒΑΤΟΤΗΤΑΣ ΓΙΑ ΤΑ ΟΡΓΑΝΙΚΑ ΥΛΙΚΑ ΜΕ ΤΟ ΜΕΤΑΛΛΟ



ΕΙΚΟΝΑ 4.6.2: ΤΕΣΤ ΣΥΜΒΑΤΟΤΗΤΑΣ ΓΙΑ ΤΑ ΑΝΟΡΓΑΝΑ ΚΑΙ ΤΑ ΟΡΓΑΝΙΚΑ ΥΛΙΚΑ ΜΕ ΤΑ ΠΛΑΣΤΙΚΟ

4.7. Σταθερότητα θερμικών ιδιοτήτων των υλικών αλλαγής φάσης

Το σοβαρότερο κριτήριο για την αξιοποίηση των P.C.M. σε βιομηχανικές εφαρμογές είναι ο ωφέλιμος χρόνος ζωής των υλικών, χωρίς εκφυλισμό των ιδιοτήτων τους, ο οποίος μετριέται καλύτερα σε κύκλους φόρτισης και αποφόρτισης του υλικού παρά σε πραγματικό χρόνο. Η ανεπάρκεια σταθερότητας των υλικών οφείλεται σε δύο λόγους :

- ◆ Σε μικρής σταθερότητας χημική σύνθεση του υλικού ή των υλικών που αποτελούν το P.C.M..
- ◆ Στο φαινόμενο της διάβρωσης που πιθανόν να λάβει χώρα μεταξύ του P.C.M. και των υλικών που έρχεται σε επαφή.

Το μεγαλύτερο μέρος των ερευνών που ως αντικείμενο αναφοράς έχουν την διατήρηση των ιδιοτήτων των P.C.M. κατά την περιοδική φόρτιση και αποφόρτισή τους ή τη διαβρωτική τους ικανότητα αφορούν τα ένυδρα

άλατα. Για τις παραφίνες και τα παράγωγα υλικά τους έχει βρεθεί ότι έχουν άριστη σταθερότητα στις θερμικές τους ιδιότητες καθώς επίσης και καμία επίδραση όταν έρχονται σε επαφή με τα περισσότερα υλικά (μέταλλα αλλά και δομικά υλικά). Αντιθέτως τα ένυδρα άλατα παρουσιάζουν διαβρωτικές τάσεις όταν έρχονται σε άμεση επαφή με τα περισσότερο διαδεδομένα μέταλλα .[12]

4.8.Συστήματα αποθήκευσης με υλικά αλλαγής φάσης

Μία εγκατάσταση αποθήκευσης με υλικά αλλαγής φάσης αποτελείται από το σύστημα που περιέχει το PCM και από το μέσο μεταφοράς θερμότητας.(Ο εναλλάκτης θερμότητας απαιτείται στην περίπτωση που το ίδιο το υλικό δεν αποτελεί δομικό στοιχείο του κτιρίου που θα χρησιμοποιηθεί το σύστημα αποθήκευσης θερμότητας.)

Κάποια από τα συστήματα αποθήκευσης είναι :

- Αποθήκευση σε δεξαμενές με εναλλάκτες θερμότητας-μαζική αποθήκευση
- Τοποθέτηση σε κάψουλες μεσαίου μεγέθους (μακροκάψουλες)
- Τοποθέτηση σε μικροκάψουλες
- Τοποθέτηση σε τοιχοποιία

Η επιλογή του καταλληλότερου συστήματος εξαρτάται από την εφαρμογή, την ύπαρξη κατάλληλου PCM, τη μέθοδο και τις απαιτήσεις για μεταφορά θερμότητας, το κόστος και αρκετούς άλλους παράγοντες. Οι απαιτήσεις για ένα σύστημα το οποίο θα περιέχει το υλικό αλλαγής φάσης είναι ποικίλες και σημαντικές. Το υλικό κατασκευής πρέπει :

- Να είναι συμβατό με το PCM
- Να έχει την ικανότητα να μεταφέρει τη θερμότητα αρκετά γρήγορα για να φορτίζει και να εκφορτίζει την εγκατάσταση αποθήκευσης θερμότητας
- Να είναι σταθερό στις ακραίες θερμοκρασίες λειτουργίας
- Να αντέχει στις ‘τάσεις’ που προκύπτουν από η μεταβολή του όγκου που συνοδεύει την αλλαγή φάσης

Η πιο σημαντική ιδιότητα είναι η συμβατότητα του υλικού κατασκευής με το PCM.Ως υλικά κατασκευής για τα συστήματα που περιέχουν PCM χρησιμοποιούνται μέταλλα, πλαστικά, και λιγότερο συχνά το τσιμέντο ή το γυαλί.

Σε γενικές γραμμές τα ένυδρα άλατα είναι συμβατά με τα πλαστικά ενώ τα οργανικά υλικά με τα μέταλλα. Εκτός από τις παραπάνω ιδιότητες είναι απαραίτητο το σύστημα να αντέχει στις συνήθειες για όλα τα δοχεία τάσεις κατά την αποστολή, τη μεταφορά, το χειρισμό ή τις επιδράσεις του περιβάλλοντος. Σημαντική δυσκολία των συστημάτων που περιέχουν PCM δεν είναι ο τύπος της τάσης αλλά η διάρκειά της γιατί τα PCM πρέπει να παραμένουν στα δοχεία για όλη τη διάρκεια ζωής του συστήματος.

4.8.1.Αποθήκευση σε δεξαμενές-μαζική αποθήκευση

Η δεξαμενή με τον εναλλάκτη θερμότητας είναι η μέθοδος που επιλέγεται συνήθως όταν το μέσο μεταφοράς θερμότητας είναι υγρό. Είναι το σύστημα εκείνο όπου το PCM περιέχεται σε μία δεξαμενή της οποίας ο ρόλος είναι να συγκρατεί και να προστατεύει το PCM ενώ υπάρχει και μία επιφάνεια η οποία διαχωρίζει το μέσο μεταφοράς θερμότητας και το PCM διαμέσου της οποίας γίνεται η συναλλαγή θερμότητας.

Το χαρακτηριστικό εκείνο που αποτελεί τι κλειδί για τις δεξαμενές αυτές είναι η ανάγκη για πιο μεγάλη επιφάνεια συναλλαγής ή για βελτίωση των ιδιοτήτων μεταφοράς θερμότητας γιατί:

- ◆ κατά τη διεργασία τήξης-πήξης η επιφάνεια εναλλαγής θερμότητας τείνει να καλυφθεί με ένα στρώμα στερεοποιημένου PCM του οποίου το πάχος μεγαλώνει καθώς ο βρασμός εκφόρτισης αυξάνει. Το στερεό αυτό στρώμα ολοένα μειώνει το ρυθμό μεταφοράς θερμότητας.
- ◆ ενώ τα PCM λόγω της μεγαλύτερης θερμοχωρητικότητάς τους απαιτούν μικρότερο όγκο συστήματος για την αποθήκευση ενός συγκεκριμένου ποσού θερμότητας, ο ρυθμός μεταφοράς θερμότητας, ο οποίος είναι ο ίδιος με τα άλλα συστήματα αποθήκευσης θερμότητας, επιβάλλει την ύπαρξη μίας μεγάλης επιφάνειας εναλλαγής.

Για την φόρτιση και την εκφόρτιση ενός τέτοιου συστήματος απαιτείται ένας κατάλληλος εναλλάκτης θερμότητας με μεγάλη επιφάνεια συναλλαγής. Ακόμη, ο εναλλάκτης θα πρέπει να ικανοποιεί τα εξής:

- ◆ Να εξασφαλίζει έναν υψηλό ρυθμό μεταφοράς θερμότητας έτσι ώστε να είναι δυνατή η ραγδαία φόρτιση και εκφόρτιση του συστήματος. Αυτό λόγω της μικρής αγωγιμότητας των PCM μπορεί να επιτευχθεί με την ενσωμάτωση μεταλλικών ελασμάτων, με φυσική ή εξαναγκασμένη κυκλοφορία του PCM ή ακόμη και με την προσθήκη πτερυγίων στους σωλήνες του εναλλάκτη.
- ◆ Να επιτρέπει μόνο μικρές αλλαγές θερμοκρασίας για τη φόρτιση και την εκφόρτιση
- ◆ Να εξασφαλίζει υψηλή θερμική διαχυτότητα

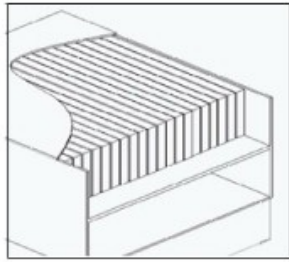
Οι εναλλάκτες θερμότητας για τα συστήματα αποθήκευσης λανθάνουσας θερμότητας διακρίνονται σε δύο τύπους:

- ◆ Παθητικοί εναλλάκτες οι οποίοι δεν διαθέτουν κινούμενα μέρη. Περιλαμβάνουν σωλήνες μικρής διαμέτρου (30-50mm) ή επίπεδους δίσκους μέσα στους οποίους βρίσκεται το PCM. Οι σωλήνες ενδέχεται να είναι εξοπλισμένοι και με μικρά πτερύγια για αύξηση της επιφάνειας συναλλαγής θερμικής ενέργειας.
- ◆ Ενεργητικοί εναλλάκτες στους οποίους υπάρχουν συστήματα για την ανάδευση του PCM βελτιώνοντας έτσι τη μεταφορά θερμότητας αλλά και παρεμποδίζοντας τον πιθανό διαχωρισμό φάσεων. Στα ενεργητικά συστήματα συμπεριλαμβάνονται και οι εναλλάκτες με απευθείας επαφή οι οποίοι παρουσιάζουν το πλεονέκτημα της μεγάλης επιφάνειας συναλλαγής και της απουσίας εναπόθεσης στερεοποιημένου PCM κατά την εκφόρτιση στις επιφάνειες του εναλλάκτη.

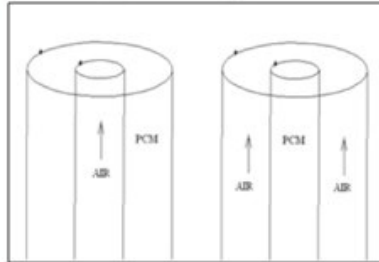
Οι δυνατές εφαρμογές των δεξαμενών με PCM είναι (αντικαθιστώντας τις δεξαμενές νερού) :

- ◆ σε εγκαταστάσεις αντλιών θερμότητας με κλειστή κυκλοφορία νερού για θέρμανση και ψύξη κτιρίων
- ◆ για άλλες οικιακές χρήσεις, όπως το μαγείρεμα
- ◆ σε βιομηχανικά συστήματα ανάκτησης θερμότητας
- ◆ σε συστήματα αποθήκευσης ηλεκτρικής ενέργειας σε εκτός αιχμής περιόδους
- ◆ σε μονάδες λήψης ηλιακής ακτινοβολίας για διαστημικές εφαρμογές

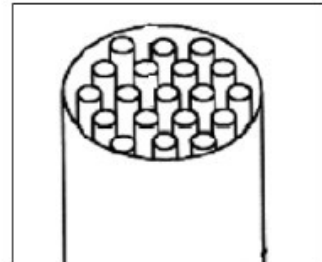
Για τη θέρμανση και την ψύξη των κτιρίων που το μέσο μεταφοράς είναι ο αέρας είναι καλύτερο τα PCM να περιέχονται σε μακρο-ή μικροκάψουλες



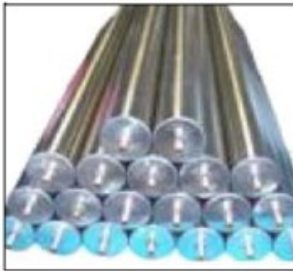
(i) Flat plate encapsulate



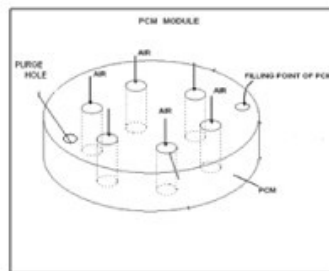
(ii) HTF in tube and PCM in tube



(iii) PCM in tube container



(iv) PCM tube encapsulation



(v) PCM in Shell and HTF in tube arrangement



(vi) Fixed bed arrangement with PCM balls



(vii) Metal ball encapsulate



(viii) PCM in PVC panel



(ix) PCM in aluminium panels



(x) PCM in aluminium pouches



(xi) PCM graphite compound



(xii) PCM granules

ΕΙΚΟΝΑ 4.8.1.1 : ΔΙΑΦΟΡΑ ΕΙΔΗ ΕΝΣΩΜΑΤΩΣΗΣ ΤΩΝ ΥΛΙΚΩΝ ΑΛΛΑΓΗΣ ΦΑΣΗΣ

4.8.2. Τοποθέτηση σε μακροκάψουλες

Κατά την τοποθέτηση των υλικών αλλαγής φάσης σε μακροκάψουλες το δοχείο που τις περιέχει λειτουργεί και ως επιφάνεια συναλλαγής θερμότητας. Ο όγκος του PCM ανά μονάδα μπορεί να ποικίλλει από μερικά γραμμάρια έως μερικά κιλά. Το σχήμα τους ποικίλλει από ορθογώνια πλαίσια έως ελαστικούς σάκους με συγκεκριμένο σχήμα.

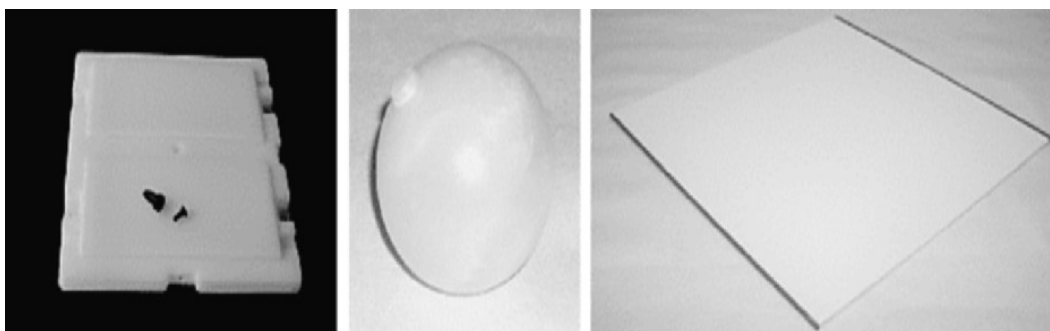
Τα συστήματα αυτά επιλέγονται συνήθως όταν έχουμε μεταφορά θερμότητας με εξαναγκασμένη κυκλοφορία αέρα, όταν έχουμε εφαρμογές με PCMs χαμηλότερης θερμοκρασίας τήξης όπου απαιτούνται και μικρότεροι όγκοι ή όταν ο όγκος του συστήματος δεν είναι κρίσιμος.

Μια ποικιλία δοχείων μπορούν να χρησιμοποιηθούν όπως :φιάλες, πλαστικοί σωλήνες, δοχεία, ελαστικές πλαστικές μεμβράνες. Η θερμική διαχυτότητα του υλικού της κάψουλας δεν πρέπει να είναι πολύ μικρότερη από αυτή του PCM. Οι περισσότερες μακροκάψουλες είναι από πλαστικό(χαμηλές θερμοκρασίες), υπάρχουν όμως και ορισμένες που χρησιμοποιούν μέταλλα και μεμβράνες (υψηλές θερμοκρασίες).

Το σύστημα με μακροκάψουλες πρέπει να σχεδιασθεί έτσι ώστε να έχει μεγάλη διάρκεια ζωής και να ταιριάζει απόλυτα με τη συγκεκριμένη εφαρμογή. Για να εξασφαλισθεί ικανοποιητική μεταφορά θερμότητας τα PCMs σε μακροκάψουλες έχουν μεγάλη αναλογία επιφάνειας /όγκο. Λόγω του μικρού συντελεστή μεταφοράς θερμότητας του αέρα, η διεπιφάνεια δοχείου –αέρα θα περιορίζει τη μεταφορά θερμότητας. Η ανάπτυξη στερεού στρώματος στην εσωτερική επιφάνεια μεταφοράς μπορεί να μειώσει σημαντικά το συνολικό συντελεστή μεταφοράς θερμότητας. Ταυτόχρονα η υψηλή ενεργειακή πυκνότητα των PCM μειώνει σημαντικά τον όγκο σε σύγκριση με το νερό ή τα πετρώματα, όμως η απαίτηση για μεταφορά θερμότητας παραμένει η ίδια. Για αυτό στα συστήματα αυτά απαιτείται μεγαλύτερος λόγος επιφάνειας-όγκου.

Επομένως η μέθοδος παρουσιάζει τα ακόλουθα προτερήματα [12]:

- Βελτιώνει τη συμβατότητα του υλικού με το περιβάλλον, καθώς λειτουργεί σαν φράγμα μεταξύ του P.C.M. και του χώρου που αυτό ευρίσκεται.
- Βελτιώνει τη διακίνηση του P.C.M. κατά την παραγωγή του.
- Μειώνει ουσιαστικά τις μεταβολές του όγκου, που συνήθως αποτελούν ένα πλεονέκτημα για τις περισσότερες εφαρμογές, ιδίως σε αυτές που οι χωροταξικές προδιαγραφές είναι σε στενά πλαίσια.



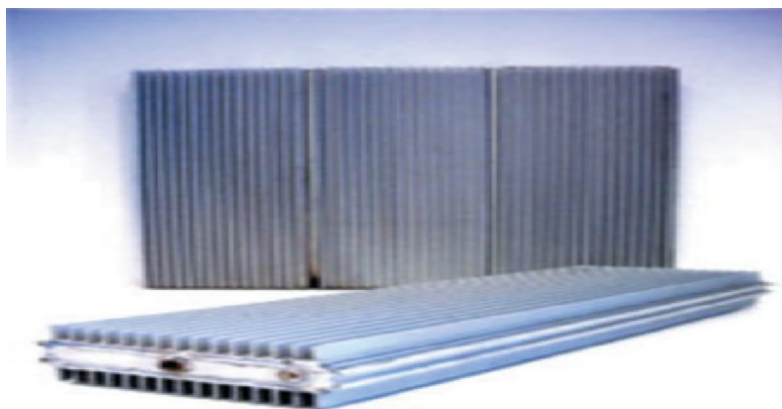
ΕΙΚΟΝΑ 4.8.2.1: ΜΑΚΡΟΚΑΨΟΥΛΕΣ



ΕΙΚΟΝΑ 4.8.2.2: ΜΑΚΡΟΚΑΨΟΥΛΕΣ



ΕΙΚΟΝΑ 4.8.2.3: ΜΑΚΡΟΚΑΨΟΥΛΕΣ

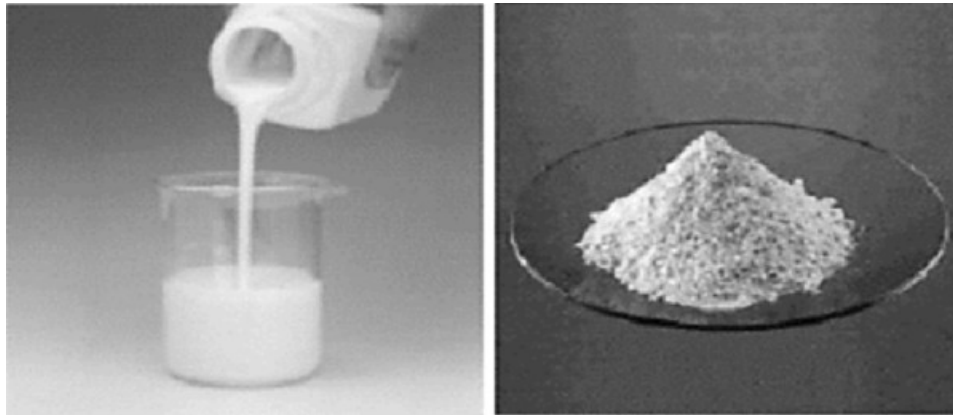


ΕΙΚΟΝΑ 4.8.2.4: ΜΑΚΡΟΚΑΨΟΥΛΕΣ

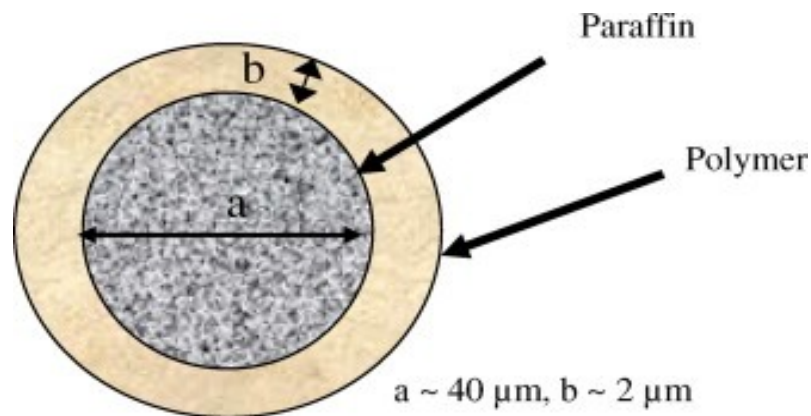
4.8.3. Τοποθέτηση σε μικροκάψουλες

Με τις μικροκάψουλες έχουμε πολύ μικρές διακριτές μονάδες με PCM διεσπαρμένες και συνδεδεμένες μεταξύ τους με μία συνεχή φάση. Η συνεχής αυτή μήτρα πολλές φορές παρέχει όλα όσα απαιτούνται από ένα δοχείο, όπως προστασία από την υγρασία.

Λόγω του μικρού όγκου που έχει η κάθε μονάδα του PCM, ιδιαίτερη προσοχή πρέπει να δοθεί στη υπόψυξη, κατά συνέπεια και στο υλικό που θα επιλεγεί. Ένα άλλο μειονέκτημα των PCM σε μικροκάψουλες είναι η μεγάλη αναλογία του υλικού κατασκευής ως προς το PCM. Αυτό μειώνει την ενεργειακή πυκνότητα και αυξάνει το κόστος. Η μεταφορά θερμότητας μπορεί να παρουσιάσει επίσης προβλήματα καθώς η μήτρα που περιέχει τις μικροκάψουλες σταματά τη μεταφορά με συναγωγή κατά τη φόρτιση, μειώνοντας έτσι σημαντικά το ρυθμό φόρτισης. Το φαινόμενο αυτό είναι περισσότερο έντονο για τις οργανικές μήτρες. Τα μειονεκτήματα που παρουσιάζουν τα συστήματα αυτά αντισταθμίζονται από την ικανότητά τους να αντικαθιστούν εύκολα συμβατικά υλικά, όπως είναι τα οικοδομικά υλικά αυξάνοντας το ποσό της ενέργειας που μπορεί να αποθηκεύσουν και παρέχοντας δυνατότητα διαχείρισης του φορτίου.



ΕΙΚΟΝΑ 4.8.3.1: ΜΙΚΡΟΚΑΨΟΥΛΕΣ



ΕΙΚΟΝΑ 4.8.3.2: ΜΙΚΡΟΚΑΨΟΥΛΑ- PCM ΠΑΡΑΦΙΝΗ .

Η μέθοδος αυτή έχει τα εξής προτερήματα :

- Βελτιώνει τη μετάδοση θερμότητας στον περιβάλλοντα χώρο λόγω του μεγάλου ποσοστού της επιφάνειας συναλλαγής.
- Βελτιώνει ουσιαστικά την σταθερότητα της κυκλικής φόρτισης καθώς ο διαχωρισμός των φάσεων είναι ιδιαίτερα περιορισμένος λόγω των μικροσκοπικών διαστάσεων της κάψουλας που εμπεριέχει το P.C.M.. [12]



ΕΙΚΟΝΑ 4.8.3.3: ΜΙΚΡΟΚΑΨΟΥΛΕΣ

4.8.4. Άμεση ενσωμάτωση

Αυτή πρέπει να είναι η πιο οικονομική μέθοδος ενσωμάτωσης που υπάρχει μιάς και χρησιμοποιείται πολύ λίγος επιπλέον εξοπλισμός. Υγρό PCM ή PCM σε πούδρα προστίθενται και ανακατεύονται με τα κατασκευαστικά υλικά, όπως είναι ο γύψος και το τσιμέντο, κατά την παραγωγή.[97] Ένα παράδειγμα της μεθόδου αυτής είναι μία πειραματική γυψοσανίδα κατασκευασμένη με άμεση ενσωμάτωση 21-22% εμπορικού grade butyl stearate (BS) κατά το στάδιο ανάμιξης στην παραγωγή παραδισιακού γύψου .

4.8.5. Εμβάπτιση

Σε αυτή την μέθοδο, το πορώδες κατασκευαστικό υλικό, δηλαδή η γυψοσανίδα, το τούβλο ή το μπλόκ τσιμέντου, βυθίζεται σε ζεστό και λιωμένο PCM, το οποίο απορροφάται από τους πόρους μέσω της τριχοειδούς δράσης.[59] Στη συνέχεια, το πορώδες υλικό απομακρύνεται από το υγρό PCM, αφήνεται να κρυώσει και το PCM παραμένει στους πόρους του κατασκευαστικού υλικού. Το μεγάλο πλεονέκτημα αυτής της μεθόδου είναι ότι καθιστά εύκολη την μετατροπή ενός απλού πάνελ, σε πάνελ με PCM , όπως ζητείται, εφόσον η εμβάπτιση μπορεί να πραγματοποιηθεί πρακτικά οποιαδήποτε ώρα και σε οποιοδήποτε σημείο. Οι Hawes και Feldman, εξέτασαν τους μηχανισμούς απορρόφησης και καθιέρωσαν ένα μέσο ανάπτυξης και χρησιμοποιώντας σταθεροποιητές απορρόφησης του PCM στο τσιμέντο πέτυχαν την διάχυση της επιθυμητής ποσότητας PCM.

4.8.6.Σανίδα με ελάσματα PCM

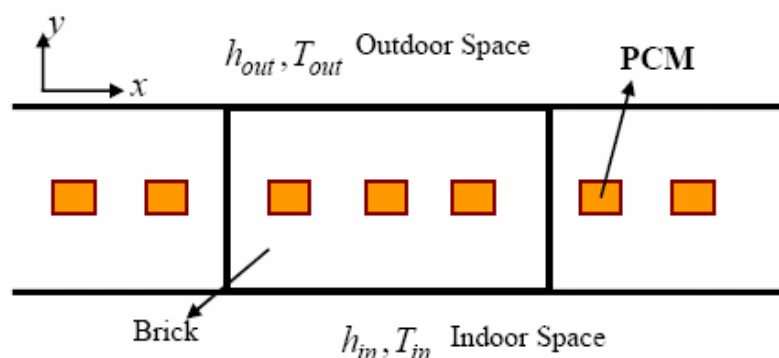
Το PCM μπορεί επίσης να παραχθεί σε έλασμα, σε μία μοναδική στρώση και να χρησιμοποιηθεί ως στοιχείο του "φακέλου" του κτιρίου. Οι Darkwa Kim [98], πραγματοποίησαν πειραματικές και αριθμητικές μελέτες πάνω στην συμπεριφορά βιομηχανικών δειγμάτων με ελάσματα και με πάνελ που περιείχαν αναμεμιγμένο με τυχαίο τρόπο PCM και κατέληξαν στα ακόλουθα:

- Το σύστημα με τα ελάσματα πέτυχε μείωση 17% στον χρόνο που απαιτείται για την αποβολή της θερμότητας.
- Παρατηρήθηκε αύξηση 20-50% στη ροή θερμότητας από το σύστημα με τα ελάσματα.
- Μία αύξηση 7-18% παρατηρήθηκε και στο ρυθμό μεταφοράς θερμότητας και πάλι από το σύστημα με τα ελάσματα.

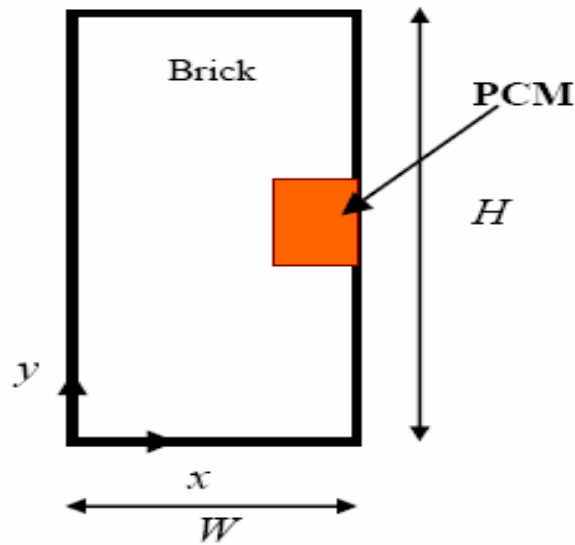
Συνολικά, τα αποτελέσματα έδειξαν ότι το πάνελ με τα ελάσματα PCM παρουσιάζει καλύτερη θερμική συμπεριφορά.

4.8.7.Ενσωμάτωση σε τούβλο –πειράματα στην Τεχεράνη

Μιά άλλη ιδέα θα ήταν η ενσωμάτωση υλικού αλλαγής φάσης μέσα σε τούβλα. Σε σχετικά πειράματα που πραγματοποιήθηκαν στην Τεχεράνη προέκυψε ύστερα από σύγκριση του κλασσικού τούβλου με ένα που περιέχει ενσωματωμένο PCM, ότι η μέγιστη εισροή θερμότητας μπορεί να περιοριστεί σε ένα ποσοστό 32,8% , ανάλογα πάντα και με την ποιότητα του PCM. [99]Ένας ακόμη παράγοντας που επιδρά στην θερμική αποδοτικότητα του τούβλου με ενσωματωμένο PCM είναι η θέση που τοποθετείται το τελευταίο. Από την έρευνα προέκυψε ότι το PCM παρουσιάζει μεγαλύτερη αποδοτικότητα όταν είναι τοποθετημένο στην εξωτερική πλευρά του τοίχου.



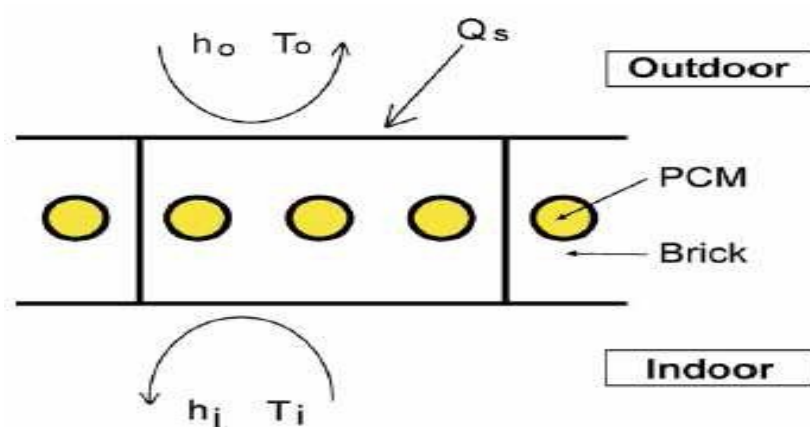
ΕΙΚΟΝΑ 4.8.7.1:ΣΧΗΜΑΤΙΚΗ ΑΝΑΠΑΡΑΣΤΑΣΗ ΤΟΥΒΛΟΥ ΜΕ PCM



ΕΙΚΟΝΑ 4.8.7.2: ΘΕΣΗ ΤΟΥ PCM ΜΕΣΑ ΣΤΟ ΤΟΥΒΛΟ

4.8.8. Ενσωμάτωση PCM σε τούβλο σε κυλινδρικές τρύπες-πειράματα στο Κουβέιτ

Υπάρχουν όμως και άλλα πειράματα που πραγματοποιήθηκαν στο Κουβέιτ, τα οποία αφορούν την θερμική ανάλυση των τούβλων που χρησιμοποιούνται σε οικοδομές και περιέχουν υλικό αλλαγής φάσης, σε κυλινδρικές τρύπες στο εσωτερικό τους. [100]

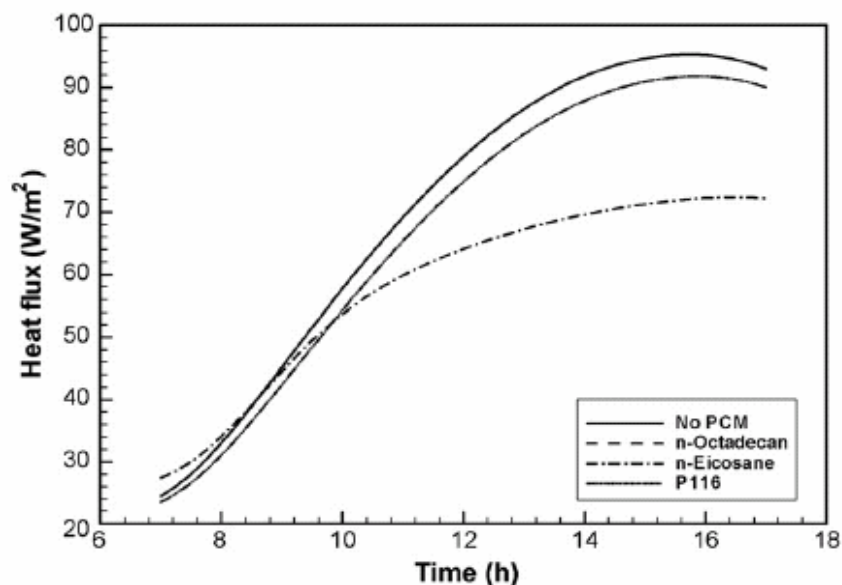


ΕΙΚΟΝΑ 4.8.8.1: ΣΧΗΜΑΤΙΚΗ ΑΝΑΠΑΡΑΣΤΑΣΗ ΤΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΤΟΥΒΛΟΥ-PCM

Οι τοίχοι που μελετήθηκαν αποτελούνταν από οριζόντια τούβλα διαστάσεων 0.25 m X 0.15 m X 0.15 m, με κυλινδρικές τρύπες στο εσωτερικό τους διαμέτρου 0.03 m. Τέσσερις διαφορετικές υποθέσεις είναι αυτές που εξετάζονται, τούβλα με ένα, δύο και τρεις κυλίνδρους με PCM καθώς και τούβλα χωρίς PCM. Η εξωτερική επιφάνεια των τοίχων υπόκειται σε ηλιακή ακτινοβολία για καθορισμένο χρονικό διάστημα και σε επιβαλλόμενες οριακές συνθήκες συναγωγής, ενώ η εσωτερική επιφάνεια υπόκειται σε ανέξαρτητες από τον χρόνο οριακές συνθήκες συναγωγής. Ακόμα, τρεις διαφορετικοί τύποι παραφινών εξετάζονται ως υποψήφια PCM: n-octadecane, n-eicosane και P-116, των οποίων η θερμοκρασία τήξης κυμαίνεται μέσα στα όρια λειτουργίας του συστήματος του τοίχου με τούβλα-PCM.

4.8.9. Τύπος PCM

Σε ότι αφορά στα αποτελέσματα για τον καλύτερο τύπο PCM, το οποίο αναφέρεται ότι τοποθετήθηκε στο κέντρο του τούβλου, παρατηρήθηκε από τις θερμοκρασιακές διακυμάνσεις στο τοίχο με τούβλα χωρίς PCM, ότι η θερμοκρασία των τούβλων κυμαινόταν ανάμεσα στους 25.7 και στους 55.6, σύμφωνα και με το σχήμα που δίδεται. Από την άλλη, η θερμοκρασία τήξης του n-octadecane είναι πολύ κοντά στο κατώτατο όριο της θερμοκρασίας λειτουργίας του συστήματος, η αντίστοιχη θερμοκρασία του P-116 πλησιάζει το ανώτατο όριο, ενώ του n-eicosane είναι περίπου στο μέσο του θερμοκρασιακού ορίου.

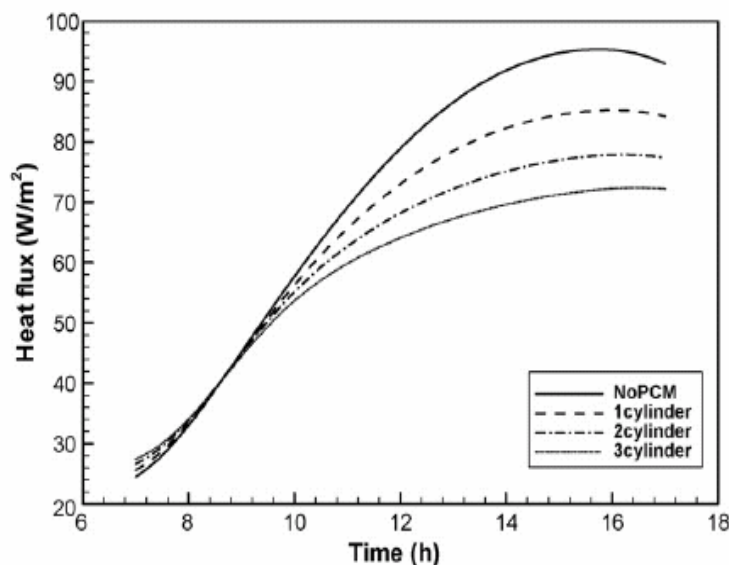


ΕΙΚΟΝΑ 4.8.9.1: ΡΟΗ ΘΕΡΜΟΤΗΤΑΣ ΣΤΗΝ ΕΣΩΤΕΡΙΚΗ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑ ΤΟΥ ΤΟΙΧΟΥ ΓΙΑ ΤΟΥΣ ΔΙΑΦΟΡΟΥΣ ΤΥΠΟΥΣ PCM

Το διάγραμμα δείχνει ότι τα P-116 και n-octadecane είναι αναποτελεσματικά στην μείωση της ροής θερμότητας στο εσωτερικό του χώρου γιατί, η υψηλή θερμοκρασία τήξης του πρώτου το αναγκάζει να βρίσκεται στην στερεή μορφή του όλη την ώρα ενώ η χαμηλή θερμοκρασία τήξης του δεύτερου το αναγκάζει να βρίσκεται στην υγρή του φάση όλη την ώρα. Έτσι, το τούβλο αδυνατεί να εκμεταλλευτεί την υψηλή τιμή της λανθάνουσας θερμότητάς τους για να μειώσει την ροή θερμότητας στον εσωτερικό χώρο. Από την άλλη πλευρά, με την χρήση της n-octadecane ο ρυθμός αλλαγής της ροής θερμότητας μειώνεται ουσιαστικά από από τις 10 το πρωί ως τις 5 το απόγευμα, με το μέγιστο ποσοστό της μείωσης αυτής να φτάνει το 24,2%. Επιπλέον, αναφέρεται ότι η διαφορά ανάμεσα στα διάφορα είδη PCM είναι αμελητέα κατά τη χρονική περίοδο 7-10 το πρωί, καθώς η θερμοκρασία των τούβλων παραμένει κάτω από την θερμοκρασία τήξης του PCM.

4.8.10. Ποσότητα PCM

Όπως είναι αναμεινόμενο, η επιθυμητή ποσότητα PCM είναι η μικρότερη δυνατή, όχι μόνο από οικονομικής άποψης αλλά και για να διατηρηθούν, κατά το δυνατόν, αμετάβλητες οι ιδιότητες του τούβλου. Εξετάζονται και πάλι οι περιπτώσεις τούβλων με ένα, δύο και τρεις κυλίνδρους, οι οποίοι τοποθετούνται στην κεντρική γραμμή του τούβλου καθώς και η περίπτωση του τούβλου χωρίς PCM.



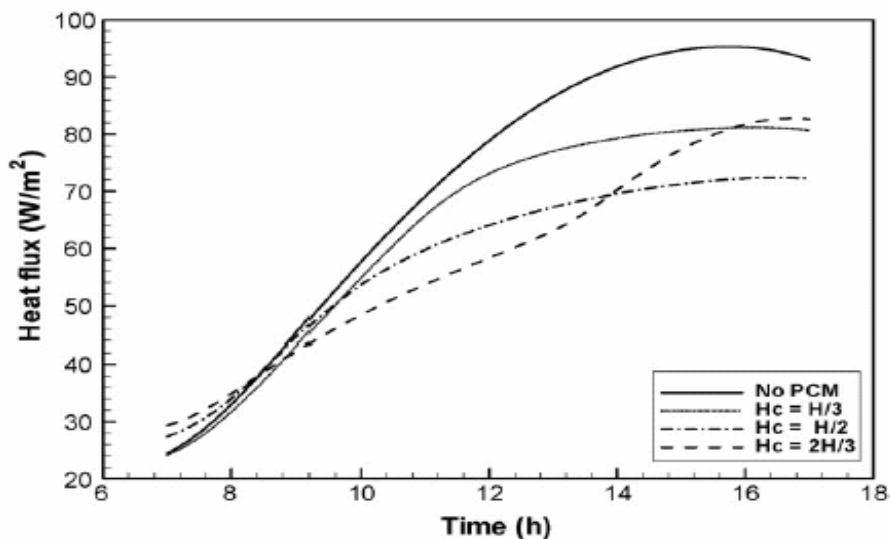
ΕΙΚΟΝΑ 4.8.10.1 : ΡΟΗ ΘΕΡΜΟΤΗΤΑΣ ΣΤΗΝ ΕΣΩΤΕΡΙΚΗ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑ ΤΟΥ ΤΟΙΧΟΥ ΓΙΑ ΤΟΝ ΔΙΑΦΟΡΕΤΙΚΟ ΑΡΙΘΜΟ ΚΥΛΙΝΔΡΩΝ

Το παραπάνω διάγραμμα, το οποίο παρουσιάζει την ροή θερμότητας για τις 4 παραπάνω περιπτώσεις, δείχνει ότι με χρήση ενός κυλίνδρου η ροή θερμότητας μειώνεται κατά περίπου 11.5%, μς δυο κατά 17,9% ενώ με τρείς κατά 24.2%.

4.8.11. Η θέση που τοποθετείται το PCM στο τούβλο

Το PCM μετακινείται από την κεντρική γραμμή του τούβλου, για τις ανάγκες του πειράματος, σε θέσεις κοντά στο εσωτερικό και στο εξωτερικό της επιφάνειας του τοίχου, σε απόσταση $1/3$ και $2/3$. Η εσωτερική και η εξωτερική επιφάνεια δεν προτιμώνται για την τοποθέτηση των κυλίνδρων που θα περιέχουν το PCM καθώς, αυτό θα μπορούσε να επηρεάσει τις μηχανικές ιδιότητες του τούβλου .

Από το παρακατω διάγραμμα βλέπουμε ότι η θερμική απόδοση της περίπτωσης με την κεντρική γραμμή είναι καλύτερη συγκριτικά με αυτή που πλησιάζει την εσωτερική επιφάνεια. Αντίθετα, η περίπτωση που πλησιάζει την εξωτερική επιφάνεια παρουσιάζει αρχικά καλύτερη απόδοση από την περίπτωση της κεντρικής γραμμής ως τις 2 το μεσημέρι. Μετά από αυτή την ώρα, η ροή θερμότητας αυξάνεται πολύ γρήγορα. Όταν βρίσκεται κοντά στην εξωτερική επιφάνεια, το PCM υπόκειται σε μεγαλύτερη ροή θερμότητας από το εξωτερικό περιβάλλον συγκριτικά με τις άλλες περιπτώσεις, οδηγώντας έτσι σε ένα πολύ γρήγορο ρυθμό τήξης. Η απότομη αλλαγή στην ροή θερμότητας στις 2 το μεσημέρι σημαίνει ότι το PCM έχει λιώσει τελείως. Εντέλει, η συνολική μείωση της ροής θερμότητας για την περίπτωση κοντά στην εξωτερική και στην εσωτερική επιφάνεια αντίστοιχα είναι 17.49% και 10.16%, ενώ για την περίπτωση της κεντρικής γραμμής είναι 17.55%. Όμως, η τοποθέτηση του PCM κατά μήκος της κεντρικής γραμμής έχει την καλύτερη απόδοση τόσο από πλευράς αποτελεσματικότητας όσο και από την πλευρά της διατήρησης των μηχανικών ιδιοτήτων των τούβλων.



ΕΙΚΟΝΑ 4.8.11.1 :ΡΟΗ ΘΕΡΜΟΤΗΤΑΣ ΣΤΗΝ ΕΣΩΤΕΡΙΚΗ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑ ΤΟΥ ΤΟΙΧΟΥ ΓΙΑ ΤΙΣ ΔΙΑΦΟΡΕΤΙΚΕΣ ΘΕΣΕΙΣ ΤΩΝ ΚΥΛΙΝΔΡΩΝ ΜΕ PCM

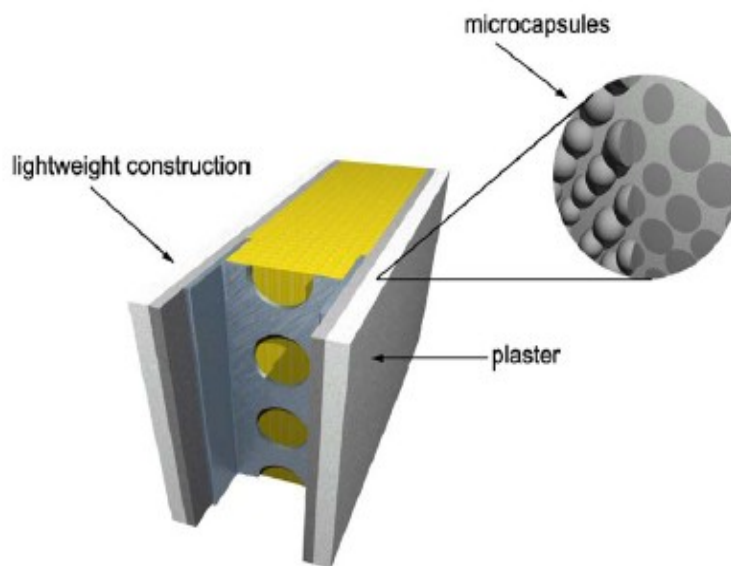
4.8.12.Τοποθέτηση σε τοιχοποιία

Το θερμικό κέλυφος των κτιρίων μέσω της θερμοχωρητικότητάς του μειώνει το εύρος των θερμοκρασιακών μεταβολών μέσα στο εσωτερικό των κτιρίων. Οι μεταβολές αυτές προκαλούνται είτε από τις αλλαγές της θερμοκρασίας στο εξωτερικό περιβάλλον, είτε από την ασυνεχή λειτουργία των συστημάτων ψύξης-θέρμανσης. Κτίρια με μεγάλες εξωτερικές επιφάνειες από γυαλί, όπως σύγχρονα κτίρια γραφείων ή κτίρια με παθητικά συστήματα θέρμανσης, συχνά παρουσιάζουν προβλήματα θερμικής άνεσης κατά τη διάρκεια της χειμερινής περιόδου, όταν η ηλιακή ακτινοβολία χρησιμοποιείται για την κάλυψη των αναγκών σε θέρμανση αλλά και για φυσικό φωτισμό.

Επίσης, το πρόβλημα της υπερθέρμανσης εμφανίζεται σε τέτοιου είδους κτίρια αλλά και σε κτίρια ελαφριάς κατασκευής, κατά την άνοιξη και το καλοκαίρι, όπου τα ηλιακά θερμικά κέρδη είναι πολύ μεγαλύτερα από τις ανάγκες σε θέρμανση και η τοιχοποιία αρκετά ελαφριά για να απορροφήσει αυτήν την πλεονάζουσα ηλιακή θερμική ενέργεια. Επομένως, η χρήση των PCM σε δομικά ή σαν δομικά στοιχεία αυτών των κτιρίων, καθίσταται αναπόφευκτη, αφού οδηγεί στην αύξηση της ικανότητας αποθήκευσης της θερμικής ενέργειας από το κτιριακό κέλυφος, χωρίς τις μεγάλες μεταβολές θερμοκρασίας και της μεγάλης δομικής μάζας που απαιτεί η θερμική αποθήκευση μέσω της αισθητής θερμότητας.

Τα PCM μπορούν να τοποθετηθούν :

- ◆ με τη μορφή ενός συμπαγούς στρώματος, είτε ενιαίου, είτε με τη μορφή μιας μήτρας από μικροκάψουλες, πάνω σε μια υπάρχουσα τοιχοποιία του κτιρίου
- ◆ σε γύψινα πλαίσια, που έχουν εμποτιστεί με κάποιο PCM(σε αναλογία κατά μάζα περίπου 25%) και αυτά θα επικαλύψουν την τοιχοποιία
- ◆ σε πλαίσια από γύψο, τα οποία περιλαμβάνουν στο εσωτερικό τους σωλήνες που περιέχουν το PCM
- ◆ σε γυάλινα πλαίσια, διαμπερή και από τις δύο πλευρές, για την αντικατάσταση παραθύρων από γυαλί, οπότε χρησιμοποιούνται και για να παρέχουν φωτισμό
- ◆ με τη μορφή στρώματος, για την αντικατάσταση του θερμομπετόν σε συστήματα ενδοδαπέδιας θέρμανσης.
- ◆ με τη μορφή στρώματος μόνωσης, ανάμεσα σε δύο επιφάνειες εξωτερικού και εσωτερικού τοίχου



ΕΙΚΟΝΑ 4.8.12.1: ΑΠΕΙΚΟΝΙΣΗ ΤΗΣ ΜΟΡΦΗΣ ΤΟΥ PCM ΣΑΝ ΣΤΡΩΜΑ, ΣΕ ΤΟΙΧΟΠΟΙΙΑ

4.9.Εφαρμογές των υλικών αλλαγής φάσης

Οι εφαρμογές των συστημάτων αποθήκευσης ενέργειας σε λανθάνουσα μορφή είναι αρκετά εκτεταμένες εφόσον η αποθήκευση θερμότητας είναι ένα πολύ σημαντικό μέσο εξοικονόμησης ενέργειας, βελτιώνοντας την αξιοποίηση της ήδη υπάρχουσας ενέργειας. Παρακάτω θα δούμε τις σημαντικότερες εφαρμογές που χρησιμοποιούν συστήματα αποθήκευσης ενέργειας, εκμεταλλευόμενα τις ιδιότητες των υλικών αλλαγής φάσης.

4.9.1.Συστήματα αποθήκευσης μη άμεσης επαφής με το μέσο μεταφοράς

Τα πλεονεκτήματα της χρήσης των υλικών αλλαγής φάσης είναι η μεγάλη πυκνότητα αποθήκευσης ενέργειας με μικρότερη διακύμανση κατά την ανάκτησή της με μικρότερη θερμοκρασιακή διαφορά από την πηγή θερμότητας (μέχρι και ισοθερμοκρασιακά). Οι πρακτικές δυσκολίες που ανακύπτουν οφείλονται στη χαμηλή τιμή του συντελεστή αγωγιμότητας, στη μεταβολή της πυκνότητας, στην αξιοπιστία- σταθερότητα των ιδιοτήτων σε μακρόχρονη χρήση καθώς και στο διαχωρισμό των φάσεων με ενδεχόμενη αλλαγή χημικής σύστασης των υλικών και εμφάνιση φαινομένου υπέρψυξης.

Η ελευθερία που δίνει το εύρος θερμοκρασιών που παράγονται τα υλικά δίνει την ευχέρεια εφαρμογής των υλικών αλλαγής φάσης σε πλήθος περιπτώσεων έμμεσης ή άμεσης αποθήκευσης θερμότητας όπου έχουν ως σκοπό την καλύτερη αξιοποίηση της ηλιακής ενέργειας όπου η απαιτούμενη θερμότητα αποθηκεύεται την ημέρα για να χρησιμοποιηθεί κατά τη διάρκεια της νύχτας ή σε ώρες μη ηλιοφάνειας.

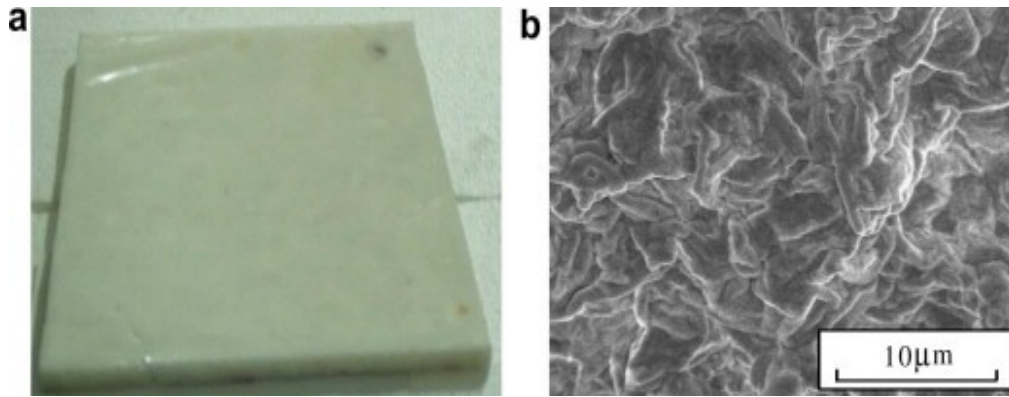
Όπως προαναφέρθηκε η χαμηλή τιμή του συντελεστή θερμικής αγωγιμότητας δεν βοηθάει την ταχεία απορρόφηση της προσφερόμενης θερμότητας και γι' αυτό το λόγο εφαρμόζονται διάφορες τεχνικές ενίσχυσής της. Οι εναλλάκτες που συνήθως χρησιμοποιούνται είναι [26],[27] :

- Το υλικό αλλαγής φάσης τοποθετείται μεταξύ παραλλήλων πλακών σε λεπτά και διαδοχικά στρώματα αφήνοντας μεταξύ τους ικανό κενό για τη ροή του μέσου (συνήθως αέρας, νερό, διάλυμα νερού-γλυκόλης, λάδι κλπ)
- Το υλικό αλλαγής φάσης τοποθετείται εντός σωλήνων μικρής διαμέτρου σχηματίζοντας δέσμες σωλήνων και το ρευστό κινείται κάθετα ή παράλληλα στη δέσμη. Οι σωλήνες είναι πολλές φορές και πτερυγιοφόροι.



ΕΙΚΟΝΑ 4.9.1.1: ΑΛΟΥΜΙΝΙΟΥ ΣΩΛΗΝΕΣ ΜΕ PCM

- Το υλικό αλλαγής φάσης τοποθετείται στο κέντρο ενός δοχείου αποθήκευσης διπλού κελύφους και το ρευστό κυκλοφορεί περιφερειακά.
- Σε μικρή κλίμακα μόνο έχουν χρησιμοποιηθεί και διατάξεις παρόμοιες του πλακοειδή εναλλάκτη. Στην κυψελοειδή διάταξη αντιμετωπίζονται προβλήματα από τις τάσεις που δημιουργούνται με την αύξηση του όγκου κατά την τήξη του υλικού, φαινόμενο που θέτει όρια στις εφαρμογές της.
- Το υλικό αλλαγής φάσης τοποθετείται σε δοχείο το οποίο το διαπερνούν πτερυγιοφόροι σωλήνες. Κατ' αυτή τη διάταξη το υλικό καλύπτει όλη την περιοχή μεταξύ δοχείου και σωλήνα καθώς και τα κενά μεταξύ των πτερυγίων. Τέτοια διάταξη είναι αποδοτική μόνο αν το ρευστό που περνά από τους σωλήνες είναι υγρό και όχι αέριο.
- Το υλικό αλλαγής φάσης βρίσκεται σε μορφή μικρής σφαίρας συνήθως με πλαστικό κέλυφος και τοποθετείται εντός δοχείου. Το ρευστό που μεταφέρει τη θερμότητα, εισέρχεται και εξέρχεται από το δοχείο μέσω σωληνώσεων εισαγωγής και εξαγωγής αεραγωγών εάν πρόκειται για αέριο. Το μειονέκτημα της μεθόδου είναι η μεγάλη πτώση πίεσης μεταξύ εισόδου και εξόδου. Επιπλέον με την χρήση σφαιριδίων ενισχυμένων με υλικό αλλαγής φάσης παρακάμπτεται και το πρόβλημα της αλλαγής όγκου των υλικών αλλαγής φάσης(περίπου 10% είναι μια τυπική τιμή) όπου δεν δημιουργεί προβλήματα μόνο κατά την τήξη του υλικού (αύξηση του όγκου) αλλά και κατά τη στερεοποίηση (μείωση του όγκου) διότι υπάρχει περίπτωση να σχηματιστούν κοιλότητες στο υλικό ή ακόμα και μερική αποκόλληση του υλικού από την επιφάνεια συναλλαγής, φαινόμενο που θα μειώσει δραματικά το συντελεστή θερμικής αγωγιμότητας.



ΕΙΚΟΝΑ 4.9.1.2: (a) ΦΩΤΟΓΡΑΦΙΑ PCM PLATE, (b) ΦΩΤΟΓΡΑΦΙΑ ΑΠΟ ΜΙΚΡΟΣΚΟΠΙΟ .



ΕΙΚΟΝΑ 4.9.1.3: PCM ΕΓΚΑΤΕΣΤΗΜΕΝΟ ΣΤΟ ΚΑΤΑΦΥΓΙΟ TELECOM ΣΕ 29C

4.9.2.Συστήματα αποθήκευσης άμεσης επαφής με το μέσο μεταφοράς

Η ιδέα έχει πραγματοποιηθεί μόνο σε ερευνητικό επίπεδο χρησιμοποιώντας ένυδρο άλας για υλικό αλλαγής φάσης και λάδι για μέσο μεταφοράς θερμότητας από την πηγή στο σύστημα αποθήκευσης. Στην πειραματική διάταξη φυσαλίδες λαδιού διαπερνούν το υλικό αλλαγής φάσης μεταφέροντας την απαιτούμενη θερμότητα. Αξιοσημείωτο είναι το γεγονός

ότι οι αναταράξεις που προκαλούν οι φυσαλίδες στη ροή τους μειώνουν το φαινόμενο του supercooling καθώς και αυτό του διαχωρισμού των φάσεων. [26], [27]

4.9.3.Φωτοβολταϊκά πλαίσια

Λόγω των υψηλών θερμοκρασιών σε κτίρια, όπου γίνεται χρήση φωτοβολταϊκών, η μετατροπή της ηλιακής ενέργειας σε ηλεκτρική γίνεται με αρκετές απώλειες. Κάθε φωτοβολταϊκό στοιχείο έχει σχεδιαστεί για να εργάζεται υπό συγκεκριμένες συνθήκες. Μια χαρακτηριστική τιμή θερμοκρασίας είναι οι 25°C. 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 υλικών αλλαγής φάσης σε φωτοβολταϊκά στοιχεία [28],[29]. Το υλικό αλλαγής φάσης τοποθετημένο σε αδιαβατικό προς το περιβάλλον πλαίσιο, απορροφά την εξέχουσα θερμότητα, διατηρώντας το φωτοβολταϊκό στοιχείο σε σταθερή θερμοκρασία, εξασφαλίζοντας την αποδοτική λειτουργία του.

4.9.4.Συστήματα κλιματισμού

Τα παραδοσιακά συστήματα κλιματισμού λειτουργούν σπάνια στο μέγιστο φορτίο, γεγονός που αναδεικνύει την υπερδιαστασιολόγηση των συστημάτων αυτών, καθώς έχουν επιλεγεί για να καλύψουν το μέγιστο φορτίο. Με άλλα λόγια, η λειτουργία τους περιορίζεται κατά τη διάρκεια της ημέρας για να καλύψουν τις μέγιστες απαιτήσεις, ενώ κατά τη διάρκεια της νύχτας παραμένουν απενεργοποιημένα.[30],[31]

Επιπρόσθετα, οι βιομηχανικές ψυκτικές διατάξεις διαστασιολογούνται για να ικανοποιήσουν τη μέγιστη στιγμιαία ζήτηση ψύξης, η οποία εμφανίζεται σε λίγες μόνο μέρες το χρόνο. Τα βιομηχανικά συστήματα ψύξης, παρέχουν την ψύξη για ένα μεγάλο εύρος εφαρμογών, εκ των οποίων αρκετές απαιτούν μεγάλα ψυκτικά φορτία σε μικρό χρονικό διάστημα.

Ένα σύστημα αποθήκευσης ψύξης, είναι ικανό να μειώσει το μέγιστο φορτίο (το φορτίο για το οποίο διαστασιολογείται η εγκατάσταση) μέχρι και 70%. Αν ληφθεί υπ' όψη και το χαμηλό κοστολόγιο του ηλεκτροπαραγωγού κατά τις νυχτερινές ώρες, γίνεται αντιληπτό το ότι τα συστήματα αυτά είναι ιδιαίτερα φιλικά προς τους οικονομικούς επενδυτές.



ΕΙΚΟΝΑ 4.9.4.1: ΚΛΙΜΑΤΙΣΜΟΣ ΜΕ PCM

4.9.5. Ηλιακά συστήματα

Αν ληφθεί υπ' όψη η περιοδικότητα που εμφανίζουν οι πηγές ενέργειας στη φύση, τότε πρέπει να γίνει πρόβλεψη για την αποθήκευση της ενέργειας που δεν χρησιμοποιείται κατά τη διάρκεια της ημέρας, ιδιαίτερα τις ώρες με έντονη ηλιοφάνεια, κατά τις οποίες η ενέργεια που απορροφάται είναι μεγαλύτερη από αυτή που απαιτείται για κατανάλωση. Συνεπώς θα πρέπει να υπάρχει η δυνατότητα αποθήκευσης της πλεονάζουσας ενέργειας και η αντίστοιχη δυνατότητα ανάκτησής της προς ικανοποίηση των θερμικών αναγκών του συστήματος.

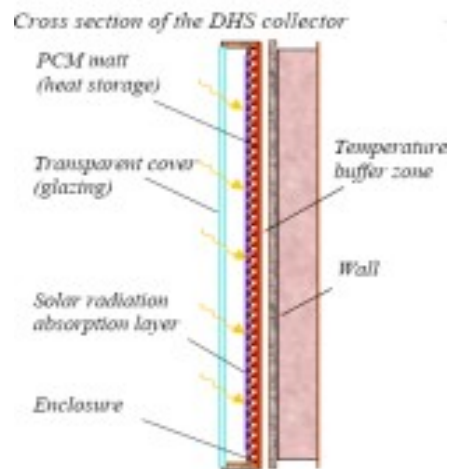
Η λειτουργία του συστήματος που περιλαμβάνει τα υλικά αλλαγής φάσης, διαφέρει από τις συνήθεις ηλιακές εφαρμογές, μόνο στο δοχείο αποθήκευσης θερμικής ενέργειας.

Στις ηλιακές εφαρμογές, χρησιμοποιούνται σήμερα περισσότερο τα ένυδρα άλατα. Η αρχή λειτουργίας του συστήματος, στηρίζεται στη θέρμανση του εργαζόμενου μέσου (το οποίο μπορεί να είναι υγρή σιλικόνη ή ορυκτέλαιο) από την προσπίπτουσα ηλιακή ακτινοβολία που παίρνει ο συλλέκτης. Το εργαζόμενο μέσο, αφού θερμανθεί, οδηγείται στο δοχείο θερμικής αποθήκευσης, όπου βρίσκεται και το υλικό αλλαγής φάσης. Η θερμότητα που μεταφέρει το εργαζόμενο μέσο, διαβιβάζεται στο ένυδρο άλας και απελευθερώνει το κρυσταλλικό νερό. Με τη διαδικασία αυτή, σχηματίζεται κορεσμένο υδατικό διάλυμα του άλατος, στερεό υπόλειμμα του

αδιάλυτου άλατος και επίπλευση του εργαζόμενου μέσου σε αυτό. Το εργαζόμενο μέσο οδηγείται κατά ένα μέρος στο συλλέκτη και κατά ένα άλλο μέρος στο δοχείο ανάδευσης, όπου αναδεύεται με το υπόλοιπο μέσο και παραλαμβάνει θερμότητα από μια ηλεκτρική αντίσταση, αν κριθεί σκόπιμο.

Για την ανάκτηση της αποθηκευμένης ενέργειας, το εργαζόμενο μέσο οδηγείται στον εναλλάκτη, όπου μεταφέρει θερμότητα σε ένα άλλο μέσο (συνήθως νερό), για τη χρήση της αποθηκευμένης θερμικής ενέργειας. Αφού το εργαζόμενο μέσο ψυχθεί στον εναλλάκτη, διαβιβάζεται στο κορεσμένο διάλυμα για να προσλάβει θερμότητα. Καθώς το κορεσμένο διάλυμα ψύχεται, επανακρυσταλλώνεται και αποδίδει την αποθηκευμένη θερμική ενέργεια.

Στην περίπτωση που χρησιμοποιείται οργανικό υλικό αλλαγής φάσης, η λειτουργία του συστήματος είναι πανομοιότυπη, με μοναδική διαφορά εκείνη της λειτουργίας των οργανικών υλικών αλλαγής φάσης, καθώς αυτά όταν φορτίζονται λειώνουν και μεταβαίνουν από τη στερεή στην υγρή φάση και όταν αποφορτίζονται το αντίστροφο. Στο σημείο αυτό πρέπει να σημειωθεί η αποδοτική χρήση αυτών των συστημάτων, σε εφαρμογές με μικρές θερμοκρασιακές διαφορές, αλλά και μικρό αποθηκευτικό όγκο.[32],[33],[34]



EIKONA 4.9.5.1:ΗΛΙΑΚΟ ΣΥΣΤΗΜΑ

Η ηλιακή ενέργεια δεν είναι διαθέσιμη κάθε στιγμή, οπότε οι ηλιακές εγκαταστάσεις απαιτούν μία ενδιάμεση αποθηκευτική μονάδα για την παρεχόμενη από τον Ήλιο ενέργεια, ρόλο τον οποίο συνήθως παίζει το νερό σε συστήματα θέρμανσης. Ένα σύστημα βασισμένο σε υλικό αλλαγής φάσης προσφέρει αρκετά πλεονεκτήματα σε σχέση με ένα συμβατικό σύστημα. Μικρότερο όγκο σε σύγκριση με ένα συμβατικό σύστημα νερού και μεγαλύτερη αποδοτικότητα χάρη στην μικρότερη θερμοκρασιακή διαφορά

μεταξύ φόρτισης και αποφόρτισης της ενέργειας. Συστήματα αποθήκευσης λανθάνουσας θερμότητας μπορούν επίσης να συνδυαστούν με συμβατικά συστήματα θέρμανσης. Ένα «ενισχυμένο» με υλικό αλλαγής φάσης σύστημα ζεστού νερού, παρέχει καλύτερο έλεγχο της θερμοκρασίας του νερού.

Τέλος για να συγκρίνουμε το νερό, που είναι το πιο διαδεδομένο μέσο για την αποθήκευση ενέργειας με τη μορφή αισθητής θερμότητας με ένα άλλο υλικό που αλλάζει φάση, αρχικά χρειάζεται να καθορίσουμε την αύξηση θερμοκρασίας του νερού κατά τη λειτουργία του συστήματος αποθήκευσης.

Ας υποθέσουμε εδώ ότι από τους 32oC(305,1K) το νερό ζεσταίνεται έως τους 50 oC(323,1K).Υπό αυτές τις συνθήκες το νερό μπορεί να απορροφήσει :

$$Q=\rho C_p \Delta T =988 (Kg/m^3) 4182(J/KgK) (323.1-305.1)(K)=74.37MJ/m^3$$

Αντίστοιχα, το υλικό Na₂SO₄·10H₂O (Glauber's Salt), το οποίο τήκεται στους 32oC μπορεί να απορροφήσει :

$$Q=f_s \rho =254(KJ/Kg) 1485(Kg/m^3)= 377.19 MJ/ m^3$$

Παρατηρούμε, λοιπόν, ότι το Na₂SO₄·10H₂O μπορεί να αποθηκεύσει περίπου 5,2 φορές περισσότερη ενέργεια από ότι ο ίδιος όγκος νερού με μια ανύψωση θερμοκρασίας 18 oC.

4.9.6.Ηλεκτρονικά εξαρτήματα[35],[36]

Τα ηλεκτρονικά κυκλώματα είναι ιδιαίτερα ευαίσθητα στη υπερθέρμανση, επηρεάζοντας αρνητικά τόσο τη διάρκεια ζωής, όσο και την αξιοπιστία του εξαρτήματος. 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 και καταστροφής. Σκοπός είναι να διατηρηθεί η θερμοκρασία των εξαρτημάτων αυτών εντός ορίων ασφαλούς λειτουργίας της εκάστοτε συσκευής, χωρίς να χρειαστεί να αυξηθεί το συνολικό της μέγεθος.

Σήμερα, μεταλλικά πτερύγια χρησιμοποιούνται για την απαγωγή θερμότητας από τα ηλεκτρονικά εξαρτήματα, ενισχύοντας τα συστήματα ψύξης αυτά με ανεμιστήρες καταλλήλου μεγέθους. Η χρησιμοποίηση υλικών αλλαγής φάσης σε αυτά τα συστήματα για την απομάκρυνση των σημείων

αιχμής που παρουσιάζει η χρονική κατανομή της θερμοκρασίας του εξαρτήματος, είναι απολύτως αξιόπιστη, καθώς το υλικό αλλαγής φάσης ανανεώνεται από μόνο του και επανέρχεται στην αρχική κατάσταση, μεταξύ δυο διαδοχικών σημείων αιχμής της θερμοκρασίας και δεν είναι απαραίτητος κανενός είδους κινητήρας ή διάταξη μέτρησης θερμοκρασίας.

Όπως είναι γνωστό τα υλικά αλλαγής φάσης δρουν σε τρεις φάσεις. Κατά την πρώτη φάση η θερμοκρασία του στερεού υλικού αλλαγής φάσης αυξάνεται μέχρι το σημείο τήξης του, καθώς αυξάνεται η θερμοκρασία του περιβάλλοντός του. Κατά τη δεύτερη φάση, η θερμοκρασία του υλικού αλλαγής φάσης παραμένει σταθερή καθώς το υλικό αλλαγής φάσης λιώνει. Κατά τη τρίτη φάση η θερμοκρασία υγρού υλικού αλλαγής φάσης συνεχίζει να αυξάνεται. Για να εισαχθούν τα υλικά αλλαγής φάσης 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 που δραστηριοποιούνται στο χώρο ανάπτυξης και εμπορίας υλικών αλλαγής φάσης, διατίθενται στο εμπόριο προϊόντα ειδικά σχεδιασμένα για τοποθέτηση σε ηλεκτρονικές διατάξεις, ιδιαιτέρως αποδοτικά. Τα περισσότερα από αυτά τα προϊόντα, που θυμίζουν δεσμίδες με μικρά αυτοκόλλητα χαρτιά, έρχονται σε άμεση επαφή με το εξάρτημα για το οποίο προορίζονται.

4.9.7.Χρήση σε ηλεκτρονικούς υπολογιστές

Οι εφαρμογές των υλικών αλλαγής φάσης στην ψύξη των επεξεργαστών των ηλεκτρονικών υπολογιστών, περιλαμβάνουν προϊόντα όπως τα παραπάνω, αν και πλέον έχουν αναπτυχθεί προϊόντα τα οποία αντικαθιστούν πλήρως τα μεταλλικά πτερύγια ψύξης του επεξεργαστή. Αν και το κόστος τους είναι αρκετά αυξημένο, λόγω κυρίως του μικρού μεγέθους τους, η λειτουργία τους είναι ιδιαίτερα αποτελεσματική και συμφέρουσα από οικονομικής άποψης, ιδίως όσο αυξάνεται ο αριθμός των επεξεργαστών και η αντίστοιχη επεξεργαστική ισχύς, οπότε και η αντίστοιχη κατανάλωση ενέργειας από το σύστημα. [37],[38]

Αρκετά πρωτότυπη και έξυπνη είναι η ιδέα ανάπτυξης μίας εύκαμπτης επιφάνειας πάχους 8-10mm, η οποία περιέχει υλικά αλλαγής φάσης στο εσωτερικό της και προορίζεται για χρήση σε φορητούς υπολογιστές. Η λειτουργία της είναι πολύ απλή, απλώς τοποθετείται ο φορητός υπολογιστής επάνω της και το προϊόν αναλαμβάνει να απορροφήσει μεγάλο μέρος των θερμικών φορτίων που αναπτύσσονται στην κεντρική μονάδα επεξεργασίας του Η/Υ. Πρόσθετο πλεονέκτημα του προϊόντος σε περίπτωση εκτός γραφείου χρήσης (όπου συνήθως ο υπολογιστής εναποτίθεται στους μηρούς του χρήστη), είναι ότι προστατεύει τη βουβωνική χώρα του χρήστη από

έκθεση σε αυξημένες θερμοκρασίες, που σύμφωνα με πρόσφατες έρευνες, είναι επικίνδυνο τόσο για τη σεξουαλική υγεία όσο και για την αναπαραγωγική δυνατότητα του τελευταίου.

Στο σύνολό τους αυτά τα προϊόντα είναι αποτελεσματικά και συντελούν σε σημαντική εξοικονόμηση ενέργειας. Επιγραμματικά τα χαρακτηριστικά τους:

- Αύξηση του χρονικού διαστήματος πρώτης εκκίνησης του ανεμιστήρα από τα 20 λεπτά στις τέσσερις ώρες, οπότε επιτυγχάνονται καλύτερες συνθήκες εργασίας στον υπολογιστή (π.χ. αθόρυβη λειτουργία) .
- Μείωση της ενεργειακής κατανάλωσης του υπολογιστή κατά 25 %.
- Αύξηση της ζωής του επεξεργαστή.
- Αύξηση των επιδόσεων του επεξεργαστή, λόγω της ελάττωσης της μέσης θερμοκρασία λειτουργίας του.



ΕΙΚΟΝΑ 4.9.7.1: ΠΡΟΙΟΝΤΑ ΓΙΑ ΨΥΞΗ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΤΩΝ ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΩΝ ΠΛΑΚΕΤΩΝ

4.9.8.Μονάδα επείγουσας ψύξης

Μια ιδιαίτερα επιτυχής εφαρμογή των υλικών αλλαγής φάσης , είναι η μονάδα επείγουσας ψύξης (cooling emergency unit). Η μονάδα αυτή, αποτελείται από ένα εξωτερικό μεταλλικό πλαίσιο, στο εσωτερικό του οποίου υπάρχουν συσκευασίες με υλικά αλλαγής φάσης και σωληνώσεις που συνδέουν τη μονάδα με το κεντρικό σύστημα κλιματισμού μιας αίθουσας. Τα υλικά αλλαγής φάσης , βρίσκονται μέσα σε σακούλες τοποθετημένες πάνω σε πλάκες αλουμινίου. Η ανάγκη μιας τέτοιας μονάδας, είναι επιθυμητή για χώρους που στεγάζονται ηλεκτρονικές συσκευές, καθώς οι υψηλές θερμοκρασίες στο χώρο μπορούν να αποβούν καταστροφικές για έναν αρκετά δαπανηρό εξοπλισμό. Η εμφάνιση των μεγάλων θερμοκρασιών, οφείλεται κυρίως στις υψηλές θερμοκρασίες του εξωτερικού περιβάλλοντος και στη μεγάλη αποβολή θερμότητας των ηλεκτρονικών εξαρτημάτων.

Τα υλικά αλλαγής φάσης που υπάρχουν στη μονάδα, βρίσκονται αρχικά στη στερεή φάση, είναι δηλαδή θερμικά αφόρτιστα. Μόλις η θερμοκρασία του χώρου αυξηθεί πέραν του φυσιολογικού και ο κλιματισμός της αίθουσας δεν είναι αρκετός για να διατηρήσει τη θερμοκρασία στα επιθυμητά επίπεδα για τη λειτουργία των ηλεκτρονικών συσκευών, μπαίνει σε λειτουργία η μονάδα επείγουσας ψύξης. Το ψυκτικό υγρό περνά μέσα από τη μονάδα και φορτίζει θερμικά το υλικό αλλαγής φάσης, το οποίο μπορεί να απορροφήσει μεγάλες ποσότητες θερμότητας και να τις αποθηκεύσει. Μόλις μπει σε λειτουργία η μονάδα, αυξάνεται κατά ένα μεγάλο βαθμό η απόδοση του συστήματος κλιματισμού. Πρέπει βέβαια να προβλέπεται πάντα στο τέλος της λειτουργίας της μονάδας, να αποφορτίζονται τα υλικά αλλαγής φάσης, για να είναι πάντα διαθέσιμη η μονάδα. Η αποφόρτιση της μονάδας μπορεί να γίνει με πολλούς τρόπους, με πιο αποδοτικό την απευθείας ψύξη των υλικών αλλαγής φάσης μέσω του συστήματος κλιματισμού, σε λειτουργία όπου αποκόπτεται ο κλιματισμός της αίθουσας, κυρίως σε περιόδους ύφεσης της επεξεργαστικής δραστηριότητας, ή κατά τη διάρκεια της νύχτας.[37]



ΕΙΚΟΝΑ 4.9.8.1: ΜΟΝΑΔΑ ΕΠΕΙΓΟΥΣΑΣ ΨΥΞΗΣ

4.9.9.Τηλεπικοινωνίες[39][40]

Ο ηλεκτρονικός εξοπλισμός λειτουργεί γενικώς καλύτερα μεταξύ συγκεκριμένων θερμοκρασιακών ορίων και μειώνεται ο χρόνος ζωής του ή αστοχεί σε πολύ υψηλές ή χαμηλές θερμοκρασίες. Για παράδειγμα οι εταιρίες τηλεφωνίας χρησιμοποιούν μπαταρίες για να τροφοδοτήσουν με ενέργεια εξοπλισμό, και επειδή πολλές φορές ο ηλεκτρονικός εξοπλισμός πρέπει να βρίσκεται και να χρησιμοποιείται υπαίθρια ,ψηλές ή χαμηλές θερμοκρασίες που κυμαίνονται από -40 οC έως +50 οC μπορούν να δημιουργήσουν προβλήματα. Η μπαταρίες έχουν πολύ μεγάλη ενεργειακή απώλεια όταν η θερμοκρασία είναι πολύ χαμηλή ή αστοχούν όταν είναι πολύ υψηλή και επιπλέον η διάρκεια ζωής μίας μπαταρίας εξαρτάται άμεσα από την θερμοκρασία στην οποία βρίσκεται.

Η χρήση υλικών αλλαγής φάσης οδηγεί σε μία πιο σταθερή θερμοκρασία λειτουργίας των μπαταριών απορροφώντας τα μεγάλα φορτία κατά τις ώρες αιχμής και απορρίπτοντάς τα αργότερα όταν οι συνθήκες του περιβάλλοντος το επιτρέπουν. Ένα παράδειγμα χρήσης των PCM στις μπαταρίες είναι ένα ειδικό περίβλημα που έχει αναπτυχθεί από τις εταιρίες «TEAP», «Power Conversion Products» και «MJM-Engineering». Το περίβλημα αυτό έχει σακούλες γεμισμένες με PCM και τυλίγεται γύρω από την μπαταρία.

Επομένως τα συστήματα των τηλεπικοινωνιακών εφαρμογών, περιέχουν μηχανήματα και ηλεκτρονικά εξαρτήματα τα οποία είναι υπεύθυνα για την εύρυθμη λειτουργία του αντίστοιχου δικτύου. Τέτοια εξαρτήματα περιέχουν εξεζητημένα ηλεκτρονικά κυκλώματα, ιδιαίτερα ακριβά και καταναλωτικά από άποψης ενέργειας, όπως επίσης και πολύ ευαίσθητα στις υψηλές θερμοκρασίες. Πολλά από αυτά δε, 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 (κοιλάδες) και κατά το δυνατόν υψηλότερα (υψώματα, βουνά, κλπ). Ως εκ τούτου, είναι συνήθως τοποθετημένα σε πρόσβασιμες μεν περιοχές, αλλά μακριά από κατοικημένους χώρους, οπότε είναι δύσκολη η συνεχής επιτήρηση της θερμοκρασιακής κατάστασής τους. Τα ΥΑΦ έχουν βρει εφαρμογή και σε αυτά τα συστήματα και παραδειγματικά περιγράφεται παρακάτω 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 κομμάτι εκείνο 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 ιδιαίτερος θερμοευαίσθητα και ο περιβάλλον χώρος τους πρέπει να διατηρείται διαρκώς κάτω από τους 35°C. Σε υποανάπτυκτες και υπό ανάπτυξη 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 ΥΑΦ 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 έχοντας οικονομικό όφελος λόγω της μικρότερης ποσότητας καυσίμου που καταναλώνει η γεννήτρια. Το ΥΑΦ θα επαναφορτιστεί όποτε είναι διαθέσιμη η πηγή ενέργειας, οπότε θα δουλεύει το κανονικό σύστημα κλιματισμού, άρα και θα αποβάλλει την αποθηκευμένη θερμότητα.

4.9.10. Οχήματα

Πολύ ενδιαφέροντα στοιχεία προκύπτουν από την αυτοκινητοβιομηχανία, στα πλαίσια της οποίας έχουν δοκιμαστεί ΥΑΦ σε πληθώρα εφαρμογών. Δύο από τα πλέον ενδιαφέροντα και επιτυχημένα παραδείγματα περιγράφονται παρακάτω.

Τα ΥΑΦ χρησιμοποιούνται ήδη σήμερα σε μία μπαταρία λανθάνουσας θερμότητας, την οποία προσφέρει η BMW σαν προαιρετικό εξοπλισμό στα μοντέλα της σειράς 5. Η αρχή λειτουργίας 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 είναι μετά διαθέσιμη στο επόμενο ξεκίνημα του οχήματος με κρύο κινητήρα, ώστε να θερμανθεί ο κινητήρας γρηγορότερα, οπότε βελτιώνει το συνολικό συντελεστή κατανάλωσης καυσίμου (km/lit καυσίμου), όπως επίσης και για τη θέρμανση της καμπίνας του οχήματος (οδηγική άνεση-θερμική άνεση). Χάρη στην εξαιρετική μόνωση της μπαταρίας λανθάνουσας θερμότητας, μπορεί να διατηρήσει την αποθηκευμένη ενέργεια με το όχημα σταματημένο σε περιβάλλον -20°C για τουλάχιστον δύο εικοσιτετράωρα.

Μία ακόμη εφαρμογή των ΥΑΦ είναι στο σύστημα εξαγωγής του οχήματος. Με χρήση ΥΑΦ διατηρείται ο καταλύτης στη θερμοκρασία σχεδιασμού, ελαττώνοντας τις –αναγκαστικά – αυξημένες εκπομπές άκαυστων υδρογονανθράκων κατά το ξεκίνημα του κρύου κινητήρα.

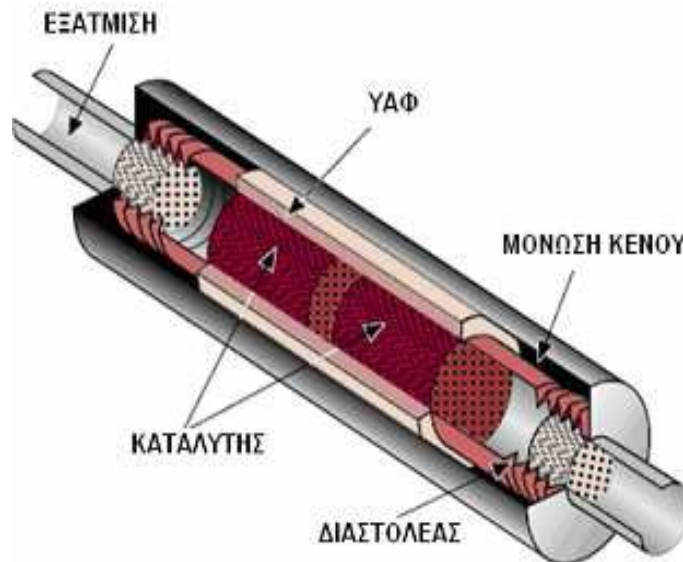
Ο καταλύτης (καταλυτικός μετατροπέας) που πλέον είναι αναφαίρετο εξάρτημα όλων των σύγχρονων αυτοκινήτων, μετατρέπει μέσω οξείδωσης στα ευγενή μέταλλα που περιέχει (Ρόδιο, Παλλάδιο, Λευκόχρυσος) τα

μονοξειδία αζώτου και άνθρακα από την καύση του καυσίμου στον κύλινδρο, σε λιγότερο βλαβερά και σίγουρα όχι δηλητηριώδη διοξειδία. Για να επιτευχθεί αυτό, θα πρέπει η θερμοκρασία

του καταλύτη να είναι πολύ υψηλή, καθώς για την εν λόγω χημική διαδικασία η μεγάλη θερμοκρασία είναι απαραίτητος παράγοντας. 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 τριτοδικός καταλύτης ενισχυμένος με ΥΑΦ, με σκοπό να αποθηκεύουν θερμότητα κατά την κίνηση του αυτοκινήτου και να την απελευθερώνουν στην επόμενη εκκίνησή του

Σε οχήματα που εφαρμόστηκε το εν λόγω σύστημα τα αποτελέσματα είναι εντυπωσιακά. Οι κινητήρες τέθηκαν σε λειτουργία μετά 24 ώρες από την προηγούμενη εκκίνησή τους και μετρήθηκαν οι εκπομπές των καυσαερίων τους. ,απιστώθηκε ότι οι εκπομπές υδρογονανθράκων και μονοξειδίου του άνθρακα ήταν μειωμένες κατά 84% και 91% αντίστοιχα, συγκρινόμενες με τις εκπομπές κινητήρων με συμβατικό καταλύτη.[41][42][43][44]



ΕΙΚΟΝΑ 4.9.10.1:ΥΛΙΚΑ ΑΛΛΑΓΗΣ ΦΑΣΗΣ ΣΕ ΚΑΤΑΛΥΤΗ ΑΥΤΟΚΙΝΗΤΟΥ

4.9.11.Μεταφορές αγαθών

Ο τομέας των μεταφορών σε πολλές περιπτώσεις περιλαμβάνει τη μεταφορά προϊόντων τα οποία είναι ευαίσθητα στις θερμοκρασιακές διακυμάνσεις 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 ιδιαίτερα αυξημένο κόστος το οποίο έχει να κάνει με τη διατήρηση της θερμοκρασίας, είτε πρόκειται για όχημα- ψυγείο, είτε για όχημα με κάποια θερμοαντική διάταξη.

Η μεταφορά ευαίσθητων νωπών τροφίμων, ευαίσθητων στις θερμοκρασιακές αλλαγές φαρμακευτικών ειδών, διάφορων ηλεκτρονικών εξαρτημάτων, χημικών, εκρηκτικών, απαιτεί κλιματιζόμενα οχήματα.

Τέτοια οχήματα καθιστούν απαγορευτική από πλευράς κόστους τη λειτουργία τους, καθώς χρησιμοποιούν σαν καύσιμο ντίζελ. Το κόστος της ενέργειας η οποία παράγεται από ντίζελ είναι 6 φορές μεγαλύτερη από το αντίστοιχο κόστος της συμβατικής ηλεκτρικής ενέργειας.

Το τεράστιο πλεονέκτημα των ΥΑΦ είναι ότι μπορούν να απορροφήσουν ή να αποδώσουν σεβαστά ποσά θερμότητας σχεδόν ισοθερμοκρασιακά. Είναι προφανές ότι ανάλογα με τις θερμοκρασιακές απαιτήσεις της κάθε εφαρμογής επιλέγεται και υλικό με αντίστοιχο σημείο τήξης.



ΕΙΚΟΝΑ 4.9.11.1:ΚΙΒΩΤΙΟ ΔΙΑΤΗΡΗΣΗΣ ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑΣ

Σε γενικές γραμμές, πριν από τη μεταφορά φορτίζονται τα υλικά αλλαγής φάσης είτε σε ψυγείο, είτε σε φούρνο, ώστε να είναι έτοιμα για χρήση. Το πολύ θετικό εδώ είναι ότι το υλικό αλλαγής φάσης παρέχει τη δυνατότητα φόρτισής του καταναλώνοντας ηλεκτρική ενέργεια μη αιχμής, που ως γνωστό, είναι φθηνότερη.

Η μεταφορά ζεστών γευμάτων για παράδειγμα, απαιτεί μία πηγή θερμότητας, διαφορετικά δεν θα ικανοποιήσει τους πελάτες-καταναλωτές. Μία ηλεκτρική θερμαντική μονάδα δεν μπορεί να είναι διαθέσιμη κάτω από οποιεσδήποτε συνθήκες, και σε αυτές τις περιπτώσεις τα υλικά αλλαγής φάσης προσφέρουν ιδανική λύση, αφού επιτρέπουν την κατασκευή ενός αυτό-θερμαινόμενου σκεύους μεταφοράς.

Η κατασκευή των δοχείων μεταφοράς προβλέπει την προθέρμανση των πλακών που περιέχουν τα υλικά αλλαγής φάσης σε ένα κοινό φούρνο ή μέσω ηλεκτρικών αντιστάσεων. Μόλις οι πλάκες με το υλικό αλλαγής φάσης φορτιστούν, αποθηκεύοντας ένα μεγάλο ποσό λανθάνουσας θερμότητας τοποθετούνται στα θερμικά μονωμένα δοχεία σαν εσωτερική επένδυση.

Επιπρόσθετα πρέπει να σημειωθεί, ότι ένα μεγάλο πλεονέκτημα των υλικών αλλαγής φάσης στην εφαρμογή αυτή είναι η αποφόρτιση του υλικού αλλαγής φάσης σε σταθερή θερμοκρασία, χωρίς να υπερθερμαίνει το εσωτερικό περιβάλλον του δοχείου.[45][46][47]

Πλέον οι εταιρίες που δραστηριοποιούνται στο χώρο, έχουν αναπτύξει πλήθος τυποποιημένων προϊόντων μεταφοράς, τα οποία είναι εφοδιασμένα με εγκοπές. Αυτές οι εγκοπές πέραν της ευελιξίας και ευκολίας στον τομέα της συναρμολόγησης του κιβωτίου μεταφοράς, εμφανίζουν το πρόσθετο πλεονέκτημα της αεροστεγούς κατά το δυνατόν μεταφοράς των αγαθών, γεγονός το οποίο ελαχιστοποιεί τις θερμικές απώλειες. Πέρα όμως από αυτές τις συσκευασίες προσφέρονται και έτοιμα κιβώτια ενισχυμένα με υλικά αλλαγής φάσης για τη μεταφορά οσοδήποτε μεγάλου όγκου προϊόντων, ώστε να ικανοποιηθούν οι ανάγκες οποιουδήποτε πελάτη ή επιχείρησης .

Επίσης η αποθήκευση και η μεταφορά ιατροφαρμακευτικών προϊόντων είναι μία κατάλληλη εφαρμογή για τα PCM. Ο λόγος είναι ότι πολλά από αυτά τα προϊόντα είναι πολύ ακριβά και η ποιότητά τους εξαρτάται άμεσα από τις συνθήκες θερμοκρασίας κατά την μεταφορά και την αποθήκευση. Η θερμοκρασίες που διατηρούνται τέτοιου είδους προϊόντα είναι από 20oC έως 24oC από 2oC έως 6oC και άλλα από -30oC έως -26oC. Είναι δυνατό πάραυτα τα οχήματα που μεταφέρουν τα προϊόντα να έχουν κάποιο σύστημα ψύξης όμως το πρόβλημα είναι στη μεταφορά ανάμεσα στο νοσοκομείο και το όχημα και μετά ανάμεσα στο όχημα και τον τελευταίο προορισμό. Για παράδειγμα το αίμα απαγορεύεται να παγώσει όπως και να ανέβει πάνω από κάποιο όριο η θερμοκρασία του διότι μετά δεν μπορεί να χρησιμοποιηθεί.

Η παραδοσιακή μέθοδος διατήρησης της θερμοκρασίας σε κάποια προκαθορισμένα όρια είναι η χρήση πολύπλοκων και ακριβών συστημάτων ψύξης. [48] Παρακάτω βλέπουμε ειδικές συσκευασίες για την μεταφορά αίματος που διατηρούν την θερμοκρασία μεταξύ 2oC και 10oC έως και για 12 ώρες χωρίς περαιτέρω τεχνικό εξοπλισμό κλίνοντας έτσι τα κενά στην αλυσίδα των μεταφορών.



*ΕΙΚΟΝΑ 4.9.11.2: ΔΟΧΕΙΑ ΑΠΟΘΗΚΕΥΣΗΣ
ΙΑΤΡΟΦΑΡΜΑΚΕΥΤΙΚΩΝ ΠΡΟΪΟΝΤΩΝ*



*ΕΙΚΟΝΑ 4.9.11.3: ΜΟΝΩΜΕΝΑ ΚΟΥΤΙΑ ΓΙΑ ΤΙΣ ΜΕΤΑΦΟΡΕΣ ΤΗΣ
ΙΑΤΡΙΚΗΣ, ΦΑΓΗΤΟ, ΑΝΘΡΩΠΙΝΩΝ ΟΡΓΑΝΩΝ. ΔΙΑΤΙΘΕΝΤΑΙ ΣΕ
ΔΙΑΦΟΡΑ ΜΕΓΕΘΗ*

4.9.12. Θερμική Ένδυση

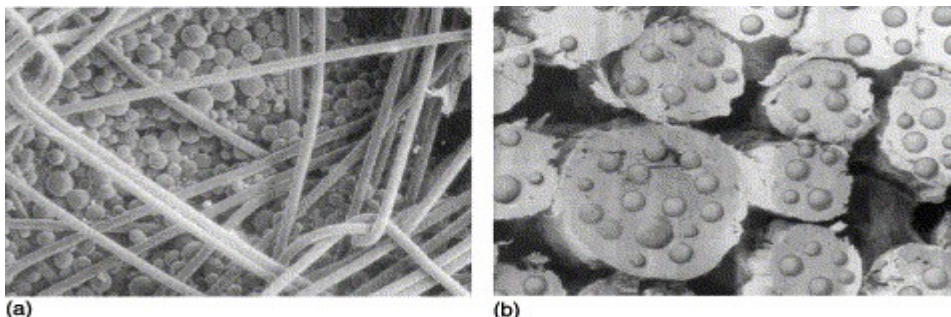
Η εισαγωγή υλικών αλλαγής φάσης στα ρούχα έχει ως στόχο να παρέχουν θερμική άνεση, ομοιόμορφα κατανεμημένη θερμοκρασία και λιγότερο ιδρώτα.

Η εισαγωγή των ΥΑΦ σε ρούχα ξεκίνησε από διαστημικές εφαρμογές, στις στολές των αστροναυτών, για τη προστασία τους από τις απότομες θερμοκρασιακές μεταβολές. Σήμερα οι εφαρμογές των υλικών αλλαγής φάσης στα ρούχα και γενικότερα στα υφάσματα έχουν επεκταθεί. Χρησιμοποιούνται σε στολές που εκτίθενται σε ακραίες θερμοκρασίες, όπως για παράδειγμα σε πυροσβεστικές, ορειβατικές και αγωνιστικές (F1) στολές. Η χρήση τους όμως έχει επεκταθεί και σε καθημερινά ρούχα και άλλα υφάσματα, όπως κουβέρτες, κάλτσες, παπούτσια κλπ.



ΕΙΚΟΝΑ 4.9.12.1: ΕΝΔΥΜΑΤΑ ΕΝΙΣΧΥΜΕΝΑ ΜΕ ΥΛΙΚΑ ΑΛΛΑΓΗΣ ΦΑΣΗΣ

Στα ενδύματα χρησιμοποιούνται κυρίως οργανικά ΥΑΦ σε μικροκάψουλες, για να μην εμφανίζονται διαρροές κατά τη μετάβαση στην υγρή φάση. Τα μικρο-ΥΑΦ αυτά όταν προστίθενται στις υφασμάτινες ίνες ή ανάμεσα στα στρώματα των ενδυμάτων, μπορούν να ελαττώσουν το ρυθμό μεταφοράς θερμότητας και μπορούν να αυξήσουν τη θερμοχωρητικότητα (του ενδύματος) περίπου 10 φορές. Αυτά τα ανεπτυγμένα θερμικά χαρακτηριστικά μπορούν να εμφανιστούν στα σύγχρονα ρούχα με εμβαπτισμό των ινών του υφάσματος σε διάλυμα που περιέχει μικροσκοπικές μονάδες ΥΑΦ (μικρο-ΥΑΦ) ή με την προσθήκη των μικρο-ΥΑΦ σε πολυμερή, τα οποία μετά οδηγούνται σε εξολκείς για σχηματισμό πολυμερών ινών. Συνήθως (προφανώς είναι η πλέον οικονομική μέθοδος) οι μικροκάψουλες με τα ΥΑΦ, τοποθετούνται κατά στρώματα και σε σχετικά πειράματα έχει αποδειχθεί η αποδοτικότερη χρήση δύο στρωμάτων με ΥΑΦ. Επειδή τα ΥΑΦ παρουσιάζουν αρκετά μεγαλύτερη πυκνότητα από τα συνήθη υλικά των ενδυμάτων, αλλά και λόγω του υψηλού κόστους των ΥΑΦ, χρησιμοποιείται ΥΑΦ κατά 20-35% επί του ολικού βάρους του ενδύματος. Τα παραφινούχα ΥΑΦ που χρησιμοποιούνται συνήθως εμφανίζουν το φαινόμενο της τήξης στους 28-300C.



ΕΙΚΟΝΑ 4.9.12.2: ΜΙΚΡΟΚΑΨΟΥΛΕΣ PCM (Α) ΣΤΗΝ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑ ΥΦΑΣΜΑΤΟΣ (Β) ΜΕΣΑ ΣΤΟ ΥΦΑΣΜΑ.

Προφανώς για θερμοκρασίες χαμηλότερες από το σημείο τήξης των ΥΑΦ, το υλικό βρίσκεται εξ ολοκλήρου στη στερεή του φάση, αν και επειδή το ανθρώπινο σώμα βρίσκεται σε συνήθεις συνθήκες στους 36C, προσφέρει συνήθως ένα ποσό θερμότητας στο ΥΑΦ, το οποίο μπορεί να επανακτήσει στην περίπτωση που η θερμοκρασία του ελαττωθεί. Αν η θερμοκρασία τείνει να αυξηθεί, τότε το ΥΑΦ απορροφά θερμότητα για να μην υπερθερμανθεί το ανθρώπινο σώμα.

Με αυτή τη μέθοδο προσθήκης μικρο-ΥΑΦ στα ρούχα, είναι δυνατός ο σχεδιασμός και η υλοποίηση των λεγόμενων έξυπνων ενδυμάτων. Στις εφαρμογές που αυτή η μέθοδος μπορεί να χρησιμοποιηθεί είναι πολλές, από βαριά ένδυση, μπουφάν, αδιάβροχα, κουβέρτες, προστατευτικά φωτιάς για πυροσβέστες, στολές κατάδυσης και πολλά άλλα.

Η χρήση των ΥΑΦ έχει πλέον εδραιωθεί στον τομέα της ένδυσης, με πολύ αξιόπιστα αποτελέσματα και για τον πιο απαιτητικό χρήστη. Προϊόντα όπως στολές για σκι, κυνηγετικά γιλέκα και θερμικά εσώρουχα, είναι μία θερμομονωτική μέθοδος πολύ διαφορετική με ό,τι έχει επικρατήσει μέχρι σήμερα, μεθόδους δηλαδή που βασίζονται στην αποθήκευση αέρα μεταξύ των ινών ή στρωμάτων υλικού. Χάρη στα μικρο-ΥΑΦ, η θερμότητα που απορροφάται οδηγεί το υλικό να αλλάξει φάση (από στερεό σε υγρό) σε μοριακό επίπεδο, αποθηκεύοντας ή απελευθερώνοντας ενέργεια, ανάλογα με τη θερμοκρασία του δέρματος. Η θερμότητα αυτή διατηρείται στο ΥΑΦ και όταν έρθει η ώρα ελευθερώνεται ομοιόμορφα και σταδιακά, δημιουργώντας ένα πολύ πιο αποτελεσματικό θερμομονωτικό στρώμα σταθερής θερμοκρασίας μεταξύ του δέρματος και του εξωτερικού περιβάλλοντος. Αυτό σταδιακά θα οδηγήσει στην εξαφάνιση των δύσχρηστων και καθόλου πρακτικών θερμομονωτικών ρούχων που χρησιμοποιούνται μέχρι σήμερα. [49][50][51]



EIKONA 4.9.12.3: ENΔΥΜΑΤΑ ENΙΣΧΥΜΕΝΑ ΜΕ PCM

Η χρήση των ΥΑΦ σε εσώρουχα αποδεικνύεται αποτελεσματική στον τομέα της θερμικής μόνωσης και μάλιστα πολύ πιο αποτελεσματική από τα λεγόμενα «ισοθερμικά» εσώρουχα. Το βασικό πλεονέκτημα της χρήσης τέτοιων εσώρουχων είναι ότι διατηρούν το σώμα σε καλή θερμοκρασία με αποτέλεσμα να μην είναι απαραίτητη η χρήση ενός ογκώδους, άβολου στην κίνηση και αντιαισθητικού εξωτερικού ενδύματος.

Τα γάντια και οι σκούφοι όπως και τα καπέλα είναι ομάδες ενδυμάτων που έγιναν και πάλι επίκαιρα, λόγω της χρηστικότητας και της αποτελεσματικότητας που τους προσέφερε ο συνδυασμός τους με ΥΑΦ. Ειδικότερα τα γάντια που σε συγκεκριμένες εφαρμογές είναι απαραίτητα πλέον γίνονται περισσότερο χρηστικά, μικρότερα σε όγκο και περισσότερο αποτελεσματικά.

4.9.13.Εφαρμογές σε υποδήματα και πάτους υποδημάτων

Αξιοσημείωτη είναι η χρήση των ΥΑΦ σε υποδήματα και πάτους υποδημάτων προσφέροντας στο χρήστη, ένα άνετο περιβάλλον για τα πόδια του. Με την εξομαλυμένη θερμοκρασία εντός του υποδήματος, επιτυγχάνεται πέραν της θερμικής άνεσης, λιγότερη κόπωση, και λιγότερο ιδρώτα, 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.[52]

4.9.14.Εφαρμογές σε γιλέκα

Ένα από τα πρώτα και πλέον επιτυχημένα προϊόντα ένδυσης με ΥΑΦ είναι ένα γιλέκο ενισχυμένο με σακούλες γεμάτες με κατάλληλο υλικό. Το γιλέκο φοριέται πάνω από μία μόνο φανέλα ή και κατάσαρκα και έχει σαν σκοπό να απομακρύνει την εξέχουσα θερμότητα σε περιπτώσεις αυξημένης δραστηριότητας.

Αξίζει να σημειωθεί ότι τετοιου είδους γιλέκα χρησιμοποιούνται και από αθλητές μετά από αγώνες καθώς επίσης και από ασθενείς με καρκίνο του μαστού ύστερα από ακτινοθεραπείες για λόγους ανακούφισης.

Θεωρήθηκε σωστό να αναλυθεί ξεχωριστά γιατί γνώρισε μεγάλη απήχηση από πολλούς φορείς, όπως αστυνομικά και πυροσβεστικά σώματα, ένοπλες δυνάμεις και από πολλές ιδιωτικές επιχειρήσεις. Το σημαντικό γεγονός είναι ότι είναι ένα ένδυμα μικρό σε όγκο και μπορεί να συνδυαστεί με σχεδόν όλες τις στολές, ή με οποιοδήποτε συνδυασμό ρούχων.[49][50][51]



EIKONA 4.9.14.1:ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ ΣΕ ΓΙΑΚΕΚΑ

4.9.15.Εφαρμογές σε κράνη

Επιπρόσθετα, πρόσφατες έρευνες δείχνουν την καταλληλότητα των ΥΑΦ σε κράνη, με σκοπό την ψύξη του κομιστή. Στη συγκεκριμένη εφαρμογή, το ΥΑΦ απορροφά τη θερμότητα που εκλύεται από το κεφάλι του κομιστή, αλλά και την ανεπιθύμητη θερμότητα που προέρχεται από το περιβάλλον. Γίνεται κατανοητό, ότι η θερμότητα αποθηκεύεται στο κράνος χωρίς να γίνεται δυσάρεστη στον κομιστή για ένα χρονικό διάστημα που μέχρι σήμερα φτάνει τις δυο ώρες, αλλά αναμένεται με την

εξέλιξη των ΥΑΦ να αυξηθεί ικανοποιητικά. Βέβαια, αυτή η θερμότητα δεν αποβάλλεται προς το περιβάλλον, συνεπώς θα πρέπει πριν ξαναχρησιμοποιηθεί το κράνος να αποφορτισθεί, μη φορώντας το, ή καλύτερα βυθίζοντάς το σε κρύο νερό για σύντομο χρονικό διάστημα.

Τα ΥΑΦ που έχουν ήδη χρησιμοποιηθεί για τα κράνη είναι τόσο τα οργανικά, αλλά και κάποια ανόργανα άλατα. Στα ανόργανα άλατα δίνεται ιδιαίτερη προσοχή στην συσκευασία, τα οποία πολύ οξειδωτικά. Το σημείο τήξης των ΥΑΦ που χρησιμοποιούνται εδώ είναι στην περιοχή των 280C.[49][50][51]

4.9.16.Εφαρμογές για τον ύπνο[52]

Τα ΥΑΦ χρησιμοποιούνται ακόμα και για να βελτιώσουν τις συνθήκες του μικροκλίματος που περιβάλλει τον άνθρωπο κατά τη διάρκεια του ύπνου, με τη χρήση των ΥΑΦ σε σεντόνια, παπλώματα και μαξιλάρια, αλλά και στρώματα. Η θερμική συμπεριφορά των ΥΑΦ εξασφαλίζει τις κατάλληλες συνθήκες ύπνου με τη θερμοκρασία να κυμαίνεται απόλυτα στα όρια της θερμικής άνεσης, χωρίς ζέστη αλλά και χωρίς κρύο.

4.9.17.Εφαρμογές σε έπιπλα

Σήμερα υλικά αλλαγής φάσης τοποθετούνται και σε έπιπλα αλλά και σε γραφεία με σκοπό να κρατήσει το γραφείο δροσερό και να βελτιωθεί η αποδοτικότητα της εργασίας. Ομοίως υλικά αλλαγής φάσης χρησιμοποιούνται και σε παιχνίδια.



ΕΙΚΟΝΑ 4.9.17.1: ΕΠΙΠΛΑ ΜΕ PCM



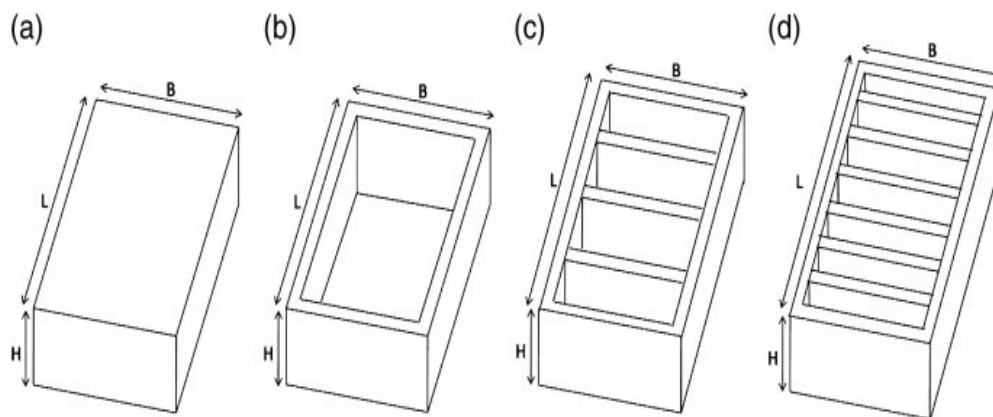
ΕΙΚΟΝΑ 4.9.17.2: ΠΑΙΧΝΙΔΙΑ ΜΕ PCM

4.9.18.Εφαρμογές σε κινητά [106]

Ο G. Setoh, F.L. Tan και S.C.Fok εξέτασαν την ψύξη των κινητών τηλεφώνων με την χρήση υλικών αλλαγής φάσης (PCM). Κατασκευάστηκαν προτυπα κινητά τηλέφωνα χρησιμοποιώντας sink θερμότητας από αλουμίνιο με διαφορετικό αριθμό πτερυγίων γεμάτα με n-eicosane. Οι συσκευές εξετάστηκαν σε σταθερή κατάσταση αλλά και σε κατάσταση φόρτισης και αποφόρτισης σε διάφορες τιμές ισχύος. Διαπιστώθηκε ότι η αύξηση της ηλεκτρικής ενέργειας αύξησε το ποσοστό τήξης PCM. Τα εσωτερικά πτερύγια συνέβαλαν επίσης στη μείωση της μέγιστης θερμοκρασίας της συσκευής. Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι η χρήση των PCM, βασισμένη στους sink θερμότητας ήταν ικανοποιητική για την ψύξη των κινητών τηλεφώνων τα οποία χρησιμοποιούνται όχι σε υπερβολικό βαθμό.

Τα κινητά τηλέφωνα αλλά και οι φορητοί υπολογιστές, είναι εργαλεία που χρησιμοποιούνται από πολλούς ανθρώπους στην καθημερινή τους ζωή. Για να ικανοποιηθούν οι ανάγκες των καταναλωτών, οι συσκευές αυτές παρουσίασαν ραγδαία αύξηση χρήσης πολυπλοκών εξαρτημάτων και χαρακτηριστικών. Για παράδειγμα, τα νέα κινητά τηλέφωνα δεν παρέχουν μόνο κλήσεις και υπηρεσία σύντομων γραπτών μηνυμάτων (SMS), αλλά επίσης μπορούν να χρησιμοποιηθούν ως φωτογραφικές μηχανές, συσκευές αναπαραγωγής μουσικής, video και web browsers. Αυτές οι επιπλέον λειτουργίες έχουν σαν αποτέλεσμα την αύξηση της κατανάλωσης ισχύος με ταυτόχρονη αύξηση θερμότητας.

Η πειραματική διάταξη έχει σχεδιαστεί για να προσομοιώσει τη λειτουργία ενός κινητού τηλεφώνου όταν πραγματοποιεί εξερχόμενες ή εισερχόμενες κλήσεις. Στην πρώτη περίπτωση έχουμε heat sink χωρίς pcm, στην δεύτερη περίπτωση έχουμε heat sink με pcm αλλά χωρίς πτερυγία, στην τρίτη περίπτωση έχουμε heat sink με pcm και 3 πτερυγία και στην τεταρτη και τελευταία περίπτωση έχουμε heat sink με pcm και 6 πτερυγία. Επίσης το πάχος του συνόλου των εσωτερικών πτερυγίων είναι 2 mm και οι εξωτερικοί τοίχοι έχουν 7 χιλιοστά πάχος. Σε όλες τις περιπτώσεις τα heat sink είναι κατασκευασμένα από αλουμίνιο T-6061. Οι διαστάσεις των διαφόρων heat sink αναφέρονται παρακάτω.



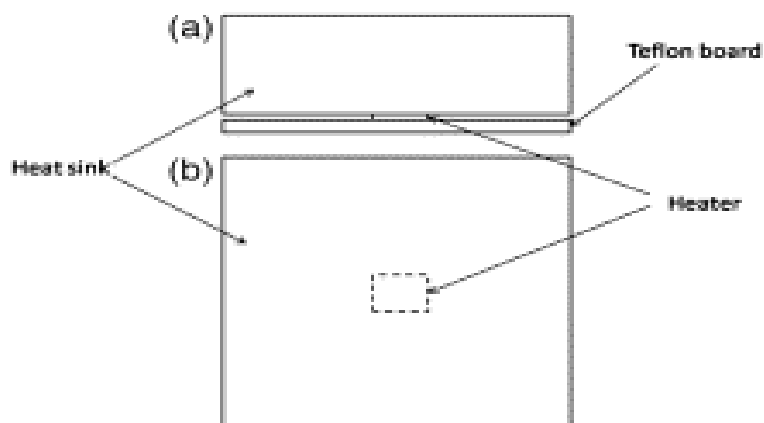
ΕΙΚΟΝΑ 4.9.18.1: Α) HEAT SINK ΧΩΡΙΣ PCM, Β) HEAT SINK ΜΕ PCM ΑΛΛΑ ΧΩΡΙΣ ΠΤΕΡΥΓΙΑ, Γ) HEAT SINK ΜΕ PCM ΚΑΙ 3 ΠΤΕΡΥΓΙΑ ΚΑΙ Δ) HEAT SINK ΜΕ PCM ΚΑΙ 6 ΠΤΕΡΥΓΙΑ

ΠΙΝΑΚΑΣ 4.9.18.1:ΟΙ ΔΙΑΣΤΑΣΕΙΣ ΤΩΝ HEAT SINKS

HEAT SINKS	ΔΙΑΣΤΑΣΕΙΣ (L*B*H)mm
Περίπτωση Α (χωρίς pcm)	85*72*21
Περίπτωση Β (με pcm αλλά όχι πτερυγία)	85*72*21
Περίπτωση Γ (με pcm και 3 πτερυγία)	91*72*21
Περίπτωση Δ (με pcm και 6 πτερυγία)	91*72*21

Το PCM που επιλέχτηκε είναι το n-eicosane με θερμοκρασία τήξης στους 36.5οC. Το n-eicosane θα παραμείνει σε στερεά κατάσταση στην θερμοκρασία του δωματίου και κατά την λειτουργία του κινητού τηλεφώνου θα αρχίσει η διαδικασία τήξης. Το pcm που επιλέξαμε (n-eicosane) έχει υψηλή λανθάνουσα θερμότητα τήξης ,δηλαδή 247.300J/kg. Ο όγκος του υλικού αλλαγής φάσης σε όλα τα heat sinks διατηρήθηκε σταθερός στα 44.000 mm³. Με τις ρυθμίσεις αυτές, το θερμικά αυτά συστήματα θα πρέπει να είναι σε θέση να απορροφούν τη θερμότητα που παράγεται από το κινητό τηλέφωνο κάτω από όλες τις συνθήκες χρήσης.

Ένα thermofoil heater (Minco HK5565R10.0L12B) 6,35 χιλιοστών ήταν επισυναπόμενο κάτω από κάθε heat sink. Το μέγεθος του "θερμοσίφωνα" ήταν παρόμοιο με την περιοχή εστίασης της πηγής θερμότητας των περισσότερων κινητών τηλεφώνων. Η μέγιστη επιτρεπτή ένταση ρεύματος για το θερμαντικό σώμα είναι 3 A. Ειδική μέριμνα ελήφθη για να διασφαλιστεί ότι η θερμάστρα (heater) και το heat sink ήταν σε πλήρη επαφή. Παγιδευμένος αέρας μεταξύ τους θα εμποδίζουν τη μεταφορά θερμότητας και μπορεί να προκαλέσει θερμά σημεία.



ΕΙΚΟΝΑ 4.9.18.2 : THERMOFOIL HEATER

4.9.19.Εφαρμογες σε κτίρια

◆ 4.9.19.1.Δομικά υλικά

Η ικανότητα αποθήκευσης θερμότητας στην πέτρα είχε παρατηρηθεί από τους αρχαίους χρόνους και είχε αξιοποιηθεί στην κατασκευή κατοικιών. Η χρήση όμως υλικών που αποθηκεύουν ενέργεια με τη μορφή αισθητής θερμότητας, παρουσιάζει συγκεκριμένα προβλήματα όπως για παράδειγμα την υπερβολική ποσότητα υλικού που απαιτείται, καθώς επίσης και τις μεγάλες διακυμάνσεις στο θερμοκρασιακό εύρος στο οποίο κυμαίνεται η θερμοκρασία του υλικού αποθήκευσης.

ΠΙΝΑΚΑΣ 4.9.19.1.1:ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ ΔΟΜΙΚΩΝ ΥΛΙΚΩΝ ΓΙΑ ΠΕΤΡΑ,ΝΕΡΟ ΚΑΙ ΤΥΠΙΚΑ PCM

<i>Ιδιότητα</i>	<i>Πέτρα</i>	<i>Νερό</i>	<i>Οργανικό ΥΑΦ</i>	<i>Ανόργανο ΥΑΦ</i>
<i>Πυκνότητα (kg/m³)</i>	<i>2240</i>	<i>1000</i>	<i>800</i>	<i>1600</i>
<i>Ειδική Θερμοχωρητικότητα (kJ/kg)</i>	<i>1.0</i>	<i>4.2</i>	<i>2.0</i>	<i>2.0</i>
<i>Λανθάνουσα Θερμότητα (kJ/kg)</i>	<i>---</i>	<i>333</i>	<i>190</i>	<i>230</i>
<i>Λανθάνουσα Θερμότητα (kJ/m³)</i>	<i>---</i>	<i>33</i>	<i>152</i>	<i>368</i>
<i>Μάζα Υλικού για 1MJ (kg)</i>	<i>67000</i>	<i>16000</i>	<i>5300</i>	<i>4350</i>
<i>Όγκος Υλικού για 1MJ (m³)</i>	<i>30</i>	<i>16</i>	<i>6.6</i>	<i>2.7</i>
<i>Σχετική Μάζα Υλικού</i>	<i>15</i>	<i>4</i>	<i>1.25</i>	<i>1.0</i>
<i>Σχετικός Όγκος Υλικού</i>	<i>11</i>	<i>6</i>	<i>2.5</i>	<i>1.0</i>

Τα δομικά υλικά τα οποία χρησιμοποιούνται σήμερα στα κτίρια παραμένουν στη στερεή κατάσταση σε ολόκληρο το εύρος θερμοκρασιών χρήσης τους. Ομοίως συμπεριφέρονται και τα κλασσικά δομικά υλικά τα οποία ως χαρακτηριστικό έχουν την αντίσταση που προβάλλουν στη διαμέσου τους ροή της θερμότητας. Αντίθετα με αυτή την προσέγγιση μόνωσης των κτιρίων θα μπορούσαν να χρησιμοποιηθούν υλικά που αποθηκεύουν τη θερμότητα που εισέρχεται στο κτίριο από το κέλυφός του κατά την περίοδο του θέρους, ώστε να μην αυξηθεί η θερμοκρασία των χώρων, ή να αποθηκεύουν τη θερμότητα που προσπίπτει στο κτίριο υπό τη μορφή ηλιακής ακτινοβολίας ώστε να μην υπάρχουν απώλειες θερμότητας κατά το χειμώνα.

Για χρήση στις κατασκευές τα ΥΑΦ πρέπει να έχουν σημείο τήξης λίγο μεγαλύτερο της θερμοκρασίας δωματίου, ώστε σε συνήθεις συνθήκες δωματίου να είναι στερεό. Κάθε αλλαγή θερμοκρασίας προκαλεί τήξη του υλικού, οπότε και απορρόφηση θερμότητας από το περιβάλλον. Πτώση της θερμοκρασίας θα έχει ως αποτέλεσμα απελευθέρωση ενέργειας ξανά προς τον περιβάλλοντα αέρα.

Η βασική ιδέα των συστημάτων αποθήκευσης ως μέσα εξοικονόμησης ενέργειας είναι η μετατόπιση των μέγιστων της ενεργειακής ζήτησης της εγκατάστασης σε ώρες μη αιχμής, ή η εξομάλυνση της καμπύλης ενεργειακής ζήτησης της εγκατάστασης ώστε να μην παρουσιάζονται σημεία αιχμής κατά την 24ωρή λειτουργία της, άρα μικρότερα θερμικά και ψυκτικά φορτία.

Έρευνες και εφαρμογές που έχουν γίνει και γίνονται αποδεικνύουν ότι δομικά υλικά τα οποία έχουν εμπλουτιστεί με ΥΑΦ καθώς και εγκαταστάσεις που περικλείουν ΥΑΦ μπορούν να αποθηκεύσουν 5-14 φορές περισσότερη ενέργεια ανά μονάδα όγκου από τα συμβατικά δομικά υλικά.

Η εφαρμογή των ΥΑΦ στην τοιχοποιία μπορεί να γίνει είτε με χρήση των ΥΑΦ αυτούσιων (σαν στρώμα υλικού μέσα στα υλικά του τοίχου), ή σαν συστατικό σύνθετων υλικών με βάση το τσιμέντο ή το γύψο (γυψοσανίδες ή σοβάς με ΥΑΦ). Η χρήση των ΥΑΦ σε γυψοσανίδα συνήθως γίνεται σε αναλογία 20-30% κατά βάρος. Ειδικά για τη χρησιμοποίηση οργανικών ΥΑΦ η χρήση τους σε συνδυασμό με μη αναφλέξιμα και πυρασφαλή υλικά εξασφαλίζει εν μέρει την μη αναφλεξιμότητα του τελικού προϊόντος. Η ενσωμάτωση των ΥΑΦ σε τσιμέντο ή γύψο εξασφαλίζει σε ικανοποιητικό βαθμό τη συγκράτηση του υλικού ακόμη και μετά την πλήρη υγροποίησή του, καθώς και την μη πρόσληψη υγρασίας από τον αέρα του περιβάλλοντος. Σε πολλές περιπτώσεις πριν την ενσωμάτωση του ΥΑΦ (πχ λιπαρά οξέα, ένυδρα άλατα) σε κάποιο δομικό υλικό είναι απαραίτητη η προσθήκη κάποιου

καλύμματος στο ΥΑΦ. Για την κατηγορία των παραφινών πειραματικές μελέτες απέδειξαν τη συμβατότητά τους με το τσιμέντο ή το γύψο και γι' αυτό το λόγο έχουν χρησιμοποιηθεί δομικά υλικά εμποτισμένα με παραφίνες.

Το πλέον προσιτό δείγμα χρήσης των ΥΑΦ ώστε να γίνει κατανοητή η λειτουργία τους είναι στην τοιχοποιία. Κατά τη θερινή περίοδο η θερμότητα από το περιβάλλον εισέρχεται στο κέλυφος του κτιρίου διαπερνώντας τα στρώματα των δομικών υλικών και αντιμετωπίζει τη θερμική αντίσταση της μόνωσης. Σε κοινή κατασκευή τοιχοποιίας όση θερμότητα διαπεράσει το στρώμα της μόνωσης θα εισέλθει στον εσωτερικό χώρο. Στην περίπτωση τοιχοποιίας με ΥΑΦ αυτή η θερμότητα δεν θα εισέλθει στο χώρο, καθώς θα αποθηκευτεί στο στρώμα του ΥΑΦ.

Στην χειμερινή περίοδο, ο αέρας του εσωτερικού χώρου έχει μεγαλύτερη θερμοκρασία από το εξωτερικό περιβάλλον. Αντίστοιχα λοιπόν, η στρώση ΥΑΦ αποθηκεύει όση θερμότητα έχει διαφύγει από τα στρώματα του τούβλου, του σοβά και της μόνωσης.

Η εμπορική περιοχή των υλικών αλλαγής φάσης είναι γεμάτη από παραδείγματα εταιριών και οργανισμών οι οποίοι αποφάσισαν να ασχοληθούν με τα ΥΑΦ, ανέπτυξαν κάποια προϊόντα, τα διέθεσαν στο εμπόριο και για κάποιους λόγους τελικά οδηγήθηκαν στην οικονομική καταστροφή. Οι λόγοι είναι αρκετοί, άλλοι περισσότερο και άλλοι λιγότερο προφανείς, το ίδιο όμως σημαντικοί, όπως τελικά αποδείχθηκε, για τη βιωσιμότητα της επιχείρησης που τα αναπτύσσει. Αυτό σκιαγραφεί το πόσο λεπτομερή σχεδίαση και μελέτη προϋποθέτει ένα θερμικό σύστημα με ΥΑΦ. [53][54][55][56]

Οι βασικότεροι λόγοι εμπορικής αποτυχίας προϊόντων ΥΑΦ :

- Κακή επιλογή υλικού, συχνά περιλαμβάνοντας χημικά τα οποία δεν εμφάνιζαν ομοιόμορφη τήξη εξ ορισμού, οπότε εμφανιζόταν μεγάλη απώλεια αποθηκευτικής ικανότητας ύστερα από συγκεκριμένο αριθμό κύκλων λειτουργίας, οδηγώντας σε αποσύνθεση του υλικού.
- Κακή επιλογή μεθόδου ή και υλικού συσκευασίας του ΥΑΦ, οδηγώντας σε διαβρωτικά φαινόμενα και μειωμένα επίπεδα στεγανότητας.
- Κακός σχεδιασμός, γεγονός που οδηγούσε στην κατασκευή προϊόντων τα οποία ήταν ασύμβατα με τα δομικά υλικά ή με το όποιο σύστημα για το οποίο το αρχικό προϊόν προοριζόταν.

Κατά τα τελευταία 30 χρόνια, η τεχνολογία επέτρεψε τη δημιουργία και την ανάπτυξη μικροσυσκευασμένων ΥΑΦ σε κάψουλες, μορφή η οποία είναι ιδανική για τη χρήση σε συνεργασία με δομικά υλικά οποιασδήποτε μορφής. Πλέον η χρήση τέτοιων υλικών θεωρείται δεδομένη σε κτίρια τα οποία σχεδιάζονται να είναι υψηλής ενεργειακής απόδοσης και χαμηλής ενεργειακής κατανάλωσης.

Παρ' ότι η έρευνα γύρω από τα πλεονεκτήματα κάθε μορφής ακόμα συνεχίζεται, φαίνεται πως τα ένυδρα άλατα έχουν μεγαλύτερη θερμική αγωγιμότητα μαζί με μεγαλύτερη ικανότητα αποθήκευσης λανθάνουσας θερμότητας. Οι παραφίνες είναι επίσης εύφλεκτες, ενώ τα ένυδρα άλατα όχι. Κατά την τοποθέτηση τους σε τοίχους κτιρίων, δεν έχει παρατηρηθεί ότι τα ΥΑΦ εκλύουν βλαβερά αέρια, αλλά οι παραφίνες είναι σημαντικά τοξικότερες από τα ένυδρα άλατα. Οι πειραματικές ενδείξεις ύστερα από ενδελεχή εξέταση τείνουν να καταδείξουν την υπεροχή των ένυδρων αλάτων σε βάρος των παραφινών όσον αφορά στη χρηστικότητα τους ως υλικά αλλαγής φάσης.

◆ 4.9.19.2.Τοιχοποιία:

Παρότι έχουν διεξαχθεί αρκετές μελέτες γύρω από πειράματα με χρήση διαφόρων ΥΑΦ σε διαφορετικούς τύπους τοίχων, δεν έχει έως τώρα κανείς καταλήξει σε μία οικουμενική μέθοδο χρήσης των ΥΑΦ σε τοίχους, η οποία να παρέχει γενικές κατευθύνσεις χρήσης και εγκατάστασης, καθώς και τεχνικά-θερμικά μεγέθη και γενικές οδηγίες για την τελική επιλογή του είδους, της ποσότητας και του τρόπου εφαρμογής του ΥΑΦ σε τοίχο, με βάση τις εκάστοτε κλιματολογικές συνθήκες.

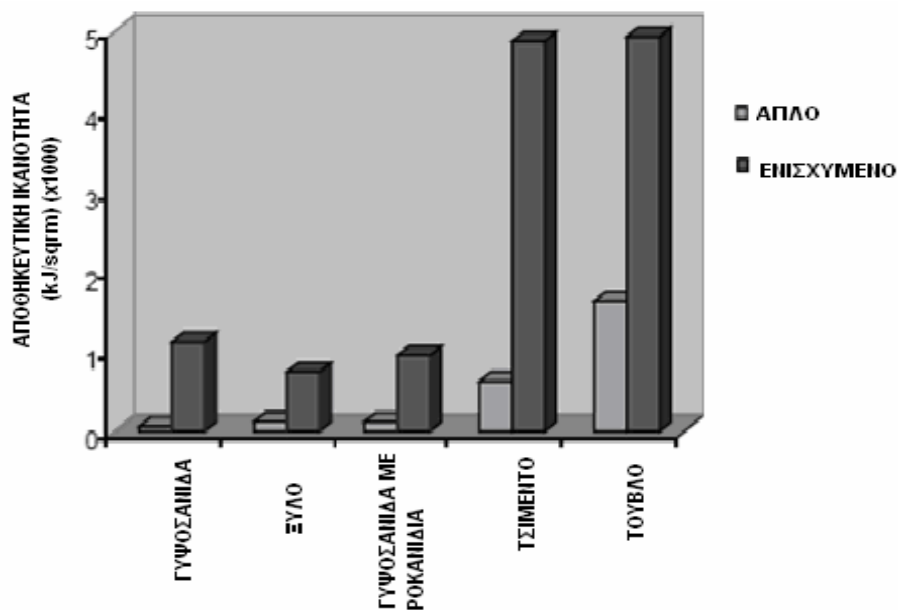
Είναι πολύ σημαντικό το γεγονός ότι η θερμοκρασία τήξης του ΥΑΦ καθορίζει τη βέλτιστη ικανότητα αποθήκευσης λανθάνουσας θερμότητας του τοίχου, κατά τη διάρκεια μίας ημέρας. Σύμφωνα με ερευνητικά αποτελέσματα αποδεικνύεται πως ο αποδοτικότερος τρόπος ρύθμισης του τοίχου, επιτυγχάνεται με επιλογή ΥΑΦ του οποίου η θερμοκρασία τήξης είναι πολύ κοντά με τη μέση ημερήσια θερμοκρασία του τοίχου και όχι του περιβάλλοντος.

Εξισώνοντας τη θερμοκρασία τήξης του ΥΑΦ με τη μέση ημερήσια του τοίχου μπορούμε να εκμεταλλευτούμε το μεγαλύτερο μέρος της αποθηκευτικής ικανότητας του ΥΑΦ, καθώς και να πετύχουμε την εξομάλυνση των θερμοκρασιακών διακυμάνσεων στον εσωτερικό χώρο. Αφού λοιπόν δύναται να υιοθετηθεί μία μόνο θερμοκρασία αλλαγής φάσης (χρήση ενός μόνο ΥΑΦ) αποδεικνύεται πως αυτή η θερμοκρασία θα πρέπει να κυμαίνεται γύρω από τη συνολική μέση θερμοκρασία του τοίχου, δηλαδή τη μέση τιμή της ημερήσιας θερμοκρασίας και την μέση τιμή της συνάρτησης της θερμοκρασίας του τοίχου σε σχέση με το πάχος του.[57][58]

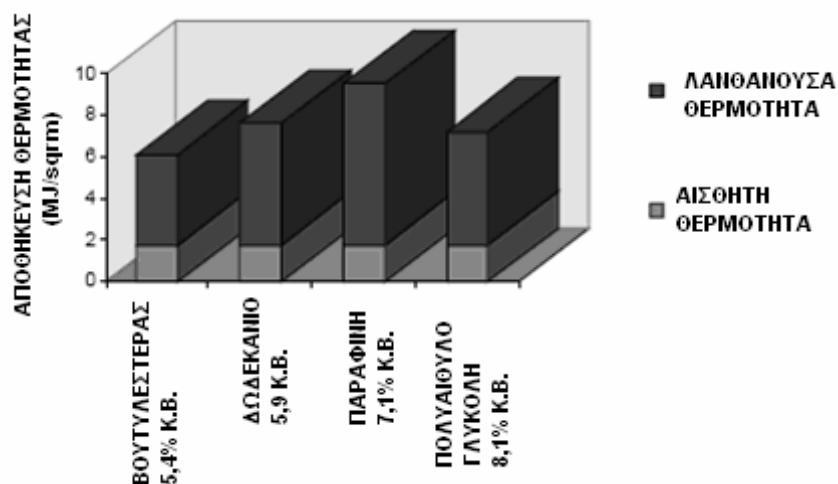
Για παράδειγμα ο αποδοτικός σχεδιασμός ενός νότιου εξωτερικού τοίχου ο οποίος χρησιμοποιείται για απορρόφηση ενέργειας ώστε να δύναται να παρέχει μία καθυστέρηση στο φαινόμενο μεταφοράς της θερμότητας της τάξης των 10 ωρών, απαιτεί παχύ στρώμα τσιμέντου 12-16in (31-41cm). Αυτός ο όγκος περιορίζει την ευελιξία του κατασκευαστή σε θέματα κάτοψης και γενικότερου σχεδιασμού εσωτερικού ή εξωτερικού και δεν συμβαδίζει με την ελαφρού τύπου κατασκευή που υιοθετείται στις κατοικίες τα τελευταία

χρόνια. Επίσης, αφού η θερμότητα σε τέτοιες εφαρμογές αποθηκεύεται υπό μορφή αισθητής, βάσει της θερμοχωρητικότητας των υλικών του τοίχου, μπορεί πολύ εύκολα να παρατηρηθεί το φαινόμενο της υπερθέρμανσης του χώρου, φαινόμενο το οποίο αντιτίθεται στη λεγόμενη ανθρώπινη θερμική άνεση και ως εκ τούτου ελαττώνει δραματικά τη χρηστικότητα του μελετούμενου χώρου.

Τα συστήματα αποθήκευσης λανθάνουσας θερμότητας μπορούν να χρησιμοποιηθούν για να αντιμετωπιστούν τα προβλήματα αυτά που προκύπτουν από τις κλασσικές εγκαταστάσεις των παθητικών ηλιακών συστημάτων. Σε συστήματα λανθάνουσα θερμότητας, χρησιμοποιείται ένα ΥΑΦ για να απορροφά ή να αποβάλλει αντίστοιχα, σημαντικό ποσό θερμότητας κατά τις μεταβάσεις φάσεων στις οποίες αυτό υποβάλλεται, ενώ η θερμοκρασία του παραμένει πρακτικά σταθερή. Η αποθηκευτική ικανότητα των κλασσικών οργανικών ΥΑΦ (παραφίνες, λιπαρά οξέα) είναι συνήθως μία τάξη μεγέθους μεγαλύτερη από την αντίστοιχη ικανότητα των παραδοσιακών δομικών υλικών (τσιμέντο, πέτρα, τούβλο, ξύλο, κλπ), αναφορικά πάντα με την ίδια ποσότητα μάζας. Επομένως η ίδια αποθηκευτική ικανότητα επιτυγχάνεται με πολύ λιγότερη μάζα.[59][60]



ΕΙΚΟΝΑ 4.9.19.2.1: ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΤΗΣ ΑΠΟΘΗΚΕΥΤΙΚΗΣ ΙΚΑΝΟΤΗΤΑΣ ΑΠΛΗΣ ΚΑΙ ΕΝΙΣΧΥΜΕΝΗΣ ΕΚΔΟΧΗΣ ΚΛΑΣΣΙΚΩΝ ΔΟΜΙΚΩΝ ΥΛΙΚΩΝ.



ΕΙΚΟΝΑ 4.9.19.2.2: ΑΠΟΘΗΚΕΥΤΙΚΗ ΙΚΑΝΟΤΗΤΑ ΤΥΠΙΚΟΥ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ ΕΝΙΣΧΥΜΕΝΟΥ ΜΕ ΔΙΑΦΟΡΕΤΙΚΟ ΥΑΦ ΑΝΑ ΠΕΡΙΠΤΩΣΗ

Όπως αποδεικνύεται, είναι δυνατή η σημαντική μείωση του πάχους του τοίχου, με συγκριτικά παρόμοιες θερμικές ιδιότητες, με τη χρήση παραφίνης σε τυπικό τοίχο Trombe. Αυτό ανοίγει νέους ορίζοντες στη χρήση ΥΑΦ σε ελαφρές κατασκευές με παθητικά ηλιακά συστήματα. Η χρήση ΥΑΦ με κατάλληλο σημείο τήξης εξομαλύνει τις θερμοκρασιακές διακυμάνσεις στο εσωτερικό του χώρου, ελαττώνει την πιθανότητα εμφάνισης υπερθέρμανσης στον εσωτερικό χώρο και γενικότερα ενισχύει την αίσθηση θερμικής άνεσης στο εσωτερικό.

Ακόμα, η πρακτικά σταθερή θερμοκρασία που επιτυγχάνεται στο εσωτερικό του κτιρίου, ελαττώνει την πιθανότητα εμφάνισης υψηλού θερμικού φορτίου θέρμανσης ή ψύξης, κάτι που έχει σαν αποτέλεσμα τη χρήση μικρότερων θερμαντικών και κλιματιστικών σωμάτων, που ως γνωστό λειτουργούν με καλύτερο βαθμό απόδοσης συγκριτικά με τις μεγαλύτερες μονάδες.

Τις τελευταίες δεκαετίες υπήρξαν αρκετές μελέτες που κατέδειξαν τα οφέλη από τη χρήση ΥΑΦ σε κτίρια. Οι μελέτες αυτές περιλαμβάνουν παραδείγματα ενσωμάτωσης τέτοιων υλικών στα παραδοσιακά δομικά υλικά, όπως γυψοσανίδες και μπλοκ τσιμέντου (τσιμεντόλιθοι), για εξοικονόμηση ενέργειας και ενίσχυση της αίσθησης θερμικής άνεσης. Εξετάστηκαν υλικά όπως λιπαρά οξέα, οκταδεκάνιο και συγκεκριμένοι τύποι παραφίνης με σημεία τήξης κοντά στη θερμοκρασία δωματίου.

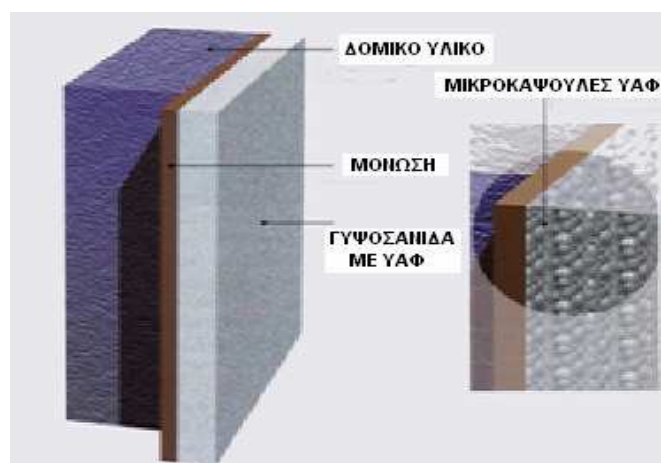
Η χρήση ΥΑΦ σε γυψοσανίδες μπορεί να καταλήξει σε απόσβεση επένδυσης λόγω οικονομίας στην κατανάλωση ενέργειας μέσα σε τρία με πέντε χρόνια. Ακόμα και αν υπάρχουν αρκετές επιβεβαιωμένες επιτυχίες προσπάθειες, υπάρχει ακόμα ανάγκη κατάληξης σε ένα οικουμενικό μοντέλο

μελέτης και εφαρμογής ΥΑΦ στα δομικά υλικά ικανό να εφαρμοστεί και να δώσει αξιόπιστα αποτελέσματα- συμπεράσματα σε πραγματικές μικρότερης ή μεγαλύτερης κλίμακας εφαρμογές.

Η αποτελεσματικότητα μιας τέτοιας προσπάθειας εξαρτάται από τις κλιματολογικές συνθήκες της εκάστοτε περιοχής, από τα χαρακτηριστικά του φορτίου του εξεταζόμενου χώρου και τις θερμοδυναμικές ιδιότητες του επιλεγμένου ΥΑΦ. Αριθμός μελετών ασχολήθηκε με διαφορετικές κλιματολογικές συνθήκες και κατέληξαν στο συμπέρασμα πως για κάθε δεδομένη εφαρμογή με γνωστά κλιματολογικά μεγέθη καθώς και γνωστές πληροφορίες γύρω από το προφίλ του φορτίου, η επιτυχία του συστήματος βασίζεται στο μεγαλύτερο βαθμό της στην επιλογή του σημείου τήξης του ΥΑΦ.

Η εύρεση του κατάλληλου σημείου τήξης είναι μία πρόκληση για κάθε τέτοια εφαρμογή. Προτείνεται γενικά ότι η ημερήσια αποθηκευόμενη ενέργεια από ένα ΥΑΦ μεγιστοποιείται όταν το σημείο τήξης του είναι κοντά στη μέση ημερήσια θερμοκρασία που αναπτύσσεται στο χώρο.[57][58][59][60]

Διάφορα ΥΑΦ, συνήθως κάποια παραφίνη μπορούν να προστεθούν σε γυψοσανίδα ή σοβά ή κάποιο άλλο επενδυτικό υλικό τοιχοποιίας, δημιουργώντας ένα είδος δομικού υλικού που λειτουργεί σαν αποθηκευτικό υλικό. Το ΥΑΦ στερεοποιείται ελευθερώνοντας θερμότητα όταν είναι διαθέσιμες ψυκτικές πηγές, και υγροποιείται απορροφώντας θερμότητα όταν απαιτείται ψύξη. Τα ΥΑΦ προσφέρουν σημαντική αλλαγή στη θερμοχωρητικότητα μιας εγκατάστασης και για καθαρές ουσίες ελευθερώνουν την αποθηκευμένη θερμότητα με σχεδόν μηδενική αλλαγή στη θερμοκρασία τους.



ΕΙΚΟΝΑ 4.9.19.2.3: ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΕΝΙΣΧΥΜΕΝΗΣ ΓΥΨΟΣΑΝΙΔΑΣ ΣΕ ΤΟΙΧΟ

Τα ΥΑΦ επιτρέπουν στην αποθήκευση θερμότητας να γίνει μέρος των κτιρίων, επιτρέποντας σημαντική αποθήκευση θερμότητας χωρίς αλλαγή θερμοκρασίας δωματίου. Ακριβώς επειδή η θερμότητα αποθηκεύεται μέσα στο κτίριο, εκεί όπου λαμβάνουν χώρα και υπολογίζονται τα φορτία, και όχι εξωτερικά, δεν απαιτείται επιπλέον μεταφορά ενέργειας.

Η αυξημένη αποθηκευτική ικανότητα της ενισχυμένης γυψοσανίδας, μπορεί να διατηρήσει τη θερμοκρασία δωματίου κοντά στο ανώτατο όριο ανθρώπινης θερμικής άνεσης, χωρίς μηχανικό σύστημα κλιματισμού. Σε περιοχές όπου λόγω κλίματος, κατά τη διάρκεια της ημέρας έχουμε μεγάλες θερμοκρασιακές διακυμάνσεις, μπορεί να χρησιμοποιηθεί σύστημα εξαερισμού κατά τη διάρκεια της νύχτας για να απομακρύνει την αποθηκευμένη θερμότητα από τη γυψοσανίδα.

Αναγνωρίστηκαν αμέσως οι προοπτικές εφαρμογής μιας τέτοιας μεθόδου καθώς επίσης και τα πιθανά οφέλη από κάτι τέτοιο, αφού πλέον στις ΗΠΑ μόνο κατασκευάζονται πάνω από 7 δισεκατομμύρια τετραγωνικά μέτρα γυψοσανίδας ετησίως. Επίσης αναγνωρίστηκαν οι ικανότητες μιας τέτοιας εφαρμογής στο να ελαττώνει τις θερμοκρασιακές διακυμάνσεις εντός του χώρου και βέβαια να ενισχύει τη θερμική άνεση.

Ακολούθησαν άλλα ερευνητικά προγράμματα τα οποία πειραματίστηκαν με τη θερμοκρασία τήξης, το υλικό και τις μεθόδους μικροσυσκευασίας, καθώς και την επίδραση του υλικού στη γυψοσανίδα στους τομείς της δομικής αντοχής, εξωτερικής επιφάνειας, ασφάλειας και λειτουργικότητας.

Οι ερευνητές κατέληξαν σε δύο κύριους τρόπους συνδυασμού της κλασσικής γυψοσανίδας με ΥΑΦ:

Η πρώτη μέθοδος, αποτελεσματική αν και κάπως πρωτόγονη, υπαγορεύει τη βύθιση της έτοιμης γυψοσανίδας σε λεκάνη με υγρό ΥΑΦ (συνήθως παραφίνη), ώστε το πορώδες υλικό της γυψοσανίδας να απορροφήσει το ΥΑΦ [61][62][63]. Από πειράματα προέκυψε πως μία τυπική δομή γυψοσανίδας μπορεί να απορροφήσει περίπου 30% του βάρους της σε λιγότερο από 10 λεπτά.

Η δεύτερη μέθοδος περιλαμβάνει τη μικροσυσκευασία του ΥΑΦ σε κάψουλες σφαιρικής μορφής διαμέτρου 3μm. Τα σφαιρίδια είναι από HDPE και έχουν σκοπό να συγκρατούν το ΥΑΦ όταν αυτό βρίσκεται στην υγρή φάση. Τα σφαιρίδια ανακατεύονται με την πρώτη ύλη της γυψοσανίδας κατά το στάδιο της κατασκευής και διαμόρφωσης της τελευταίας.

Μερίδα ερευνών επίσης επικεντρώθηκε στη μελέτη αναφλεξιμότητας του τελικού προϊόντος. ,οκιμές απέδειξαν ότι ο περιορισμός του κατά βάρους ποσοστού του προστιθέμενου ΥΑΦ στο 15 με 20% καθώς επίσης και η επίστρωση της γυψοσανίδας με πυροπροστατευτικό υλικό, ελαχιστοποιεί τον κίνδυνο ανάφλεξης της γυψοσανίδας, πράγμα ούτως ή άλλως ελάχιστα

πιθανό, κυρίως λόγω της χαμηλής τάσης ατμών των παραφινούχων ουσιών. [64][65]

Τα ΥΑΦ μπορούν να γίνουν ενεργό κομμάτι της οικοδομής όχι μόνο σε κατοικίες αλλά σε όλα τα κτίρια γενικότερα, με την ευρεία χρήση τους στα δομικά υλικά. Μπορούν να παρέξουν σταθερές εσωτερικές συνθήκες χωρίς μηχανική κλιματιστική υποβοήθηση σε πολλές περιπτώσεις κτιρίων με έντονη δραστηριότητα, αλλά κυρίως με έντονες διακυμάνσεις στη θερμοκρασία του χώρου:

- Αίθουσες διδασκαλίας, αμφιθέατρα, αίθουσες συνεδριάσεων
- Κέντρα διασκέδασης, εστιατόρια, αίθουσες χορού, αίθουσες κινηματογράφου
- Αθλητικές αίθουσες, κλειστά γήπεδα ή στάδια
- Γραφεία

Η χρήση τους είναι τόσο αποτελεσματική, που με λίγο πιο προσεκτική μελέτη θα μπορούσαν να χρησιμοποιηθούν σε χώρους όπου η διατήρηση της εσωτερικής θερμοκρασίας είναι ιδιαίτερα σημαντική, όπως:

- Αποθήκες φαρμάκων ή άλλων χημικών
- Αποθήκες τροφίμων των οποίων η διατήρηση απαιτεί θερμοκρασίες σταθερά χαμηλότερες από ένα συγκεκριμένο όριο.
- Αίθουσες ηλεκτρονικών υπολογιστών ή άλλου ευαίσθητου (και συνήθως ακριβού) ηλεκτρονικού εξοπλισμού.
- Αίθουσες νοσοκομείων, χειρουργεία



ΕΙΚΟΝΑ 4.9.19.2.4: ΑΙΘΟΥΣΕΣ ΝΟΣΟΚΟΜΕΙΩΝ ΜΕ PCM

Οι τοίχοι με μόνωση που περιέχει ΥΑΦ έχουν συγκεκριμένα πλεονεκτήματα σε σχέση με τις συμβατικές μεθόδους και τα αντίστοιχα υλικά μόνωσης στα συστήματα αποθήκευσης θερμικής ενέργειας. Επειδή η επιφάνεια που εκτίθεται είναι μεγάλη και το ΥΑΦ απορροφά θερμότητα σε ένα μικρό μόλις θερμοκρασιακό εύρος, πρέπει το τμήμα που περιέχει το ΥΑΦ να μην έρχεται σε άμεση επαφή με την ηλιακή ακτινοβολία. Η μόνωση με ΥΑΦ έχει πολύ μεγαλύτερη δυνατότητα αποθήκευσης θερμικής ενέργειας σε σχέση με τα συμβατικά είδη μόνωσης και προσφέρει εξαιρετική μετάδοση θερμότητας. ,ενέχει ιδιαιτερότητες ως προς την εγκατάστασή του, οπότε και το όποιο επιπλέον κόστος εγκατάστασης είναι πολύ μικρό.

Παρ' όλ' αυτά υπάρχουν και μερικά μειονεκτήματα, όπως η ιδιαιτερότητα σχεδιασμού για κάθε ξεχωριστό κλίμα, ένα σημείο τήξης μπορεί να εξυπηρετεί άριστα ένα κλίμα, αλλά το πιθανότερο είναι ότι δεν εξυπηρετεί καθόλου όλα τα άλλα.

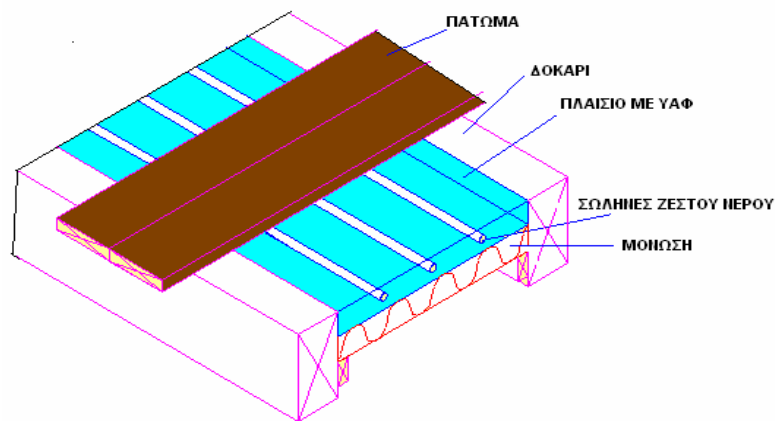
Όπως είναι εύκολα κατανοητό, η εύρεση της κατάλληλης θερμοκρασίας είναι διπλά (κυριολεκτικά) δύσκολο πρόβλημα όταν μιλάμε για κλίματα με ανάγκη και για ψυκτικές και για θερμαντικές συσκευές. Οι κατασκευαστές δεν είναι διατεθειμένοι να περιπλέξουν την παραγωγική τους διαδικασία, ώστε να λάβουν υπ' όψη τις κλιματολογικές ιδιαιτερότητες. Η διαδικασία κατά την οποία η εμφάνιση της γυψοσανίδας γίνεται στον τόπο τοποθέτησής της, ενδέχεται να χωλαίνει από πλευράς ελέγχου τελικής ποιότητας. Άλλα σημεία που ενδεχομένως χρίζουν μνείας ή προσοχής, είναι η εμφάνιση επιφανειακών ασταθών ατελειών ("blooming"), βραδυφλεγία, διάβρωση μετάλλων, οσμή, και τα «παραδοσιακά» θέματα σε τέτοιου είδους εφαρμογές, όπως για παράδειγμα η ικανότητα της μπογιάς να συγκρατείται επί του τοίχου (της γυψοσανίδας).

Υπάρχουν σπουδαίες προοπτικές για την επικράτηση των γυψοσανίδων με ΥΑΦ. [66]Παρ' όλ' αυτά υπάρχουν ακόμα αρκετές τεχνικές και διάφορα θέματα τα οποία πρέπει να τεθούν υπό εξέταση, προτού οι γυψοσανίδες με ΥΑΦ μπου σε γραμμή παραγωγής και γίνουν κοινώς αποδεκτές σαν προϊόν.

♦ 4.9.19.3.Συστήματα ενδοδαπέδιας θέρμανσης με ΥΑΦ

Σήμερα η ενδοδαπέδια θέρμανση παρουσιάζει το μεγάλο πλεονέκτημα της ομοιόμορφης θερμικής άνεσης σε ολόκληρο το χώρο που θερμαίνεται, για ένα φάσμα θερμοκρασιών περίπου 25-28°C. Το περιβάλλον που διαμορφώνει η ενδοδαπέδια θέρμανση είναι πολύ φιλικό προς τον άνθρωπο, το ίδιο το σύστημα δεν παρουσιάζει προβλήματα ή κινδύνους για τους χρήστες και επίσης δεν παρεμβαίνει στην αισθητική του χώρου, κάτι που καθιστά την εφαρμογή κατάλληλη για οποιουδήποτε είδους εσωτερικό χώρο.

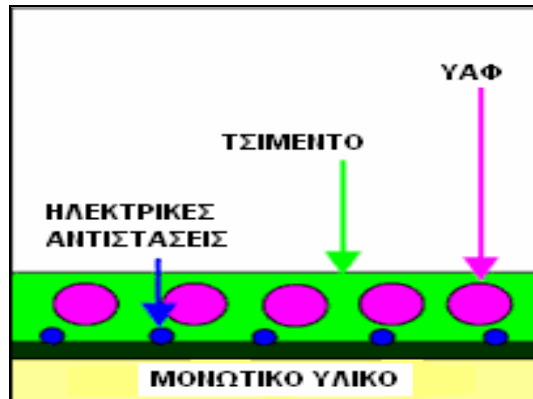
Η ενδοδαπέδια θέρμανση μπορεί να εφαρμοστεί με τα συστήματα ύδατος (θερμά-υγρά) και με τα ηλεκτρικά συστήματα (ξηρά). Στα συστήματα ύδατος, το νερό θερμαίνεται κυρίως με την καύση πετρελαίου ή φυσικού αερίου. Συνεπώς η εφαρμογή των ΥΑΦ δεν προσφέρει κάποιο ιδιαίτερο πλεονέκτημα αν έχουμε σαν πρώτη ύλη συμβατικά καύσιμα. Αυτό δεν συμβαίνει και στην περίπτωση που η ενδοδαπέδια χρησιμοποιείται για να συνδυαστεί με κάποιο σύστημα που θα εκμεταλλεύεται κάποια διαφορετική πηγή ενέργειας, όπως η ηλιακή.



ΕΙΚΟΝΑ 4.9.19.3.1: ΔΙΑΤΑΞΗ ΥΓΡΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΕΝΔΟΔΑΠΕΔΙΑΣ ΘΕΡΜΑΝΣΗΣ

Η απορρόφηση της ηλιακής ακτινοβολίας, μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τη θέρμανση νερού. Αν για τη χρονική στιγμή που θερμαίνεται το νερό δεν υπάρχουν απαιτήσεις θέρμανσης του χώρου ή/και ζεστού νερού χρήσης, τότε η θερμική ενέργεια θα πρέπει να αποθηκευτεί. Η αποθήκευση αυτή μπορεί να γίνει στο ΥΑΦ που βρίσκεται στο δάπεδο, αφού προορίζεται για τη θέρμανση του χώρου. Η φόρτιση του ΥΑΦ εξασφαλίζει θερμότητα για μετέπειτα χρήση.

Από την άλλη πλευρά, τα ηλεκτρικά συστήματα, μπορούν να χρησιμοποιήσουν τα ΥΑΦ, εκμεταλλευόμενα το χαμηλό κόστος του ηλεκτρισμού στις ώρες μη αιχμής[67][68][69]. Στο σύστημα αυτό, χρησιμοποιούνται κυρίως σφαιρίδια ΥΑΦ που καλύπτουν τις ηλεκτρικές αντιστάσεις.



ΕΙΚΟΝΑ 4.9.19.3.2: ΔΙΑΤΑΞΗ ΞΗΡΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΕΝΔΟΔΑΠΕΔΙΑΣ ΘΕΡΜΑΝΣΗΣ

Η λειτουργία της εγκατάστασης, προορίζεται κυρίως για τις ώρες μη αιχμής, προσφέροντας θερμότητα από τις ηλεκτρικές αντιστάσεις. Τη θερμότητα αυτή πρώτα θα απορροφήσουν οι κόκκοι του ΥΑΦ που περιβάλλουν τις ηλεκτρικές αντιστάσεις. Η θερμότητα αυτή, αρχικά θα αποθηκευτεί με τη μορφή της αισθητής θερμότητας στο ΥΑΦ, μέχρι να φτάσει το σημείο τήξης του. Μια αντιπροσωπευτική τιμή για το σημείο τήξης των ΥΑΦ για τις εν λόγω εφαρμογές είναι οι 28⁰C. Μόλις το ΥΑΦ φτάσει το σημείο τήξης του, τότε αρχίζει να λιώνει, αποθηκεύοντας θερμική ενέργεια υπό μορφή λανθάνουσας θερμότητας. Πρακτικά, ένα μικρό ποσοστό από την παραγόμενη στις αντιστάσεις θερμότητα διαφεύγει από το ΥΑΦ και κατευθύνεται προς τη βάση του πατώματος, πριν ακόμα το ΥΑΦ αποκτήσει την ονομαστική λανθάνουσα θερμότητα. Η ροή θερμότητας προς την αντίθετη κατεύθυνση συναντά τη μεγάλη θερμική αντίσταση της θερμομόνωσης και είναι ανεπιθύμητη.

Η λειτουργία του συστήματος συνεχίζει φορτίζοντας τους κόκκους με τα ΥΑΦ μέχρι να αποθηκευτεί η μέγιστη λανθάνουσα θερμότητα στο σύστημα. Από εκείνη τη στιγμή και μετά, όλη η θερμότητα που παράγεται στις ηλεκτρικές αντιστάσεις κατευθύνεται στο χώρο, αφού έχει πρώτα αποθηκευτεί στη βάση του δαπέδου της κατασκευής. Η διαδικασία που αναλύθηκε παραπάνω εμφανίζει ως χρονική καθυστέρηση το χρονικό διάστημα από τη στιγμή που μπαίνει σε λειτουργία η εγκατάσταση θέρμανσης, μέχρι τη στιγμή που θα φορτιστεί πλήρως το ΥΑΦ. Αυτήν την χρονική καθυστέρηση πρέπει να εκμεταλλευτούμε για να επιτύχουμε μείωση του κόστους λειτουργίας της εγκατάστασης.

Όταν οι ηλεκτρικές αντιστάσεις σταματήσουν να λειτουργούν, το σύστημα συνεχίζει να λειτουργεί. Η θερμότητα που προσφέρεται στο χώρο από το σύστημα προέρχεται από την αποφόρτιση των κόκκων. Με άλλα λόγια το ΥΑΦ αρχίζει να αποφορτίζεται, προσφέροντας στο χώρο τη λανθάνουσα θερμότητα που είχε αποθηκεύσει από τις ηλεκτρικές αντιστάσεις. Το χρονικό

διάστημα που θα συνεχίσει να λειτουργεί το σύστημα μετά από τη διακοπή λειτουργίας των αντιστάσεων, είναι ο χρόνος αποφόρτισης του ΥΑΦ.

Σήμερα στην ενδοδαπέδια θέρμανση, χρησιμοποιείται ένα στρώμα από θερμομπετόν που καλύπτει τις ηλεκτρικές αντιστάσεις του συστήματος. Η καινοτομία στον τομέα των κατασκευών, έχει να κάνει με την αντικατάσταση του θερμομπετόν, από το στρώμα κόκκων του ΥΑΦ. Το κόστος των ΥΑΦ για την ενδοδαπέδια θέρμανση δεν είναι σημαντικό, καθώς τοποθετούνται παραφίνες (μικρό κόστος) χωρίς συσκευασία για να επιβαρύνει το κόστος. [67][68][69]

Τα αποτελέσματα από τη χρήση των ΥΑΦ κρίνονται ιδιαίτερα θετικά και η χρήση των καινοτομικών συστημάτων που περιλαμβάνουν τα ΥΑΦ φαίνεται να κερδίζει έδαφος στον κτιριακό τομέα, ιδίως έπειτα από την πολύ επιτυχημένη εφαρμογή των ΥΑΦ τοιχοποιία.

4.9.20.Εφαρμογές σε βιομηχανικές εγκαταστάσεις:

◆ 4.9.20.1.Κλιματιστικές εγκαταστάσεις

Η πλέον διαδεδομένη εφαρμογή είναι αυτή της μεγάλης κλίμακας κλιματιστικών εφαρμογών (μεγάλα κτίρια ή ολόκληρα συγκροτήματα εγκαταστάσεων) ή στα συστήματα κρύου νερού. Οι κλιματιστικές εγκαταστάσεις τέτοιου είδους κτιρίων είναι ιδιαίτερα σημαντικός παράγοντας για το φορτίο αιχμής, ιδίως τις ζεστές καλοκαιρινές ημέρες, όπου ούτως ή άλλως οι κλιματιστικές εγκαταστάσεις εκ κατασκευής αποδίδουν σε πολύ χαμηλά επίπεδα. Σε τέτοιες εγκαταστάσεις ένας σχετικά μικρός ψύκτης μπορεί να παράξει μία ποσότητα πάγου. Κατά τη διάρκεια της ημέρας το νερό κυκλοφορεί διαμέσου του πάγου με αποτέλεσμα να υπάρχει κρύο νερό, το οποίο υπό άλλες συνθήκες θα ήταν το φορτίο που θα καλείτο να καλύψει η κλιματιστική εγκατάσταση.

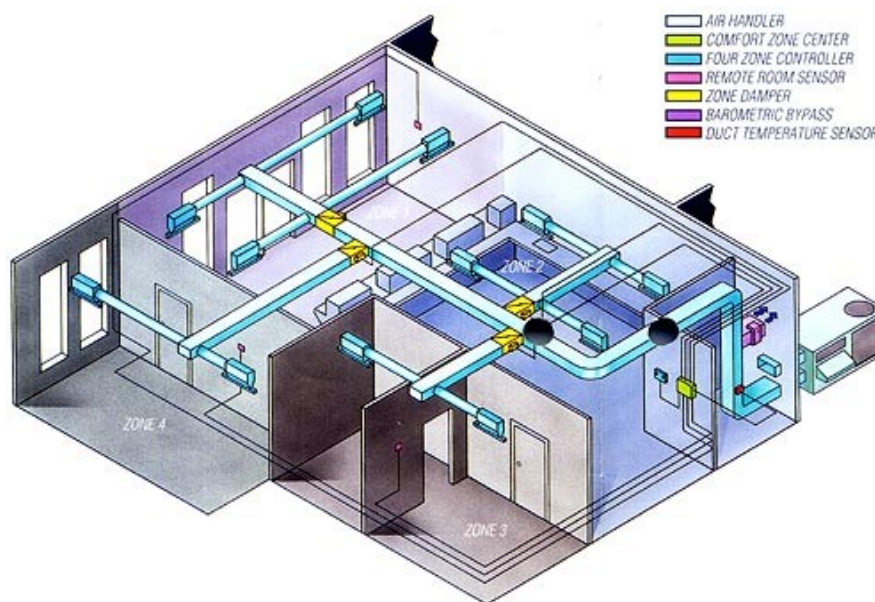
Ένα επιμέρους σύστημα αποθήκευσης ελαττώνει το κόστος της εγκατάστασης αν οι ψύκτες δουλεύουν επί 24ώρου βάσεως. Τη νύχτα παράγουν πάγο, ο οποίος κατά τη διάρκεια της ημέρας χρησιμοποιείται για να ψύξει το νερό ανακυκλοφορίας του κλιματιστικού συστήματος. Ένα τέτοιο σύστημα συνήθως λειτουργεί σε φάση δημιουργίας πάγου 16 με 18 ώρες την ημέρα και σε φάση ψύξης νερού περίπου 6. Το κόστος ελαττώνεται αφού πλέον οι ψύκτες χρειάζεται να έχουν το μισό μέγεθος από μία κλασσική εγκατάσταση.

Η απόδοση ψυκτών κλιματισμού μετράτε από τον συντελεστή συμπεριφοράς τους (COP). Θεωρητικά, τα συστήματα αποθήκευσης θερμικής ενέργειας μπορούν να έχουν ακόμα πιο αποδοτικούς ψύκτες επειδή η θερμότητα απορρίπτεται στον περισσότερο δροσερό νυχτερινό αέρα, παρά στον ζεστότερο ημερήσιο. Στην πράξη όμως αυτό το πλεονέκτημα

αντισταθμίζεται από τις θερμικές απώλειες κατά τη διαδικασία σχηματισμού και τήξης του πάγου.

Ακόμα μερικά πλεονεκτήματα αυτών των μεθόδων είναι ότι από τη στιγμή που υπάρχει εξοικονόμηση ενέργειας με τη χρήση αυτής της μεθόδου, εισάγεται λιγότερο καύσιμο από κάθε χώρα, καταναλώνεται λιγότερο καύσιμο γενικότερα και υπάρχουν σημαντικά ωφέλη ως προς την προστασία του περιβάλλοντος αφού όλα τα παραπάνω συνεπάγονται λιγότερη ρύπανση.

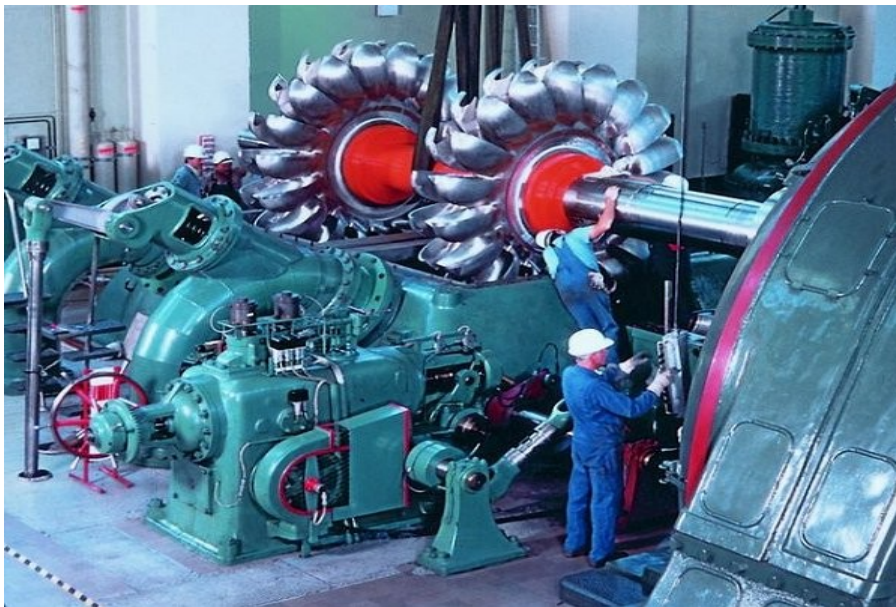
Μία νέα άποψη σε αυτές τις τεχνολογίες χρησιμοποιεί τον πάγο σαν συμπυκνωτικό για το ψυκτικό μέσο μιας διάταξης. Σε αυτή την περίπτωση, κλασσικό ψυκτικό μέσο εισάγεται σε σωλήνες όπου και χρησιμοποιείται. Αντί λοιπόν να υπάρχει χρήση μηχανικού συμπιεστή για την επαναφορά του ψυκτικού στην υγρή φάση, όπως συνηθίζεται, χρησιμοποιείται η χαμηλή θερμοκρασία του πάγου για να εκτελέσει αυτή τη διαδικασία [70][71]. Αυτή η μέθοδος επιτρέπει στα υπάρχοντα κλασσικά συστήματα κλιματισμού να μετατραπούν σε συστήματα αποθήκευσης, κάτι το οποίο ήταν δύσκολο να επιτευχθεί με την έως τώρα τεχνολογία συστημάτων κρύου νερού.



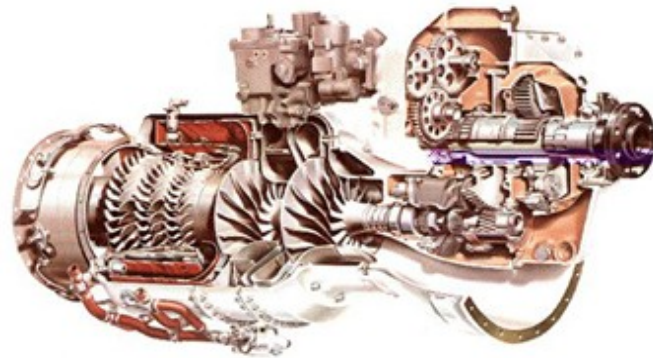
ΕΙΚΟΝΑ 4.9.20.1.1: ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΕΙΣ ΚΛΙΜΑΤΙΣΤΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΗΜΑΤΩΝ ΜΕ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΑΕΡΑΓΩΓΩΝ ΚΛΙΜΑΤΙΣΜΟΥ ΚΑΙ ΕΞΑΕΡΙΣΜΟΥ ΣΕ ΚΤΙΡΙΑ ΓΡΑΦΕΙΩΝ, ΚΑΤΑΣΤΗΜΑΤΑ, ΧΩΡΟΥΣ ΣΥΝΑΘΡΟΙΣΕΩΣ ΚΟΙΝΟΥ, ΤΡΑΠΕΖΕΣ, ΓΥΜΝΑΣΤΗΡΙΑ, ΕΣΤΙΑΤΟΡΙΑ ΚΛΠ.

◆ 4.9.20.2.Συστήματα βελτίωσης απόδοσης επίγειων στροβιλομηχανών

Τα συστήματα αποθήκευσης θερμικής ενέργειας μπορούν να χρησιμοποιηθούν και σε εφαρμογές ψύξης του αέρα εισαγωγής σε στροβιλομηχανές. Αντί να αυξάνεται η ηλεκτρική ζήτηση τις νυχτερινές ώρες, αυτή η τεχνική αυξάνει την παραγωγική ικανότητα της εγκατάστασης. Για την παραγωγή του πάγου κατά τις νυχτερινές ώρες, ο στρόβιλος είναι συχνά συνδεδεμένος με τον μηχανικό συμπιεστή ενός μεγάλου ψύκτη. Κατά τη διάρκεια της ημέρας, νερό κυκλοφορεί διαμέσω του πάγου, ψύχεται και οδηγείται μέσω σωλήνων στην είσοδο της μηχανής σε έναν εναλλάκτη θερμότητας. Έτσι επιτυγχάνεται η ψύξη του αέρα εισαγωγής σε θερμοκρασίες κοντά στο σημείο στερεοποίησης του νερού, πράγμα που σημαίνει ότι η πυκνότητα του αέρα αυξάνει, άρα ο στρόβιλος απορροφά μεγαλύτερη ποσότητα εργαζόμενου μέσου, άρα επιτυγχάνεται περισσότερη παραγωγή ενέργειας και επομένως περισσότερο αποδοτική παραγωγή ενέργειας.[70][71]



ΕΙΚΟΝΑ 4.9.20.2.1: ΣΤΡΟΒΙΛΟΜΗΧΑΝΗ



ΕΙΚΟΝΑ 4.9.20.2.2: ΦΥΓΟΚΕΝΤΡΙΚΟΣ ΣΥΜΠΙΕΣΤΗΣ ΔΥΟ ΒΑΘΜΙΔΩΝ - ΔΑΚΤΥΛΙΟΕΙΔΗΣ ΘΑΛΑΜΟΣ ΚΑΥΣΗΣ - ΑΞΟΝΙΚΟΣ ΣΤΡΟΒΙΛΟΣ ΤΡΙΩΝ ΒΑΘΜΙΔΩΝ

5 ΚΕΦΑΛΑΙΟ: ΜΗΧΑΝΙΣΜΟΙ ΜΕΤΑΔΟΣΗΣ ΘΕΡΜΟΤΗΤΑΣ

Στην θερμοδυναμική , η θερμότητα ορίζεται ως η ενέργεια που διασχίζει τα όρια ενός συστήματος όταν αυτή η μεταφορά της ενέργειας συμβαίνει εξαιτίας μίας διαφοράς θερμοκρασίας μεταξύ του συστήματος και του περιβάλλοντός του. Ο δεύτερος θερμοδυναμικός νόμος δηλώνει ότι η θερμότητα ρέει πάντα προς το ψυχρότερο μέσο.

Ωστόσο η θερμοδυναμική δεν δείχνει , πως αυτή η μεταφερόμενη θερμότητα εξαρτάται από την διαφορά της θερμοκρασίας ή πόσο γρήγορη και έντονη αυτή η μη αναστρέψιμη διαδικασία είναι. Η επιστήμη της μεταφοράς θερμότητας διευκρινίζει τους νόμους που διέπουν αυτή την διαδικασία.

Υπάρχουν τρεις τρόποι για την μεταφορά θερμότητας :

- ◆ Αγωγή
- ◆ Συναγωγή
- ◆ Ακτινοβολία

5.1.Μεταφορά θερμότητας με αγωγή

Αγωγή είναι η μεταφορά ενέργειας από τα πιο ενεργά σωματίδια μίας ουσίας προς τα γειτονικά λιγότερο ενεργά σωματίδια λόγω των μεταξύ τους αλληλεπιδράσεων. Η αγωγή μπορεί να συμβεί στα στερεά στα υγρά ή στα αέρια. Στα αέρια και στα υγρά , η αγωγή οφείλεται στις συγκρούσεις και στην διάχυση μεταξύ των μορίων κατά την τυχαία κίνησή τους. Στα στερεά , οφείλεται στο συνδυασμό των ταλαντώσεων των μορίων σε μία δομή πλέγματος και της μεταφοράς ενέργειας από τα ελεύθερα ηλεκτρόνια.

Εάν σε ένα μέσο υπάρχει διαφορά θερμοκρασίας , η θερμότητα θα ρέει από την περιοχή υψηλότερης θερμοκρασίας στην περιοχή χαμηλότερης θερμοκρασίας. Ο ρυθμός με τον οποίο μεταφέρεται η θερμότητα δια αγωγής (q_k) είναι ανάλογος με την παράγωγο της θερμοκρασίας ως προς τον χρόνο επί την επιφάνεια μέσα από την οποία μεταδίδεται η θερμότητα.

$$q_k = A * dT/dx \quad (5.1.1)$$

Στην παραπάνω σχέση το $T(x)$ είναι η τοπική θερμοκρασία και x είναι η απόσταση στην διεύθυνση που μεταδίδεται η θερμότητα. Ο ρυθμός με τον οποίο μεταδίδεται η θερμότητα εξαρτάται από την θερμική αγωγιμότητα , που είναι μία φυσική ιδιότητα του μέσου.

Για αγωγή μέσω ενός ομογενούς μέσου, ο ρυθμός μεταφοράς θερμότητας είναι:

$$q_k = -k * A * dT/dx \quad (5.1.2)$$

Το σύμβολο « - » είναι συνέπεια του δεύτερου θερμοδυναμικού νόμου, που απαιτεί η θερμότητα να ρέει από την υψηλότερη στην χαμηλότερη θερμοκρασία.

Δηλαδή η παράγωγος της θερμοκρασίας θα είναι αρνητική αν η θερμοκρασία ελαττώνεται όταν η τιμές του x αυξάνονται. Έτσι πρέπει να βάλουμε « - » αν θερμότητα μεταφέρεται προς τα θετικά του x στο δεξιό μέλος της εξίσωσης. Η παραπάνω εξίσωση ορίζει την θερμική αγωγιμότητα και είναι ο νόμος του Fourier για την αγωγή.

Η θερμική αγωγιμότητα (k) είναι μια ιδιότητα του υλικού που δείχνει την ποσότητα θερμότητας που μεταφέρεται στην μονάδα του χρόνου κατά μήκος της μονάδας επιφάνειας όταν η παράγωγος της θερμοκρασίας είναι συνεχής.

Στο διεθνές σύστημα μονάδων (SI), η επιφάνεια μετράτε σε τετραγωνικά μέτρα (m²), η θερμοκρασία σε Kelvin (K), η απόσταση x σε μέτρα (m) και ο ρυθμός μεταφοράς θερμότητας σε Watts (W). Έτσι οι μονάδες της θερμικής αγωγιμότητας είναι W/mK. Στο Βρετανικό σύστημα το οποίο χρησιμοποιείται κυρίως στις Η.Π.Α η επιφάνεια μετράτε σε τετραγωνικά πόδια (ft²), η απόσταση σε πόδια (ft), η θερμοκρασία σε βαθμούς Fahrenheit (°F), και ο ρυθμός μεταφοράς θερμότητας σε Btu/hr. Έτσι το k έχει μονάδες Btu/hr * ft * °F.

Ο νόμος του Fourier ορίζει την θερμική αγωγιμότητα με την σχέση:

$$K \equiv (q_k/A) / |dT/dx| \quad (5.1.3)$$

Πάραυτα στους υπολογισμούς γενικά χρησιμοποιούμε πειραματικά μετρημένες τιμές της θερμικής αγωγιμότητας, αν και για τα αέρια σε μέτριες θερμοκρασίες η θεωρία της κινητικής των αερίων μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την πρόβλεψη των πειραματικών δεδομένων επαρκώς.

Ο παραπάνω πίνακας παραθέτει μερικές τυπικές τιμές θερμικής αγωγιμότητας κάποιων υλικών. [22] Από ότι φαίνεται οι ικανότεροι αγωγοί θερμότητας είναι τα μέταλλα και οι χαμηλότερες τιμές του k εμφανίζονται στα αέρια, ενώ στο ενδιάμεσο βρίσκονται τα κράματα μετάλλων και τα υγρά.

5.1.1.Μηχανισμός μεταφοράς θερμότητας με αγωγή στα Αέρια/Υγρά/Στερεά

Αέρια:

Ο μηχανισμός της μεταφοράς θερμότητας με αγωγή στα αέρια μπορεί να εξηγηθεί σε μοριακό επίπεδο , μέσο της κινητικής θεωρίας των αερίων. Η κινητική ενέργεια ενός μορίου σχετίζεται με την θερμοκρασία του. Τα μόρια σε μία περιοχή υψηλής θερμοκρασίας έχουν υψηλότερες ταχύτητες από αυτά που βρίσκονται σε μία περιοχή χαμηλότερης θερμοκρασίας. Καθώς τα μόρια βρίσκονται σε συνεχή τυχαία κίνηση , συγκρούονται μεταξύ τους και ανταλλάσσουν ορμή και ενέργεια. Όταν ένα μόριο κινηθεί από μία περιοχή υψηλής θερμοκρασίας ,σε μία περιοχή χαμηλής θερμοκρασίας μεταφέρει κινητική ενέργεια. Καθώς συγκρούεται με τα μόρια χαμηλής ταχύτητας , δίνει κάποιο μέρος της ενέργειάς του, αυξάνοντας έτσι την ενέργεια των μορίων χαμηλού ενεργειακού περιεχομένου. Με αυτόν τον τρόπο θερμότητα μεταφέρεται από τις περιοχές υψηλής θερμοκρασίας στις αντίστοιχες χαμηλής μέσο της μοριακής κίνησης.

Σε συμφωνία με τα παραπάνω, όσο πιο μεγάλη ταχύτητα έχουν τα μόρια τόσο πιο γρήγορα θα γίνεται και η μεταφορά θερμότητας. Συνεπώς , η ιδιότητα που ονομάσαμε θερμική αγωγιμότητα πρέπει να εξαρτάτε από την θερμοκρασία του αερίου. Σε λογικές θερμοκρασίες η απόσταση μεταξύ των μορίων ενός αερίου είναι πολύ μεγάλη συγκρινόμενη με το μέγεθος των μορίων , επομένως η θερμική αγωγιμότητα των αερίων μπορεί να θεωρηθεί ανεξάρτητη της πίεσης.

Υγρά:

Ο βασικός μηχανισμός της μεταφοράς θερμότητας με αγωγή στα υγρά είναι ποιοτικά παρόμοιος με τον αντίστοιχο των αερίων. Ωστόσο η μοριακή κατάσταση στα υγρά είναι πιο δύσκολο να εξηγηθεί.

Για τα περισσότερα υγρά η θερμική αγωγιμότητα μειώνεται με αυξανόμενη την θερμοκρασία εν τούτοις το νερό είναι μια αξιοσημείωτη εξαίρεση. Ακόμη η θερμική αγωγιμότητα είναι ανεξάρτητη της πίεσης στα υγρά εκτός από τις περιοχές κοντά στο κρίσιμο σημείο. Τέλος σαν γενικός κανόνας , η θερμική αγωγιμότητα μειώνεται με αυξανόμενο το μοριακό βάρος των υγρών.

Στερεά:

Σύμφωνα με τις υπάρχουσες θεωρίες , τα στερεά υλικά αποτελούνται από ελεύθερα ηλεκτρόνια και άτομα σε περιοδική κρυσταλλική δομή. Λόγω αυτού η μεταφορά θερμότητας μπορεί να γίνει με δύο μηχανισμούς:

- ◆ Κίνηση των ελεύθερων ηλεκτρονίων
- ◆ Ταλάντωση του κρυσταλλικού πλέγματος.

Αυτά τα δύο φαινόμενα είναι προσθετικά, γενικότερα όμως η μετάδοση θερμότητας μέσω των ηλεκτρονίων είναι πιο αποτελεσματική. Εφόσον τα ηλεκτρόνια μεταφέρουν ηλεκτρικό φορτίο με ένα τρόπο παρόμοιο με αυτόν με τον οποίο μεταφέρουν θερμότητα από περιοχές υψηλής θερμοκρασίας σε περιοχές χαμηλής θερμοκρασίας , οι καλοί αγωγοί του ηλεκτρισμού είναι συνήθως και καλοί αγωγοί θερμότητας ενώ οι μονωτές του ηλεκτρικού ρεύματος είναι κακοί αγωγοί της θερμότητας. Στα μη μεταλλικά στερεά υπάρχει πολύ μικρή ως και καθόλου μεταφορά ηλεκτρονίων και συνεπώς η αγωγιμότητα καθορίζεται από την ταλάντωση του κρυσταλλικού πλέγματος, σαν συνέπεια αυτά τα υλικά έχουν χαμηλότερη θερμική αγωγιμότητα από τα μέταλλα.[72][73][74]

5.2.Μεταφορά θερμότητας με συναγωγή

Συναγωγή είναι ο τρόπος μεταφοράς της ενέργειας μεταξύ μίας στερεάς επιφάνειας και του γειτονικού υγρού ή αέριου που βρίσκεται σε κίνηση , και περιλαμβάνει τη συνδυασμένη επίδραση της αγωγής και της κίνησης του ρευστού. Όσο πιο γρήγορη είναι η κίνηση του ρευστού , τόσο μεγαλύτερη είναι η μεταφορά θερμότητας με συναγωγή.

Όταν δεν υπάρχει μεγάλη κίνηση ρευστού , η μεταφορά θερμότητας μεταξύ της επιφάνειας του στερεού και του γειτονικού ρευστού γίνεται αποκλειστικά με αγωγή. Όταν υπάρχει μεγάλη κίνηση ρευστού , ενισχύεται η μεταφορά θερμότητας μεταξύ της επιφάνειας του στερεού και του γειτονικού ρευστού , αλλά κάνει και πιο πολύπλοκο τον προσδιορισμό των ρυθμών μεταφοράς θερμότητας.

Η μεταφορά θερμότητας με συναγωγή αποτελείται οπότε από δύο μηχανισμούς που εκτελούνται ταυτόχρονα:

- μεταφορά ενέργειας εξαιτίας της μοριακής κίνησης (αγωγή)
- μεταφορά ενέργειας λόγω των μακροσκοπικών κινήσεων των μορίων του ρευστού

Η κίνηση του ρευστού είναι αποτέλεσμα ομάδων μορίων του ρευστού που κινούνται λόγω μίας εξωτερικής δύναμης. Αυτή η δύναμη είτε υπάρχει λόγω διαφοράς πυκνότητας όπως συμβαίνει στην ελεύθερη συναγωγή ,είτε

λόγω διαφοράς πίεσης που δημιουργείται από μία αντλία ή έναν ανεμιστήρα ,είτε από συνδυασμό των δύο παραπάνω.

Η ταχύτητα του ρευστού στην επιφάνεια είναι μηδέν λόγω τυρβωδών δυνάμεων και αυξάνει προς τα πάνω ως U_∞ .Αφού το ρευστό είναι ακίνητο στην επιφάνεια σε εκείνο το σημείο η μεταφορά θερμότητας γίνεται μόνο με αγωγή. Εάν γνωρίζαμε την διάφορα της θερμοκρασίας και την θερμική αγωγιμότητα σε εκείνο το σημείο θα μπορούσαμε να υπολογίσουμε την θερμοροή από την παρακάτω εξίσωση.

$$q_c = -k_{fluid} * A * dT/dx_{(y=0)} \quad (5.2.1)$$

Εν τούτοις η θερμοκρασιακή διαφορά στην επιφάνεια εξαρτάται από τον ρυθμό με τον οποίο οι μακροσκοπικές και η μικροσκοπικές κινήσεις των μορίων του ρευστού μεταφέρουν θερμότητα μακριά από την επιφάνεια. Συνεπώς η θερμοκρασιακή διαφορά στην επιφάνεια της πλάκας εξαρτάται από την ροή του ρευστού , και συγκεκριμένα από την ταχύτητα U_∞ .

Ο μηχανισμός είναι παρόμοιος και για την ελεύθερη συναγωγή. Η ειδοποιός διαφορά βρίσκεται στην ταχύτητα. Στην εξαναγκασμένη συναγωγή μακριά από την επιφάνεια συναλλαγής η ταχύτητα πλησιάζει την ταχύτητα της ελεύθερης ροής U_∞ , ενώ στην ελεύθερη συναγωγή η ταχύτητα στην αρχή αυξάνει με αυξανόμενη την απόσταση από την επιφάνεια συναλλαγής και μετά από κάποια τιμή αρχίζει και μειώνεται. Αυτό συμβαίνει διότι το ιξώδες μειώνεται πολύ γρήγορα αυξάνοντας την απόσταση από την επιφάνεια , ενώ η πυκνότητα πολύ πιο αργά. Τελικά όμως και η δύναμη της άωσης μειώνεται καθώς η πυκνότητα του ρευστού πλησιάζει αυτή του ρευστού που δεν έχει θερμανθεί.

Αυτή η αλληλεπίδραση των δυνάμεων οδηγεί την ταχύτητα του ρευστού σε ένα μέγιστο σημείο και μετά στο μηδέν , μακριά από την θερμαινόμενη πλάκα. Τα προφίλ της θερμοκρασίας και στις δύο περιπτώσεις είναι παρεμφερή και η μεταφορά θερμότητας στην επιφάνεια γίνεται με αγωγή.

Τα παραπάνω δείχνουν πως η συναγωγή εξαρτάται από την πυκνότητα, το ιξώδες και την ταχύτητα του ρευστού καθώς και από της θερμικές του ιδιότητες (θερμική αγωγιμότητα , ειδική θερμότητα) . Αν και στην εξαναγκασμένη συναγωγή η ταχύτητα προσδίδεται στο σύστημα από μία αντλία ή έναν ανεμιστήρα και μπορεί να προσδιοριστεί άμεσα , στην ελεύθερη συναγωγή η ταχύτητα εξαρτάται από την διαφορά θερμοκρασίας ανάμεσα στην επιφάνεια και στο ρευστό , τον συντελεστή θερμικής διαστολής του ρευστού (που καθορίζει την μεταβολή της πυκνότητας ανά

μονάδα θερμοκρασιακής διαφοράς) και την δύναμη κίνησης (για συστήματα στην Γη η δύναμη της βαρύτητας).

Ο ρυθμός μεταφοράς θερμότητας με συναγωγή μεταξύ μίας επιφάνειας και ενός ρευστού που ρέει παράλληλα προς την επιφάνεια μπορεί να υπολογιστεί από την σχέση :

$$q_c = h_c * A * \Delta T \quad (5.2.2)$$

Όπου:

q_c = Ρυθμός μεταφοράς θερμότητας με συναγωγή , Watt (ή Btu/hr)

A =Επιφάνεια συναλλαγής , m^2 (ή ft^2)

ΔT =Θερμοκρασιακή διαφορά μεταξύ της επιφάνειας της πλάκας θερμοκρασίας T_s και του ρευστού θερμοκρασίας T_∞ (μακριά από την επιφάνεια) , K (ή $^\circ F$)

h_c =Μέσος συντελεστής συναγωγής στην επιφάνεια A , W/m^2K ή $(Btu/hr * ^\circ F * ft^2)$

Η σχέση παραπάνω εξίσωση προτάθηκε αρχικά από τον Βρετανό επιστήμονα Isaac Newton το 1701. Οι μηχανικοί χρησιμοποιούσαν αυτή την έκφραση για πολλά χρόνια, αν και περισσότερο είναι ορισμός του h_c παρά νόμος της συναγωγής. Η εκτίμηση του συντελεστή συναγωγής είναι δύσκολη γιατί η συναγωγή είναι ένα πολύπλοκο φαινόμενο.[22][72][73][74]

Η τιμή του μέσου συντελεστή συναγωγής σε ένα σύστημα εξαρτάται από την γεωμετρία της επιφάνειας ,την ταχύτητα και της θερμικές ιδιότητες του ρευστού και συχνά ακόμα και από την θερμοκρασιακή διαφορά ΔT . Δεδομένου ότι αυτές οι τιμές δεν παραμένουν σταθερές κατά μήκος μίας επιφάνειας , ο συντελεστής συναγωγής μπορεί και αυτός να διαφέρει από σημείο σε σημείο. Για αυτό τον λόγο διαχωρίζουμε τον συντελεστή συναγωγής στον τοπικό συντελεστή και τον μέσο συντελεστή. Έτσι έχουμε για τον τοπικό συντελεστή $c h$:

$$dq_c = h_c * dT(T_s - T_\infty) \quad (5.2.3)$$

Ενώ για τον μέσο συντελεστή h_c :

$$h_c = (1/A) * \int h_c dA \quad (5.2.4)$$

5.3.Μεταφορά θερμότητας με ακτινοβολία

Ακτινοβολία είναι η ενέργεια που εκπέμπει η ύλη με την μορφή ηλεκτρομαγνητικών κυμάτων (ή φωτονίων) λόγω των μεταβολών στην ηλεκτρονική διαμόρφωση των ατόμων ή των μορίων. Σε αντίθεση με την αγωγή και την συναγωγή, η μεταφορά ενέργειας με ακτινοβολία δεν απαιτεί την ύπαρξη υλικού μέσου. Στην πραγματικότητα, η μεταφορά ενέργειας με ακτινοβολία είναι γρηγορότερη (ίση με την ταχύτητα του φωτός) και δεν υφίσταται απώλειες στο κενό.

Στη μελέτη της μεταφοράς θερμότητας ενδιαφέρει η θερμική ακτινοβολία, η οποία αποτελεί τη μορφή ενέργειας που εκπέμπουν τα σώματα λόγω της θερμοκρασίας τους. Διαφέρει από τις άλλες μορφές ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας όπως ακτίνες-Χ, οι ακτίνες-γ, τα μικροκύματα, τα ραδιοκύματα και τα τηλεοπτικά κύματα, τα οποία δεν σχετίζονται με την θερμοκρασία. Όλα τα σώματα σε θερμοκρασία πάνω από το απόλυτο μηδέν εκπέμπουν θερμική ακτινοβολία.

Η ακτινοβολία είναι ένα ογκομετρικό φαινόμενο και όλα τα στερεά, τα υγρά και τα αέρια εκπέμπουν, απορροφούν, ή μεταδίδουν ακτινοβολία σε διαφορετικό βαθμό.[73][74] Ωστόσο, η ακτινοβολία θεωρείται συνήθως ως επιφανειακό φαινόμενο για τα στερεά που είναι αδιαφανή στη θερμική ακτινοβολία όπως τα μέταλλα, το ξύλο και τα πετρώματα, αφού η ακτινοβολία που εκπέμπουν οι εσωτερικές περιοχές αυτών των υλικών δεν φτάνει ποτέ στην επιφάνεια, και η προσπίπτουσα ακτινοβολία πάνω σε τέτοια σώματα απορροφάται συνήθως σε λίγα μόνο μικρά από την επιφάνεια.

Η ποσότητα της ενέργειας που διαφεύγει από μία επιφάνεια σαν ακτινοβολία εξαρτάται από την απόλυτη θερμοκρασία και την φύση της επιφάνειας.

Ένας ιδανικός εκπομπός ακτινοβολίας, εκπέμπει θερμότητα από την επιφάνεια του με ρυθμό q_r που δίνεται από την παρακάτω σχέση:

$$Q_{emit,max} = \sigma * A_1 * T_1^4 \quad (5.3.1)$$

όπου:

$Q_{emit,max}$ = ρυθμός που εκπέμπεται θερμότητα σε Watt

A = επιφάνεια σε m^2

T_1 = Θερμοκρασία στην επιφάνεια σε K

σ = σταθερά «Stefan-Boltzman», με τιμή $5.67 * 10^{-8} W/m^2 * K^4$

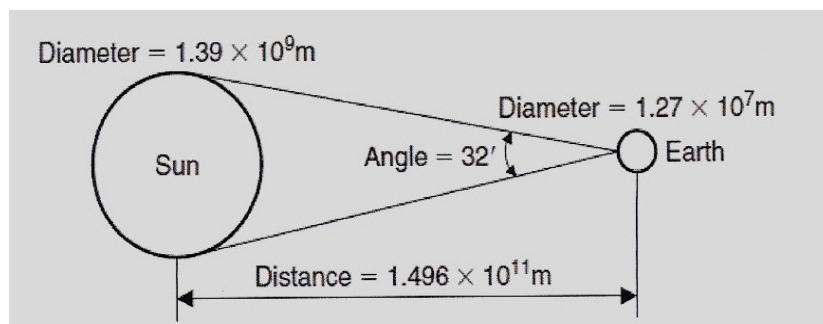
Η ιδανική επιφάνεια που εκπέμπει ακτινοβολία με το μέγιστο αυτό ρυθμό ονομάζεται μέλαν (μαύρο) σώμα , και η ακτινοβολία που εκπέμπεται από ένα τέτοιο σώμα ονομάζεται ακτινοβολία του μέλανος σώματος. Η ακτινοβολία που εκπέμπουν όλες οι πραγματικές επιφάνειες είναι μικρότερη από εκείνη του μέλανος σώματος στην ίδια θερμοκρασία , και εκφράζεται ως:

$$Q_{emit,max} = \epsilon * \sigma * A_I * T_I^4 \quad (5.3.2)$$

6 ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΗΛΙΑΚΗ ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑ

6.1. Ηλιακή ακτινοβολία

Η τροχιά της γης περί τον ήλιο είναι τέτοια ώστε η μεταξύ τους απόσταση να μεταβάλλεται κατά $\pm 1,7\%$ περί τη μέση απόσταση ηλίου-γης η οποία είναι $1,495 \cdot 10^{11} \text{m}$. Ηλιακή σταθερά είναι η ενέργεια ανά μονάδα χρόνου που δέχεται εκτός ατμόσφαιρας από τον ήλιο η μονάδα επιφάνειας κάθετη στη διεύθυνση διάδοσης της ακτινοβολίας, όταν η απόσταση γης-ηλίου λαμβάνει τη μέση τιμή της. Η τιμή της ηλιακής σταθεράς είναι $G_{sc} = 1353 \text{ W/m}^2$ [4].



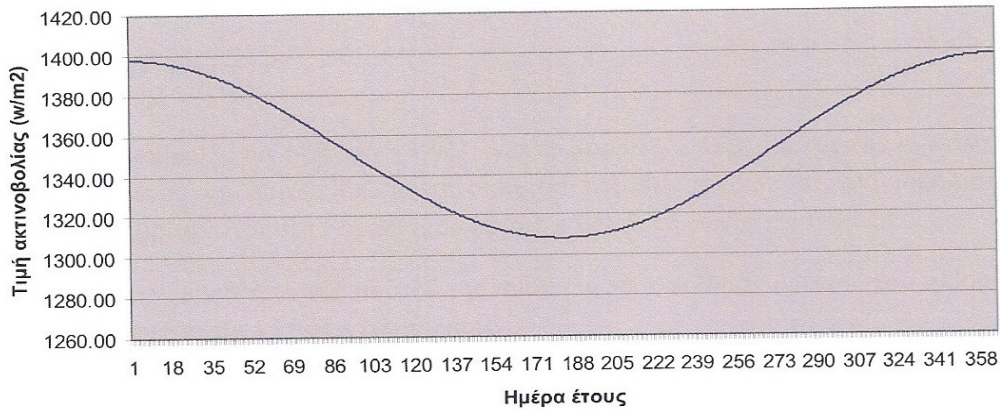
ΕΙΚΟΝΑ 6.1.1: ΓΕΩΜΕΤΡΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΓΗΣ-ΗΛΙΟΥ

Η μεταβολή της απόστασης ηλίου-γης προκαλεί μεταβολή της ηλιακής ακτινοβολίας εκτός ατμόσφαιρας $\pm 3\%$ περί τη μέση τιμή της. Η ακτινοβολία, G_{on} , που δέχεται επίπεδο εκτός ατμόσφαιρας κάθετο στις ακτίνες δίνεται από την σχέση:

$$G_{on} = G_{sc} [1 + 0,033 \cos(360n/365)] \quad (6.1.1)$$

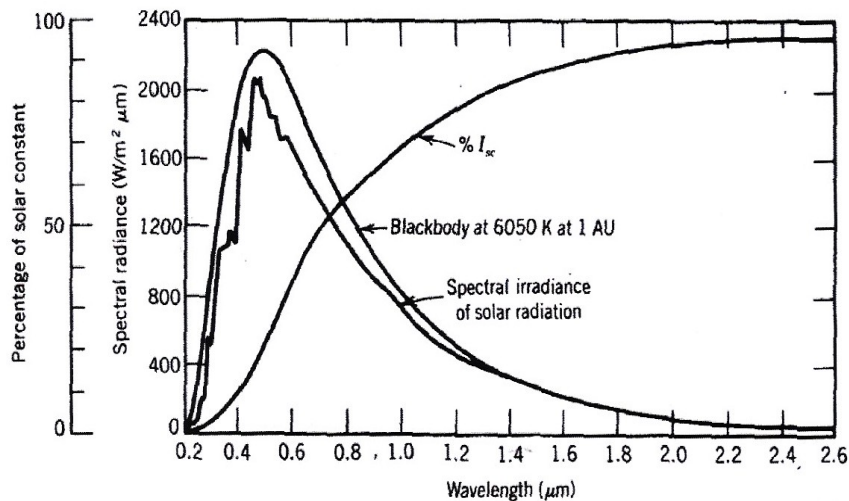
όπου $n = 1 \div 365$ είναι η ημέρα του έτους. Η παραπάνω σχέση δίνεται και σε μορφή διαγράμματος για ένα ολόκληρο έτος.

Ηλιακή ακτινοβολία εκτός ατμόσφαιρας



ΕΙΚΟΝΑ 6.1.2: ΜΕΤΑΒΟΛΗ ΤΗΣ ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑΣ ΕΚΤΟΣ ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΑΣ ΣΥΝΑΡΤΗΣΕΙ ΤΩΝ ΗΜΕΡΩΝ ΤΟΥ ΕΤΟΥΣ

Στο σχήμα που ακολουθεί δίνεται η φασματική κατανομή της ηλιακής ακτινοβολίας εκτός ατμόσφαιρας κατα τη μέση απόσταση γης-ηλίου. Η υπεριώδης, η ορατή και η υπέρυθη ακτινοβολία αμτιστοιχούν στις περιοχές μηκών κύματος $\lambda < 0,38\mu\text{m}$, $0,38\mu\text{m} < \lambda < 0,78\mu\text{m}$ και $\lambda > 0,78\mu\text{m}$ με αντίστοιχη ενέργεια σε κάθε περιοχή 95W/m^2 , 640W/m^2 και 618W/m^2 [4].



ΕΙΚΟΝΑ 6.1.3: ΦΑΣΜΑΤΙΚΗ ΚΑΤΑΝΟΜΗ ΤΗΣ ΗΛΙΑΚΗΣ ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑΣ ΕΚΤΟΣ ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΑΣ.

Γωνία ζενίθ θ_z είναι η γωνία που σχηματίζεται από την κατακόρυφο και την ευθεία όρασης του ήλιου.

Ηλιακό ύψος $90^\circ - \theta_z$ είναι η γωνία που σχηματίζεται από την ευθεία όρασης του ήλιου και την προβολή της στο οριζόντιο επίπεδο.

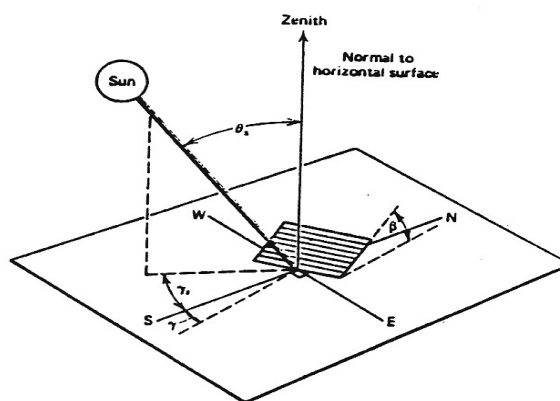
Αζιμούθιο επιφάνειας γ είναι η γωνία που σχηματίζεται από την προβολή της καθέτου στην επιφάνεια πάνω στο οριζόντιο επίπεδο και τη νότια κατεύθυνση. Είναι $-180^\circ \leq \gamma \leq 180^\circ$ με $\gamma=0$ στο νότο, $\gamma=90^\circ$ στη δύση, $\gamma=180^\circ$ στο βορρα, $\gamma=-90^\circ$ στην ανατολή.

Αζιμούθιο ηλίου γ_s είναι η γωνία μεταξύ της προβολής της ευθείας όρασης του ηλίου στο οριζόντιο επίπεδο και της νότιας κατεύθυνσης.

Κλίση επιπέδου β είναι η γωνία που σχηματίζει μία επίπεδος επιφάνεια με το οριζόντιο επίπεδο. Είναι $0^\circ \leq \beta \leq 180^\circ$. Για το οριζόντιο επίπεδο είναι $\beta=0^\circ$. Για $\beta > 90^\circ$ το επίπεδο βλέπει προς τα κάτω. Προκειμένου να επιτευχθεί μεγιστοποίηση της ετήσιας προσπίπτουσας ακτινοβολίας θα πρέπει $\beta = \varphi$. Για μεγιστοποίηση της χειμερινής προσπίπτουσας ακτινοβολίας απαιτείται κλίση $\beta = \varphi + 15^\circ$ ενώ για μεγιστοποίηση της θερινής $\beta = \varphi - 15^\circ$. [4]

Ηλιακός χρόνος t_s είναι ο χρόνος που μετράται με βάση τη φαινόμενη κίνηση του ήλιου στον ουρανό. Έτσι ηλιακό μεσημέρι είναι η χρονική στιγμή που ο ήλιος τέμνει τον μεσημβρινό του παρατηρητή. Ο ηλιακός χρόνος δε συμπίπτει με τον τοπικό χρόνο, $t_{\text{ρολ}}$, που δείχνει το ρολόι. Η παρακάτω σχέση συνδέει τους δύο χρόνους:

$$\text{ηλιακός χρόνος} = t_{\text{ρολ}} \pm 4 (L_{st} - L_{loc}) + E \quad (6.1.2)$$



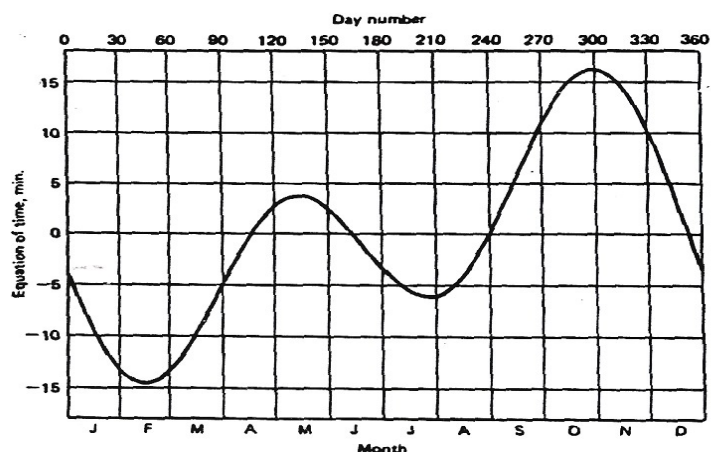
ΕΙΚΟΝΑ 6.1.4: ΓΩΝΙΑ ΖΕΝΙΘ, ΗΛΙΑΚΟ ΥΨΟΣ, ΑΖΙΜΟΥΘΙΟ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΣ, ΑΖΙΜΟΥΘΙΟ ΗΛΙΟΥ ΚΑΙ ΚΛΙΣΗ ΕΠΙΠΕΔΟΥ

Όπου:

- L_{st} είναι το γεωγραφικό μήκος του μεσημβρινού στον οποίο βασίζεται ο τοπικός χρόνος (π.χ. για την Ελλάδα $L_{st}=30^\circ$) και L_{loc} είναι το γεωγραφικό μήκος του παρατηρητή. Η σχέση ισχύει με "+" για τα δυτικά μήκη και με "-" για τα ανατολικά
- Ο συντελεστής 4 εκφράζει minutes/μοίρα.
- E (σε min) είναι η εξίσωση του χρόνου που προκύπτει για κάθε ημέρα του έτους από την παρακάτω σχέση:

$$E=9.87\sin 2B-7.53\cos B- 1.5\sin B \quad (6.1.3)$$

$$B=360(n-81)/364 \quad (6.1.4)$$



ΕΙΚΟΝΑ 6.1.5-Η ΕΞΙΣΩΣΗ ΤΟΥ ΧΡΟΝΟΥ, E, ΣΥΝΑΡΤΗΣΕΙ ΤΗΣ ΗΜΕΡΑΣ ΤΟΥ ΕΤΟΥΣ

Ωριαία γωνία είναι η γωνιακή μετατόπιση του ηλίου ανατολικά ή δυτικά του τοπικού μεσημβρινού λόγω της περιστροφής της γής περί τον άξονα της με ρυθμό 15o/h ή διαφορετικά 0,25o/min .Μετά μεσημβρίας λαμβάνεται $\omega > 0$ ενώ προ μεσημβρίας λαμβάνεται $\omega < 0$.Ισχύει λοιπόν η παρακάτω σχέση:

$$\omega=0,25 *(min \text{ από ηλιακό μεσημέρι}) \quad (6.1.5)$$

Ηλιακή απόκλιση δ είναι η γωνιακή θέση του ηλίου κατά το ηλιακό μεσημέρι ως προς το επίπεδο του Ισημερινού.Η σχέση που περιγράφει την ηλιακή απόκλιση είναι η ακόλουθη:

$$\delta=23.45\sin[360(284+n)/365] \quad (6.1.6)$$

όπου όπως έχουμε αναφέρει παραπάνω n είναι η μέρα του έτους.

Άμεσος ακτινοβολία είναι το τμήμα της ηλιακής ακτινοβολίας που φθάνει στη γη κατ'ευθείαν από τον ήλιο χωρίς να μεσολαβήσει διασκορπισμός μέσα στην ατμόσφαιρα. Η στιγμιαία τιμή (σε W/m²) της αμέσου ακτινοβολίας που δέχεται το οριζόντιο επίπεδο συμβολίζεται με G_b ενώ η στιγμιαία τιμή (σε W/m²) της αμέσου ακτινοβολίας που δέχεται το κεκλιμένο επίπεδο με G_{bt}. Για χρονική περίοδο μιας ώρας ή μιας ημέρας αντί του συμβόλου G χρησιμοποιείται το I και H αντιστοίχως (π.χ. I_b, I_{bt}, H_b, H_{bt} σε J/m²)

Διάχυτος ακτινοβολία είναι το μέρος της ηλιακής ακτινοβολίας που φθάνει στη γη ύστερα από διασκορπισμό και αλλαγές κατεύθυνσης κατά τη διαδρομή μέσα στην ατμόσφαιρα. Ο συμβολισμός είναι ίδιος όπως και στην άμεσο ακτινοβολία αλλά με δείκτη d αντί για b.

Τέλος ,ολική ακτινοβολία είναι το άθροισμα της άμεσης και της διάχυτης ηλιακής ακτινοβολίας συμπεριλαμβανομένης και της ανακλώμενης ακτινοβολίας από παρακείμενες επιφάνειες.

Ακτινοβολία καθέτου επιπέδου ή κάθετος ακτινοβολία είναι η ακτινοβολία που δέχεται ένα επίπεδο κάθετο στις ηλιακές ακτίνες. Δηλώνεται με τον δείκτη n. Για παράδειγμα G_{bn} είναι η άμεσος ακτινοβολία καθέτου επιπέδου και G_{on} είναι η ακτινοβολία καθέτου επιπέδου εκτός ατμόσφαιρας .Ο δείκτης ο δηλώνει ακτινοβολία εκτός ατμόσφαιρας.[4]

6.2.Γωνία πρόσπτωσης

Γωνία πρόσπτωσης θ της αμέσου ακτινοβολίας πάνω σε μια επιφάνεια είναι η γωνία μεταξύ των προσπιπτουσών ηλιακών ακτίνων και της καθέτου στην επιφάνεια. Η γωνία πρόσπτωσης θ υπολογίζεται από τη σχέση [4]:

$$\cos\theta = \sin\delta \sin\varphi \cos\beta - \sin\delta \cos\varphi \sin\beta \cos\gamma + \cos\delta \cos\varphi \cos\beta \cos\omega + \cos\delta \sin\varphi \sin\beta \cos\gamma \cos\omega + \cos\delta \sin\beta \sin\gamma \sin\omega \quad (6.2.1)$$

όπου φ είναι το γεωγραφικό πλάτος (-90° ≤ φ ≤ 90°) του τόπου (π.χ. για την Αθήνα φ=37.97° C).

Για κατακόρυφες επιφάνειες η παραπάνω σχέση γίνεται:

$$\cos\theta = -\sin\delta \cos\varphi \cos\gamma + \cos\delta \sin\varphi \cos\gamma \cos\omega + \cos\delta \sin\gamma \sin\omega \quad (6.2.2)$$

ενώ για οριζόντιες επιφάνειες ($\beta=0^\circ$) η γωνία πρόσπτωσης ταυτίζεται με τη γωνία ζενίθ, οπότε είναι:

$$\cos\theta_z = \sin\delta \sin\varphi + \cos\delta \cos\varphi \cos\omega \quad (6.2.3)$$

Για κεκλιμένες επιφάνειες που βρίσκονται στο βόρειο ημισφαίριο και είναι εστραμμένες προς νότο ($\gamma=0^\circ$) ισχύει ότι:

$$\cos\theta = \sin\delta \sin(\varphi-\beta) - \cos\delta \cos(\varphi-\beta) \cos\omega \quad (6.2.4)$$

Για κεκλιμένες επιφάνειες που βρίσκονται στο νότιο ημισφαίριο και είναι εστραμμένες προς βορρά ($\gamma=180^\circ$) ισχύει ότι:

$$\cos\theta = \sin\delta \sin(\varphi+\beta) - \cos\delta \cos(\varphi+\beta) \cos\omega \quad (6.2.5)$$

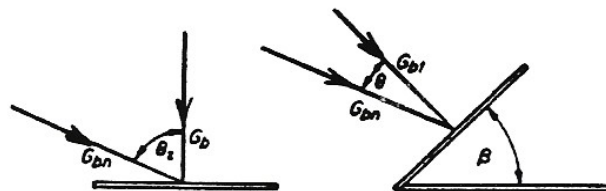
Η ωριαία γωνία δύσης του ηλίου, ω_s , υπολογίζεται για $\theta_z=90^\circ$ σύμφωνα με τον τύπο που ακολουθεί:

$$\cos\omega_s = -\sin\varphi \sin\delta / \cos\varphi \cos\delta = -\tan\varphi \tan\delta \quad (6.2.6)$$

και στην συνέχεια μπορεί να υπολογιστεί η διάρκεια της ημέρας σε ώρες σύμφωνα με την παρακάτω σχέση:

$$N = (2/15) * \arccos(-\tan\varphi \tan\delta) \quad (6.2.7)$$

6.3. Ακτινοβολία οριζόντιας και κεκλιμένης επιφάνειας



ΕΙΚΟΝΑ 6.3.1: ΑΜΕΣΟΣ ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑ ΟΡΙΖΟΝΤΙΑΣ ΚΑΙ ΚΕΚΛΙΜΕΝΗΣ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΣ

Όπως φαίνεται και στο σχήμα ισχύει:

$$G_b = G_{bn} \cos \theta_z \quad (6.3.1)$$

$$G_{bT} = G_{bn} \cos \theta \quad (6.3.2)$$

όπου G_b , G_{bT} και G_{bn} είναι η άμεσος ακτινοβολία που δέχεται το οριζόντιο, το κεκλιμένο και το κάθετο επίπεδο στις ηλιακές ακτίνες αντιστοίχως. Από τις παραπάνω σχέσεις προκύπτει ο λόγος R_b της άμεσου ακτινοβολίας κεκλιμένου επιπέδου προς την άμεσο οριζοντίου επιπέδου:

$$R_b = G_{bT} / G_b = \cos \theta / \cos \theta_z \quad (6.3.3)$$

Για κεκλιμένες επιφάνειες που βρίσκονται στο βόρειο ημισφαίριο και είναι στραμμένες προς νότο ($\gamma=0^\circ$) ισχύει ότι:

$$R_b = [\sin \delta \sin(\varphi - \beta) + \cos \delta \cos(\varphi - \beta) \cos \omega] / [\sin \delta \sin \varphi + \cos \delta \cos \varphi \cos \omega] \quad (6.3.4)$$

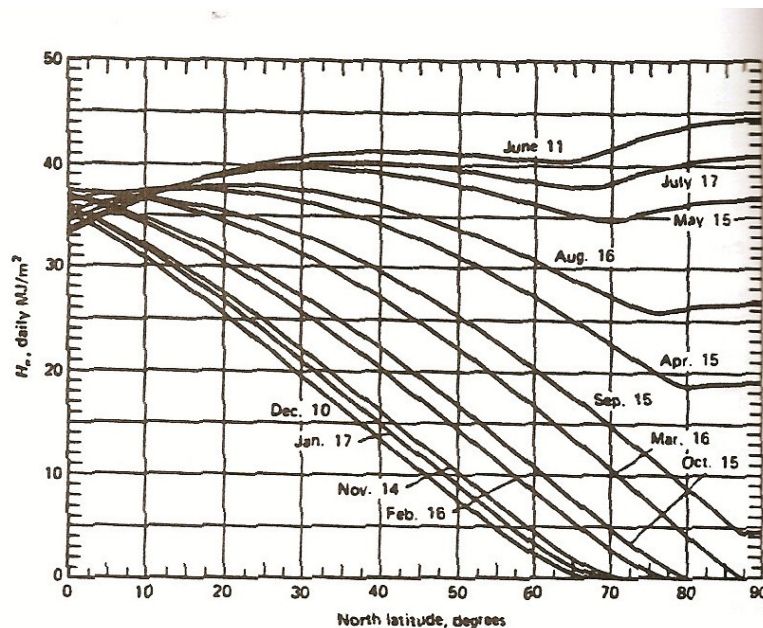
Η τιμή του λόγου R_b απαιτείται για τον υπολογισμό της άμεσου ακτινοβολίας κεκλιμένης επιφάνειας G_{bT} , όταν είναι γνωστή η άμεσος ακτινοβολία οριζόντιας επιφάνειας, G_b . [4]

6.4. Ακτινοβολία οριζόντιας επιφάνειας εκτός ατμόσφαιρας

Η ακτινοβολία οριζόντιας επιφάνειας εκτός ατμόσφαιρας υπολογίζεται από τον τύπο:

$$G_o = G_{sc} [1 + 0.033 \cos(360n/365)] * [\sin \delta \sin \varphi + \cos \delta \cos \varphi \cos \omega] \quad (6.4.1)$$

Ολοκλήρωση αυτής της σχέσης για χρονική περίοδο μίας ώρας, δίνει την ωριαία ενέργεια, I_o που δέχεται οριζόντια επιφάνεια εκτός ατμόσφαιρας. Αντίστοιχα μπορεί να υπολογιστεί και η ημερήσια ενέργεια που δέχεται οριζόντια επιφάνεια εκτός ατμόσφαιρας, H_o , αν αλλάξουν τα όρια ολοκλήρωσης από μία ώρα στις ωριαίες γωνίες ανατολής και δύσης του ηλίου (δηλαδή από $-\omega_s$ σε ω_s). Η μηνιαίως μέση τιμή ημέρας H_o είναι ένα χρήσιμο μέγεθος για διάφορες εκτιμήσεις και υπολογίζεται θέτοντας στην εξίσωση της ημερήσιας ενέργειας τα n και δ της ημέρας του αντίστοιχου μήνα. [4]



ΕΙΚΟΝΑ 6.4.1: ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑ ΟΡΙΖΟΝΤΙΑΣ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΣ ΕΚΤΟΣ ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΑΣ ΚΑΤΑ ΤΗ ΜΕΣΗ ΗΜΕΡΑ ΚΑΘΕ ΜΗΝΑ, ΣΥΝΑΡΤΗΣΗΙ ΤΟΥ ΓΕΩΓΡΑΦΙΚΟΥ ΠΛΑΤΟΥΣ ΓΙΑ ΤΟ ΒΟΡΕΙΟ ΗΜΙΣΦΑΙΡΙΟ

6.5.Εξασθένηση της ηλιακής ακτινοβολίας στην ατμόσφαιρα

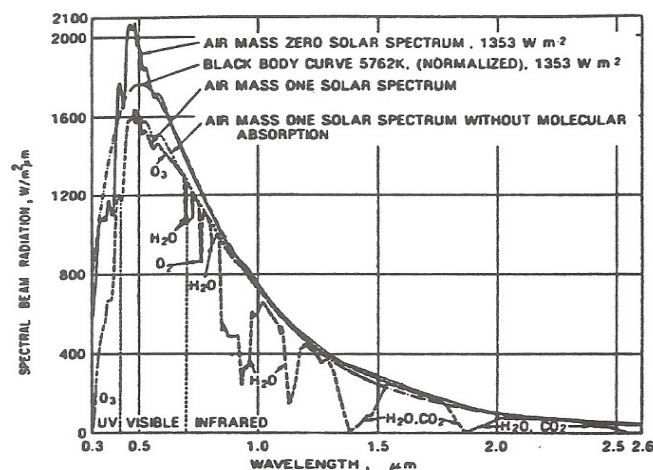
Η ηλιακή ακτινοβολία κατά την διέλευσή της στην ατμόσφαιρα υπόκειται σε εξασθένηση αφ' ενός λόγω διασκορπισμού από τα μόρια του αέρα, των υδρατμών και της σκόνης και αφ'ετέρου λόγω της απορρόφησης από το όζον (O_3), το νερό (H_2O) και το διοξείδιο του άνθρακα (CO_2). Από το διασκορπισμό αυτό προκύπτει η διάχυτη ακτινοβολία. Η απορρόφηση δε γίνεται ομοιόμορφα αλλά εκλεκτικά κατά ζώνες του φάσματος.

Οι ακτίνες χ και άλλες πολύ μικρού μήκους κύματος ακτινοβολίες απορροφώνται στην ιονόσφαιρα από το άζωτο (N_2), το οξυγόνο και τα άλλα ατμοσφαιρικά συστατικά.

Η απορρόφηση από το όζον (O_3) συμβαίνει στην υπεριώδη περιοχή του φάσματος ως εξής: Γίνεται σχεδόν ολική απορρόφηση για μήκη κύματος $\lambda < 0.29 \mu m$ στα ανώτερα στρώματα της ατμόσφαιρας. Αυξανόμενου του μήκους κύματος από $0.29 \mu m$ μέχρι $0.35 \mu m$ η απορρόφηση ελαττώνεται και για $\lambda > 0.35 \mu m$ δεν υπάρχει απορρόφηση από το όζον πλην μιας ζώνης περί το μήκος κύματος $\lambda = 0.6 \mu m$. Η απορρόφηση από το νερό και το διοξείδιο του

άνθρακα συμβαίνει στην υπέρυθη περιοχή του φάσματος κατά ζώνες. Ισχυρή απορρόφηση από το νερό γίνεται στις ζώνες περί τα μήκη κύματος $\lambda=1.0\mu\text{m}$, $\lambda=1.4\mu\text{m}$ και $\lambda=1.8\mu\text{m}$. Για $\lambda>2.3\mu\text{m}$ λόγω απορρόφησης από το H_2O και το CO_2 , η ακτινοβολία που φθάνει τελικά στο έδαφος είναι ελάχιστη.

Η ηλιακή ακτινοβολία εξασθενεί σημαντικά όσο αυξάνεται η διαδρομή της μέσα στην ατμόσφαιρα. Είναι χαρακτηριστικό ότι ενώ εκτός ατμόσφαιρας είναι $G_{sc} = 1353 \text{ W/m}^2$ η άμεσος ακτινοβολία στο έδαφος μπορεί να φτάσει ακόμα και 234.5 W/m^2 (για αέριο μαζα $m=10$). Η φασματική κατανομή της ολικής ακτινοβολίας εξαρτάται και από τη φασματική κατανομή της διάχυτης ακτινοβολίας. Μετρήσεις στην υπεριώδη ακι ορατή περιοχή του φάσματος δείχνουν ότι για $0.35 < \lambda < 0.8 \mu\text{m}$ η κατανομή της διάχυτης ακτινοβολίας είναι παρόμοια με της ολικής αλλά με μικρή αύξηση στην περιοχή των μικρότερων μηκών κύματος. Αυτό συμβαίνει διότι περισσότερος διασκορπισμός λαμβάνει χώρα στα μικρά μήκη κύματος. [5],[4]



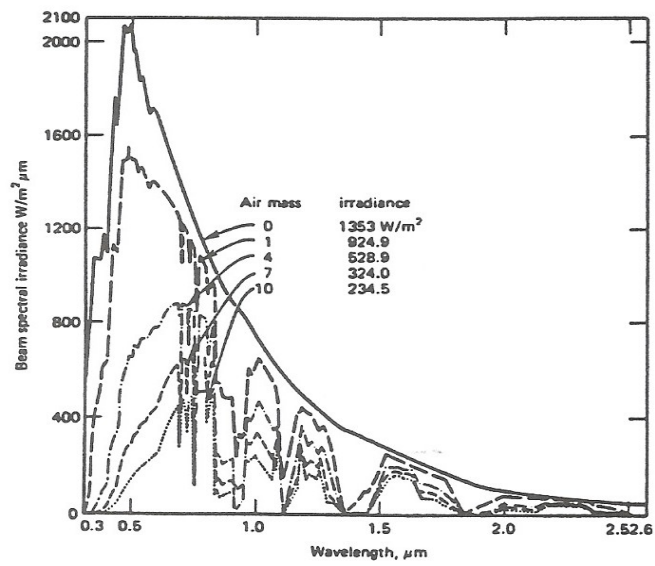
ΕΙΚΟΝΑ 6.5.1: ΦΑΣΜΑΤΙΚΗ ΚΑΤΑΝΟΜΗ ΤΗΣ ΗΛΙΑΚΗΣ ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑΣ. ΣΥΓΚΡΙΝΟΝΤΑΙ ΟΙ ΚΑΜΠΥΛΕΣ ΣΤΙΣ ΕΞΗΣ ΠΡΟΠΤΩΣΕΙΣ:

Α) ΗΛΙΑΚΟ ΦΑΣΜΑ ΕΚΤΟΣ ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΑΣ (ΑΕΡΙΟΣ ΜΑΖΑ $M=0$), $G_{sc}=1353 \text{ W/m}^2$

Β) ΚΑΜΠΥΛΗ ΜΕΛΑΝΟΣ ΣΩΜΑΤΟΣ ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑΣ 5762 K , ΟΛ. ΙΣΧΥΟΣ 1353 W/m^2

Γ) ΗΛΙΑΚΟ ΦΑΣΜΑ ΣΕ $M=1$ (ΔΗΛ. ΣΤΗΝ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑ ΤΗΣ ΘΑΛΑΣΣΑΣ ΜΕ ΤΟΝ ΗΛΙΟ ΣΤΟ ΖΕΝΙΘ)

Δ) ΗΛΙΑΚΟ ΦΑΣΜΑ ΣΕ $M=1$ ΧΩΡΙΣ ΑΠΟΡΡΟΦΗΣΗ.



ΕΙΚΟΝΑ 6.5.2: ΦΑΣΜΑΤΙΚΗ ΚΑΤΑΝΟΜΗ ΤΗΣ ΑΜΕΣΟΥ ΑΚΤΙΝΟΒΑΛΙΑΣ ΓΙΑ ΔΙΑΦΟΡΕΣ ΤΙΜΕΣ ΑΕΡΙΟΥ ΜΑΖΑΣ ΣΕ ΠΟΛΥ ΚΑΘΑΡΗ ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΑ ΜΕ 20ΜΜ ΥΔΡΑΤΜΩΝ ΚΑΙ 3.4ΜΜ Ο³

7 ΚΕΦΑΛΑΙΟ

ΕΝΕΡΓΗΤΙΚΑ ΚΑΙ ΠΑΘΗΤΙΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ

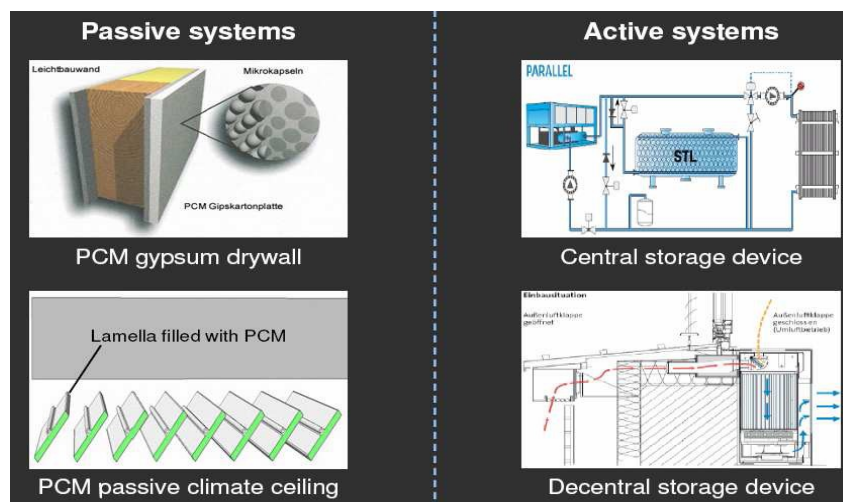
7.1.Ενεργητικά και παθητικά συστήματα

Στην παρούσα εργασία θα ασχοληθούμε με την εφαρμογή των PCM στα κτίρια ως παθητικά συστήματα τόσο για θέρμανση όσο και για ψύξη.Εδώ κρίνεται απαραίτητο να γίνει ο διαχωρισμός ανάμεσα στα ενεργητικά και στα παθητικά συστήματα.

Για την θέρμανση και την ψύξη ενός χώρου με την χρήση της ηλιακής ενέργειας, η τελευταία χρειάζεται να συλλεχθεί, να αποθηκευτεί και να διανεμηθεί κατάλληλα στον χώρο.Στα ενεργητικά συστήματα θέρμανσης-ψύξης, η ηλιακή ενέργεια συλλέγεται χρησιμοποιώντας κάποιου είδους συλλάκτες, για παράδειγμα δεξαμενές νερού.Νερό αποθηκευμένο σε πλαστικό , σε fibreglass, το οποίο χρησιμοποιείται ως μονωτικό υλικό, είναι κατασκευασμένο από άμμο και ανόργανα συστατικά και συνήθως υποκαθιστά με ασφάλεια τον ασβέστη, ή σε ατσάλινες δεξαμενές που είναι “glass-lined” αποτελεί το τυπικό μέσο θερμικής αποθήκευσης σε ηλιακά συστήματα θέρμανσης νερού, το οποίο διαχωρίζεται από το υπόλοιπο κτίριο με μόνωση.[53]Η ηλιακή ενέργεια που αποθηκεύεται στην μονάδα αποθήκευσης μπορεί να βρίσκεται σε μορφή αισθητής ή και λανθάνουσας θερμότητας και η ενέργεια διανέμεται στο χώρο χρησιμοποιώντας ηλεκτρικές βάνες, ανεμιστήρες ήκαι άλλα μέσα.

Από την άλλη στα παθητικά συστήματα θέρμανσης-ψύξης,η συλλογή, αποθήκευση και διανομή της ενέργειας γίνεται με φυσικά μέσα και γενικότερα, δεν χρησιμοποιείται καθόλου μηχανική ή ηλεκτρική ιχύς ή ηλεκτρονικός έλεγχος.Σε αυτά τα συστήματα, στοιχεία του κτιρίου όπως οι τοίχοι, η οροφή, τα παράθυρα επιλέγονται και τοποθετούνται με τέτοιο τρόπο ώστε να συμμετέχουν στην συλλογή, αποθήκευση, μεταφορά και διανομή της θερμικής ενέργειας.Τόσο τα στοιχεία του κτιρίου, όπως είναι τα κατασκευαστικά του υλικά (πέτρες, τούβλα, τσιμέντο, νερό, μόνωση και άλλα) και οι διάφορες θερμικές διεργασίες όπως η θερμική ακτινοβολία, η φυσική και η εξαναγκασμένη συναγωγή, η αγωγή, η εξάτμιση και άλλα, συνδιάζονται ποικιλοτρόπως ανάλογα με τις ιδιαίτερες ανάγκες του κάθε κτιρίου, οι οποίες εξαρτώνται και πάλι από τι κλίμα της περιοχής και το σκοπό κατασκευής του.Τα κατασκευαστικά υλικά,δηλαδή τα τούβλα, οι πέτρες , το τσιμέντο , το PCM και άλλα, βοηθούν στην αποθήκευση σεβαστών ποσοτήτων ενέργειας και στην χρονική καθυστέρηση και μείωση της έντασης του κύματος θερμότητας.[53]Κατά την διάρκεια της ημέρας, η θερμότητα αποθηκεύεται σε αυτά τα υλικά και αποδίδεται κατά τη διάρκεια της νύχτας, όταν είναι πίο απαραίτητη.

Τα συστήματα αποθήκευσης για παθητικής μορφής θερμότητα περιλαμβάνουν το άμεσο και το έμμεσο κέρδος. Στο άμεσο κέρδος, η θερμότητα λαμβάνεται μέσω ενός παραθύρου, ενός τοίχου ή ενός γυαλιού με νότιο προσανατολισμό, μέσω του πατώματος ή και μέσω αντικειμένων λόγω της ηλιακής ακτινοβολίας. Έτσι, η περιοχή του κτιρίου που θερμαίνεται τείνει να υπερθερμανθεί. Επιπλέον, οι θερμοκρασιακές διακυμάνσεις είναι συνήθως υψηλότερες από αυτές που δίνουν την αίσθηση της θερμικής άνεσης στον άνθρωπο. Μία αποτελεσματική μέθοδος για την μείωση των θερμοκρασιακών διακυμάνσεων είναι η εισαγωγή ενός τοίχου αποθήκευσης θερμότητας ανάμεσα στην άμεση ηλιακή ακτινοβολία και στο κτίριο. Αυτό αποτελεί το έμμεσο κέρδος. Παθητικά συστήματα έμμεσου κέρδους είναι για παράδειγμα ο τοίχος trombe και ο τοίχος νερού.



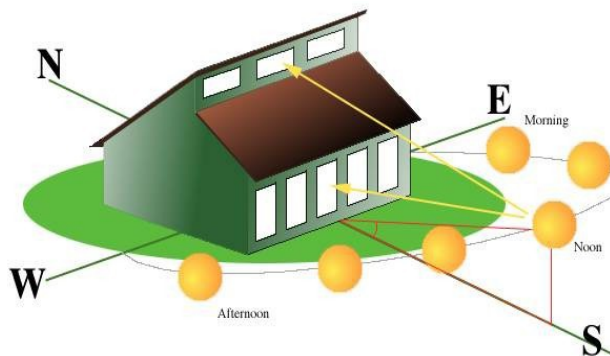
ΕΙΚΟΝΑ 7.1: ΠΑΘΗΤΙΚΑ ΚΑΙ ΕΝΕΡΓΗΤΙΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ

Γενικότερα, η εφαρμογή των PCM σε παθητικά συστήματα υπερέχει των συστημάτων που χρησιμοποιούν αισθητή θερμότητα κυρίως λόγω της μικρότερης μάζας και όγκου του απαιτούμενου συστήματος, της ποσότητας ενέργειας που αποθηκεύεται σε μια σχετικά στεθερή θερμοκρασία και των μικρότερων απωλειών θερμότητας προς το περιβάλλον συγκριτικά με τα συνιθισμένα συστήματα.

8 ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΠΑΘΗΤΙΚΟ ΗΛΙΑΚΟ ΣΥΣΤΗΜΑ ΘΕΡΜΑΝΣΗΣ

8.1.Γενικά

Με τον όρο παθητικό ηλιακό σύστημα εννοούμε το σύστημα εκείνο το οποίο για την θέρμανση του εκμεταλλεύεται την ηλιακή ενέργεια χωρίς την χρήση υψηλής τεχνολογίας και μηχανικών μέσων .Βασίζεται στη φυσική ροή της θερμικής ενέργειας ,εκμεταλλεύεται τις φυσικές ιδιότητες των υλικών του κτιρίου και χρησιμοποιεί για την συλλογή και την αποθήκευση της ηλιακής ακτινοβολίας τα δομικά του στοιχεία (ανοίγματα ,τοίχους,δάπεδα, οροφές). Η σωστή εκμετάλλευση της ηλιακής ενέργειας μπορεί να καλύψει ένα σημαντικό ποσό της απαιτούμενης ενέργειας που χρειάζεται για την κάλυψη των θερμικών αναγκών του κτιρίου.[2]



Για την αποτελεσματική αξιοποίηση της ηλιακής ενέργειας,δηλαδή για να υπάρχει σημαντική εξοικονόμηση ενέργειας,θα πρέπει να συντρέχουν οι παρακάτω προϋποθέσεις:

- Να υπάρχουν επαρκείς επιφάνειες ανοίγματα (παράθυρα), που να βλέπουν απ' ευθείας τον ήλιο για αρκετές ώρες την ημέρα τον χειμώνα.Για το λόγο αυτό συνιστάται ο νότιος προσανατολισμός ,ο οποίος είναι ο μόνος που "βλέπει" αρκετές ώρες τον ήλιο το χειμώνα .
- Να είναι το κτίριο καλά θερμομονωμένο, ώστε να μη χάνεται θερμότητα απο τις εξωτερικές του επιφάνειες (τοίχους,παράθυρα,οροφές δάπεδα)
- Να υπάρχουν εσωτερικά στο κτίριο τέτοια υλικά ,ώστε να αποθηκεύεται μέρος της θερμότητας από την ηλιακή ενέργεια και έτσι να έχουμε χώρους αρκετά (όχι υπερβολικά θερμούς όλες τις ώρες του εικοσιτετραώρου κατά τις οποίες χρησιμοποιούνται.Τα υλικά αυτά πρέπει να είναι μεγάλης μάζας (όπως κεραμικές πλάκες στο δάπεδο,

μπετόν,συμπαγή τούβλα ή πέτρα εσωτερικά στους τοίχους)ώστε να έχουν την απαιτούμενη θερμοχωρητικότητα

- Να είναι το κτίριο σωστά διαρρυθμισμένο,ωστε οι χώροι που απαιτούν περισσότερη θέρμανση να δέχονται την περισσότερη ηλιακή ακτινοβολία.[1]

Η λειτουργία των παθητικών συστημάτων βασίζεται σε 3 μηχανισμούς:

- **Το φαινόμενο του θερμοκηπίου** (συλλογή της ηλιακής ακτινοβολίας και η διατήρηση της στο εσωτερικό του κτιρίου για την θέρμανση των χώρων)
- **Τη θερμική υστέρηση των υλικών** (θερμοχωρητικότητα)
- **Τις αρχές μετάδοσης της θερμότητας** (την ιδιότητα της θερμότητας να μεταφέρεται από το θερμό στο κρύο αντικείμενο)

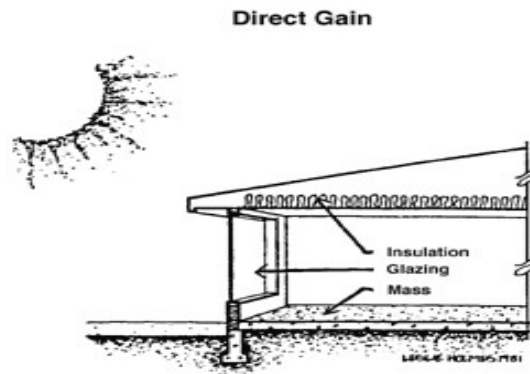
Είδη παθητικών ηλιακών συστημάτων για θέρμανση:

- Άμεσο κέρδος
- Έμμεσο κέρδος
- Απομονωμένο κέρδος

8.2.Παθητικές διατάξεις άμεσου κέρδους [2]

Το πιο απλό σύστημα είναι αυτό του άμεσου κέρδους ,που αποτελείται κυρίως από ένα καλά μονωμένο κτίριο με μια σχετικά μεγάλη νότια προσανατολισμένη επιφάνεια με τζάμι που δέχεται τις ακτίνες του χειμερινού ηλίου υπό μικρή γωνία. Τα συστήματα άμεσου κέρδους χρησιμοποιούν τους χώρους που καταλαμβάνει το κτίριο για τη συλλογή, την αποθήκευση και τη διανομή της ηλιακής θερμότητας.Το θέρος, το μεγάλο ύψος του ηλίου περιορίζει την ακτινοβολία που μεταδίδεται από τα τζάμια και ένα προστέγασμα μπορεί να αποκλείσει τελείως τον ήλιο.

Το κτίριο χρειάζεται θερμική μάζα για να αποθηκεύσει θερμότητα κατά τη διάρκεια της ημέρας και να την επανεκπέμψει κατά τη νύχτα.Η θερμική μάζα είναι συνήθως υπό τη μορφή εξωτερικά μονωμένων χτισμένων τοίχων σε πιθανό συνδυασμό με ένα συμπαγές πάτωμα με υποδαπέδια μόνωση.Ο ήλιος ακτινοβολεί κατευθείαν στη θερμική μάζα, η ενέργεια αποθηκεύεται και επιτυγχάνονται διακυμανσεις στη θερμοκρασία των κατωτέρων στρωμάτων του αέρα.



EIKONA 8.2.1: ΑΜΕΣΟ ΚΕΡΔΟΣ

8.2.1. Απαιτήσεις

Οι βασικές απαιτήσεις για ένα σύστημα άμεσου κέρδους είναι μια μεγάλη νότια επιφάνεια με τζάμι με ένα χώρο διαβίωσης αμέσως πίσω από το τζάμι. Η θερμική μάζα μπορεί να είναι στην οροφή, δάπεδο ή στους τοίχους. Φυσικά μπορεί να έχουμε και συνδυασμό και των τριών αυτών διαρρυθμίσεων. Η έκταση και η χωρητικότητα τους πρέπει να είναι κατάλληλα κατανομημένη και τοποθετημένη για ηλιακή έκθεση και αποθήκευση. Ένα μέσο μόνωσης μπορεί να προστατεύει τη μάζα θερμικής αποθήκευσης και τις εξωτερικές κλιματικές συνθήκες. Για την πρώτη απαίτηση, μια κατάλληλη επιφάνεια κατακόρυφου τζαμιού, συχνά διπλού για την ελαχιστοποίηση των θερμικών απωλειών, προσανατολίζεται νότια ώστε να δέχεται τη μέγιστη ωφέλιμη ακτινοβολία, περιορίζοντας ταυτόχρονα το ηλιακό κέρδος το καλοκαίρι.

Στη Βόρεια Ευρώπη, τριπλό τζάμι, κινητή μόνωση που εφαρμόζεται τη νύχτα στο διπλό τζάμι, ή τζάμι χαμηλής εκπομπής συνιστώνται για το ηλιακό άνοιγμα ώστε να αποφεύγονται εκτεταμένες απώλειες θερμότητας.

8.2.2. Παραλλαγές διατάξεων άμεσου κέρδους

Πέρα από αυτές τις βασικές απαιτήσεις υπάρχει μία σειρά από παραλλαγές και ελέγχους που παρέχουν εναλλακτικές λύσεις για τα συστήματα άμεσου κέρδους. Οι πιο κοινές ποικιλίες είναι στη θέση της θερμικής μάζας. Η καλύτερη θέση εξαρτάται από τους φυσικούς νόμους ροής της θερμότητας με ακτινοβολία και μεταφορά. Μεταξύ αυτών των περιορισμών η πρωτεύουσα αποθήκευση μπορεί να έχει διάφορες μορφές:

- Στο δάπεδο
- Σε ελεύθερη μάζα μέσα στο χώρο
- Στην οροφή
- Σε εσωτερικούς τοίχους
- Σε μονωμένους εξωτερικούς τοίχους.

Η διανομή ή η συγκέντρωση της θερμικής μάζας παρέχει την πρώτη υποδιαίρεση των παθητικών τυπων άμεσου κέρδους. Και οι δυο υποδιαίρεσεις έχουν συσκευές με νότιο προσανατολισμό αλλά διαφέρουν στον τρόπο διαχείρισης του ηλιακού φωτός όταν αυτό εισέρχεται στο κτίριο. Ο ένας επιτρέπει στο ηλιακό φως να πέσει σε μία συγκεντρωμένη επιφάνεια θερμικής μάζας και ο άλλος διαχέει ή ανακλά το ηλιακό φως έτσι ώστε να διανέμεται σε μία μεγάλη επιφάνεια θερμικής μάζας.

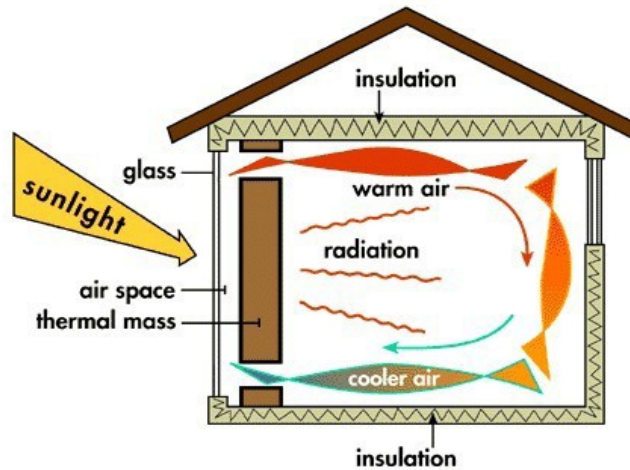
Τα υλικά που χρησιμοποιούνται για την αποθήκευση της θερμότητας ποικίλουν και μπορεί να είναι σκυρόδεμα, τούβλα και κεραμικά, νερό και άλλα υγρά είτε μόνα τους είτε σε ποικιλία συνδυασμών.

8.3. Παθητικές διατάξεις έμμεσου κέρδους [1]

Συστήματα έμμεσου κέρδους είναι τα παθητικά ηλιακά συστήματα που συλλέγουν την ηλιακή ενέργεια και την αποδίδουν με έμμεσο τρόπο στους εσωτερικούς χώρους του κτιρίου, μέσω είτε δομικών στοιχείων είτε ανοιγμάτων διαφόρων ειδών (θυρίδων, αγωγών, κ.ά.). Συνήθως προσαρτώνται σε νότιες όψεις κτιρίων (συνιστάται μέχρι 30 ο απόκλιση από το Νότο).

Τα συστήματα έμμεσου κέρδους διακρίνονται εν γένει στις εξής κατηγορίες:

- Ηλιακοί τοίχοι
- Ηλιακοί χώροι - θερμοκήπια
- Ηλιακά αίθρια
- Συστήματα απομονωμένου κέρδους (εκτός του κτιριακού περιβλήματος)



EIKONA 8.3.1: ΕΜΜΕΣΟ ΚΕΡΑΙΟΣ

8.3.1. Ηλιακοί τοίχοι

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

Οι ηλιακοί τοίχοι συλλέγουν την ηλιακή ενέργεια και τη μεταδίδουν σε μορφή θερμότητας στους χώρους. Στην Ελλάδα έχουν εφαρμοστεί ηλιακοί τοίχοι κυρίως σε κατοικίες.

Από μετρήσεις, ενεργειακές καταγραφές και προσομοιώσεις βιοκλιματικών κτιρίων σε διάφορες περιοχές της χώρας, προκύπτει ότι μπορούν να συνεισφέρουν σε εξοικονόμηση ενέργειας για θέρμανση κατοικιών σε ποσοστό 10-40% (μεγαλύτερη συνεισφορά εξοικονόμησης σε περιοχές με σχετικά ήπιο κλίμα).

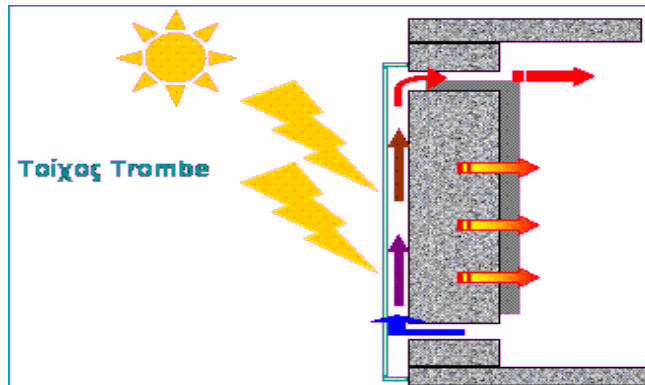
a. Τοίχοι θερμικής αποθήκευσης

Οι τοίχοι θερμικής αποθήκευσης αποτελούνται από τοίχο κατασκευασμένο από υλικά υψηλής θερμοχωρητικότητας όπως σκυρόδεμα, πέτρα, συμπαγή τούβλα, ή δοχεία που περιέχουν νερό ή άλλο υλικό (υλικό αλλαγής φάσης). Η εξωτερική τους επιφάνεια είναι σκούρου χρώματος για αύξηση της απορρόφησης της ηλιακής ακτινοβολίας.

Η απορροφώμενη ακτινοβολία μεταδίδεται με αγωγή, ακτινοβολία και συναγωγή (μεταφορά μέσω του αέρα) στον εσωτερικό χώρο.

Οι τοίχοι θερμικής αποθήκευσης μπορεί να είναι:

- απλοί τοίχοι μάζας (μη θερμοσιφωνικής ροής, χωρίς θυρίδες) είτε συμπαγούς κατασκευής, είτε αποτελούμενοι από δοχεία νερού ή με υλικά αλλαγής φάσης
- Τοίχοι μάζας θερμοσιφωνικής ροής (Trombe - Michel)



ΕΙΚΟΝΑ 8.3.1.1:ΤΟΙΧΟΣ TROMBE

Στην περίπτωση του τοίχου Trombe - Michel, μέρος της συλλεγόμενης θερμότητας στο διάκενο μεταξύ τοίχου και υαλοπίνακα μεταφέρεται μέσω θυρίδων στον εσωτερικό χώρο.

Οι θυρίδες του τοίχου βρίσκονται στο άνω και κάτω τμήμα του και κατά τη διάρκεια της ημέρας το χειμώνα παραμένουν ανοικτές. Έτσι, μέρος της θερμικής ενέργειας που συσσωρεύεται στο διάκενο (μεταξύ τοίχου και υαλοστασίου) μεταφέρεται με φυσική κυκλοφορία του αέρα από τις θυρίδες στο επάνω μέρος του τοίχου στον εσωτερικό χώρο. Αντίστοιχα, ο ψυχρός αέρας του χώρου μεταφέρεται μέσω των θυρίδων στο κάτω μέρος του τοίχου στο διάκενο, όπου και θερμαίνεται και ανέρχεται, δημιουργώντας συνεχή ροή θερμότητας προς το χώρο. Κατά τη διάρκεια της νύκτας και τις νεφοσκεπείς ημέρες οι θυρίδες στο επάνω μέρος του τοίχου μπορούν να παραμένουν κλειστές, ώστε να εμποδίζεται η αντίστροφη κίνηση του θερμού αέρα από το χώρο προς την εξωτερική ψυχρή επιφάνεια του υαλοπίνακα.

Για όλους τους τοίχους θερμικής αποθήκευσης απαιτείται ηλιοπροστασία της συλλεκτικής επιφάνειας κατά τη διάρκεια του καλοκαιριού με κινητά εξωτερικά πετάσματα. Παράλληλα, συνιστάται κατά τη διάρκεια της νύκτας να ανοίγουν τμήματα του υαλοστασίου, ώστε ο αέρας που βρίσκεται στο διάκενο, να κατευθύνεται προς το εξωτερικό περιβάλλον, παρασύροντας και τον αέρα του εσωτερικού χώρου.

Στις περιοχές όπου παρατηρούνται χαμηλές θερμοκρασίες κατά τη χειμερινή περίοδο συνιστώνται διπλοί υαλοπίνακες στο υαλοστάσιο καθώς και νυχτερινή προστασία με κινητά θερμομονωτικά εσωτερικά (στο διάκενο) ή εξωτερικά πετάσματα.

Κατά τη διάρκεια της νύκτας και τις νεφοσκεπείς ημέρες οι θυρίδες στο επάνω μέρος του τοίχου μπορούν να παραμένουν κλειστές, ώστε να εμποδίζεται η αντίστροφη κίνηση του θερμού αέρα από το χώρο προς την εξωτερική ψυχρή επιφάνεια του υαλοπίνακα.

Για όλους τους τοίχους θερμικής αποθήκευσης απαιτείται ηλιοπροστασία της συλλεκτικής επιφάνειας κατά τη διάρκεια του καλοκαιριού με κινητά εξωτερικά πετάσματα.

Παράλληλα, συνιστάται κατά τη διάρκεια της νύχτας να ανοίγουν τμήματα του υαλοστασίου, ώστε ο αέρας που βρίσκεται στο διάκενο, να κατευθύνεται προς το εξωτερικό περιβάλλον, παρασύροντας και τον αέρα του εσωτερικού χώρου. Στις περιοχές όπου παρατηρούνται χαμηλές θερμοκρασίες κατά τη χειμερινή περίοδο συνιστώνται διπλοί υαλοπίνακες στο υαλοστάσιο καθώς και νυχτερινή προστασία με κινητά θερμομονωτικά εσωτερικά (στο διάκενο) ή εξωτερικά πετάσματα.

β. Θερμοσιφωνικό πανέλο

Αποτελεί σύστημα παρόμοιας κατασκευής και λειτουργίας με τον τοίχο Trombe - Michel , χωρίς την ύπαρξη και λειτουργία της θερμικής μάζας.

Η βασική διαφορά από τον τοίχο μάζας θερμοσιφωνικής ροής είναι ότι ο τοίχος του πανέλου απομονώνεται θερμικά από το διάκενο με χρήση θερμομόνωσης και η μεταφορά θερμότητας γίνεται μόνο με συναγωγή (μεταφορά) από τον αέρα του διακένου, ο οποίος μεταφέρεται στον εσωτερικό χώρο μέσω των θυρίδων ή αγωγών.

Επί πλέον, το θερμοσιφωνικό πανέλο συνήθως φέρει στην εξωτερική επιφάνεια του τοίχου προς το διάκενο μεταλλική απορροφητική πλάκα για μεγαλύτερη απόδοση.

Έτσι, κατά τη χειμερινή περίοδο, η προσπίπτουσα ηλιακή ακτινοβολία στο συλλέκτη (γυάλινη επιφάνεια) μετατρέπεται σε θερμική και μεταφέρεται στον εσωτερικό χώρο μέσω θυρίδων στο άνω τμήμα του πανέλου. Θυρίδες στο κατώτερο τμήμα επιτρέπουν την εισροή αέρα από το εσωτερικό του κτιρίου στο διάκενο του θερμοσιφωνικού πανέλου. Κατά τη θερινή περίοδο, η λειτουργία του αντιστρέφεται. Ανοίγματα στο άνω τμήμα του υαλοστασίου επιτρέπουν την κίνηση του θερμού αέρα προς τον εξωτερικό χώρο με αποτέλεσμα το δροσισμό του κτιρίου.



ΕΙΚΟΝΑ 8.3.1.2: ΘΕΡΜΟΣΙΦΩΝΙΚΟ ΠΑΝΕΛΟ

8.3.2. Ηλιακός χώρος (θερμοκήπιο)

Είναι κλειστός χώρος, με μεγάλο ποσοστό γυάλινης επιφάνειας, ο οποίος προσαρτάται ή ενσωματώνεται σε τμήμα του κτιριακού κελύφους.

Για την αποτελεσματική του λειτουργία απαιτούνται:

- νότιος προσανατολισμός (± 30 ο N)
- θυρίδες ή και άλλα ανοίγματα (παράθυρα ή πόρτες) προς το εσωτερικό του κτιρίου
- σύστημα σκιασμού και αερισμού



ΕΙΚΟΝΑ 8.3.2.1: ΗΛΙΑΚΟΣ ΧΩΡΟΣ

Η ηλιακή ακτινοβολία, διερχόμενη από τα νότια υαλοστάσια του θερμοκηπίου, μετατρέπεται σε θερμική και μέρος αυτής αποδίδεται άμεσα στο χώρο, αυξάνοντας τη θερμοκρασία του, ενώ μέρος της αποθηκεύεται στα

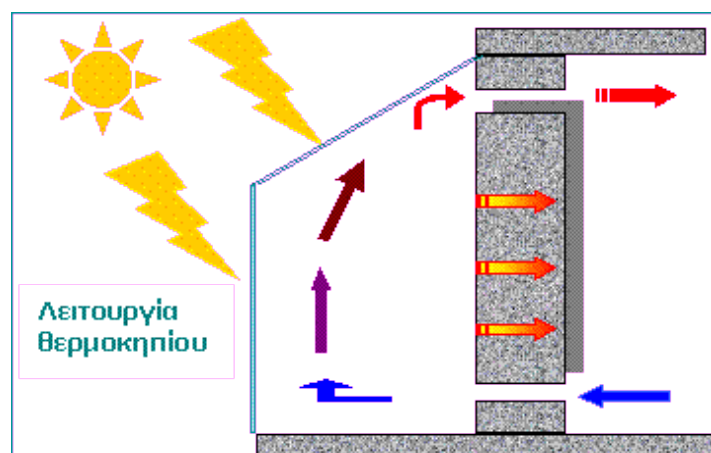
δομικά στοιχεία του χώρου (θερμική μάζα) και αποδίδεται με χρονική υστέρηση.

Η μεταφορά της θερμικής ενέργειας, που συσσωρεύεται στον ηλιακό χώρο, προς το εσωτερικό του κτιρίου επιτυγχάνεται μέσω των θυρίδων ή ανοιγμάτων του κοινού δομικού στοιχείου.

Για τη μείωση των θερμικών απωλειών κατά τη χειμερινή περίοδο, συνιστάται η νυχτερινή προστασία του υαλοστασίου με θερμομονωτικά εσωτερικά πετάσματα, εκτός αν το τμήμα του κτιριακού κελύφους, με το οποίο ο ηλιακός χώρος βρίσκεται σε επαφή, είναι θερμομονωμένο.

Ειδικότερα, σε περιοχές όπου παρατηρούνται πολύ χαμηλές θερμοκρασίες κατά τη διάρκεια της χειμερινής περιόδου, συνιστάται η εφαρμογή διπλών υαλοπινάκων στον ηλιακό χώρο, καθώς και θερμομόνωση του κοινού τμήματος της τοιχοποιίας.

Στην Ελλάδα, από μετρήσεις και προσομοιώσεις που έγιναν σε κατοικίες που εφαρμόζουν θερμοκήπια προκύπτει ότι αυτά συνεισφέρουν σε εξοικονόμηση ενέργειας για θέρμανση της τάξης του 13 με 30%.



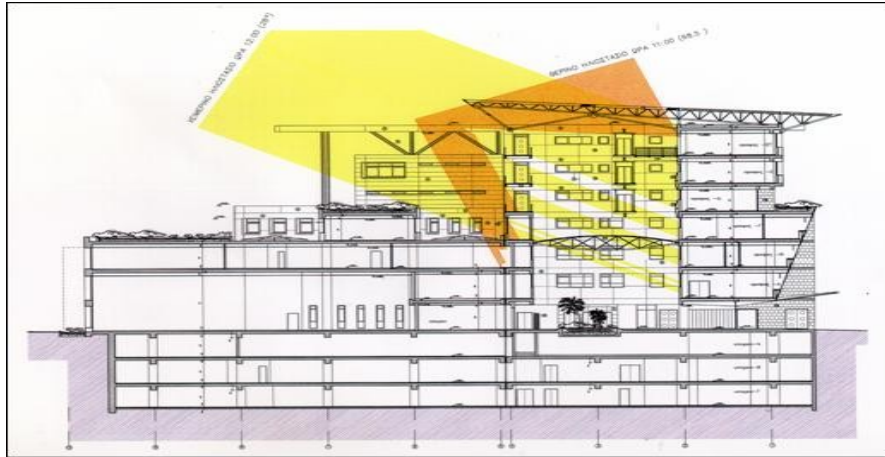
ΕΙΚΟΝΑ 8.3.2.2: ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑ ΤΟΥ ΘΕΡΜΟΚΗΠΙΟΥ

8.3.3. Ηλιακό αίθριο

Ο αιθριακός χώρος ενός κτιρίου ο οποίος επικαλύπτεται με υαλοστάσια αποτελεί ένα άλλο σύστημα έμμεσου ηλιακού κέρδους, το ηλιακό αίθριο.

Η ηλιακή ενέργεια συλλέγεται από το γυάλινο στοιχείο της οροφής, συσσωρεύεται στον εσωτερικό χώρο του αιθρίου και μέρος της μεταφέρεται στους περιβάλλοντες εσωτερικούς χώρους του κτιρίου ή των κτιρίων μέσω των ανοιγμάτων τους, ενώ μέρος αποθηκεύεται στα δομικά στοιχεία.

Κατά τη χειμερινή περίοδο το ηλιακό αίθριο λειτουργεί και ως χώρος θερμικής ανάσχεσης. Κατά τη θερινή περίοδο όμως, για την αποφυγή υπερθέρμανσης, απαιτείται αερισμός του αιθρίου μέσω ανοιγμάτων στη γυάλινη οροφή καθώς και πλήρης σκιασμός.



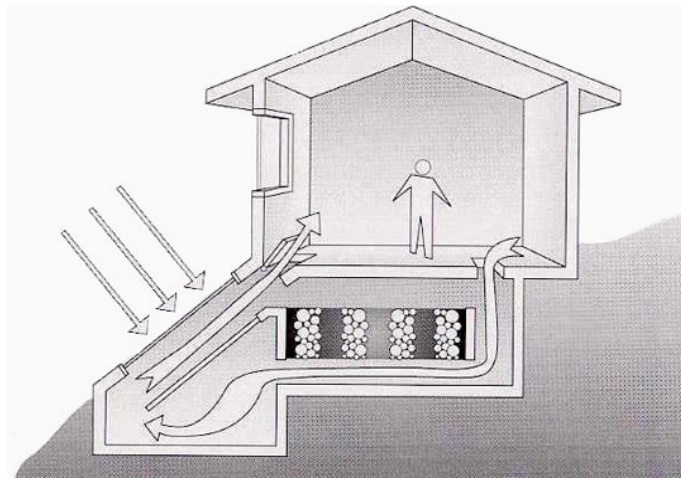
ΕΙΚΟΝΑ 8.3.3.1: ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΟΣ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΤΟΥ ΚΤΙΡΙΟΥ ΤΗΣ Ε.Σ.Υ.Ε. ΣΤΗΝ ΟΔΟ ΠΕΙΡΑΙΩΣ: ΤΟΜΗ ΚΤΙΡΙΟΥ - ΑΝΑΛΥΣΗ ΗΛΙΑΣΜΟΥ ΚΑΙ ΣΚΙΑΣΜΟΥ ΤΩΝ ΗΛΙΑΚΩΝ ΑΙΘΡΙΩΝ

8.3.4. Σύστημα απομονωμένου κέρδους:

Θερμοσιφωνικό πανέλο εκτός του κτιριακού περιβλήματος

Το απομονωμένο θερμοσιφωνικό πανέλο λειτουργεί όπως και το θερμοσιφωνικό πανέλο που είναι προσαρτημένο στη όψη του κτιρίου, βρίσκεται όμως εκτός του κτιριακού περιβλήματος. Αποτελείται από υαλοπίνακα, διάκενο αέρα και μεταλλική σκουρόχρωμη επιφάνεια, που φέρει μόνωση εξωτερικά. Τοποθετείται εν γένει χαμηλότερα από τους κύριους χώρους του κτιρίου με κλίση 40° περίπου.

Η θερμότητα που συλλέγεται στο διάκενο αέρα, μεταφέρεται μέσω αγωγών με θερμοσιφωνική ροή είτε απ' ευθείας στους χώρους του κτιρίου, είτε σε αποθήκη θερμότητας (rock bed) απ' όπου αποδίδεται σταδιακά στους χώρους.



ΕΙΚΟΝΑ 8.3.4.1: ΣΥΣΤΗΜΑ ΑΠΟΜΟΝΩΜΕΝΟΥ ΚΕΡΑΙΟΥΣ

9 ΚΕΦΑΛΑΙΟ

ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ PCM ΣΤΑ ΚΤΙΡΙΑ ΩΣ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΠΑΘΗΤΙΚΗΣ ΑΠΟΘΗΚΕΥΣΗΣ

Τρεις είναι οι κύριοι τρόποι για χρήση PCM στα κτίρια για θέρμανση-ψύξη:

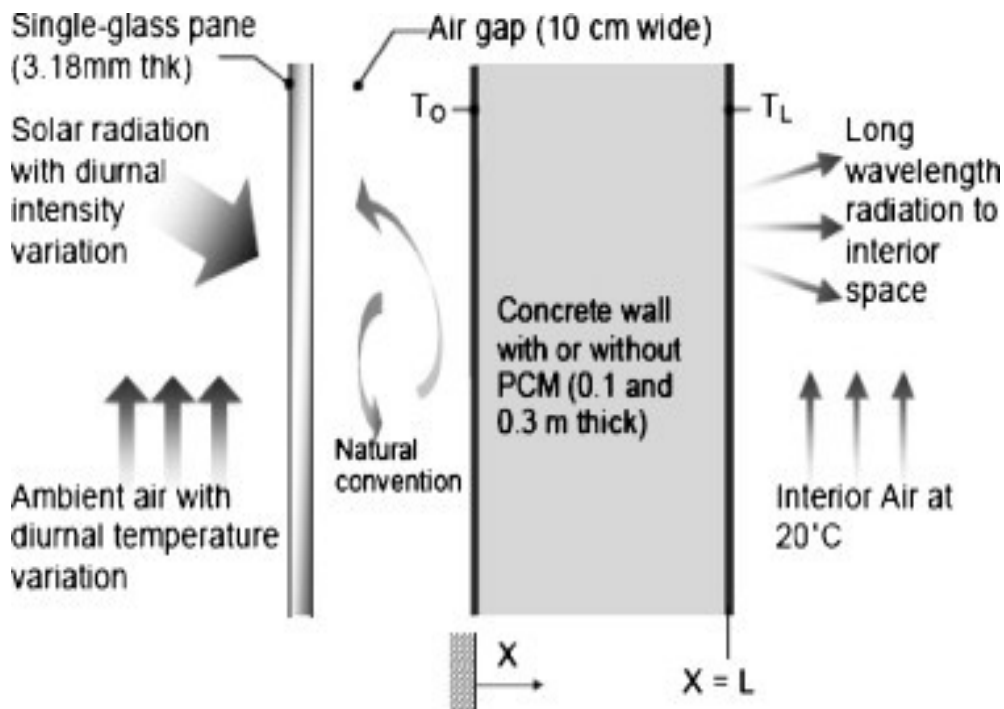
1. Τοποθέτηση των PCM στους τοίχους των κτιρίων.
2. Τοποθέτηση των PCM σε στοιχεία των κτιρίων διαφορετικά από τους τοίχους.
3. Τοποθέτηση των PCM σε θερμές και ψυχρές μονάδες αποθήκευσης.

Τα πρώτα δυο αναφέρονται σε παθητικά συστήματα, όπου η θέρμανση και η ψύξη που αποθηκεύονται αποδίδονται αυτόματα όταν η εσωτερική ή η εξωτερική θερμοκρασία αυξάνεται ή μειώνεται κάτω από το σημείο τήξης. Το τρίτο είναι ένα 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 αυτό απαιτείται και όχι αυτόματα.

9.1. Τοίχος trombe με PCM

Ο τοίχος trombe αποτελεί ένα χαρακτηριστικό παράδειγμα περίπτωσης με έμμεσο θερμικό κέρδος. Αποτελείται από ένα συνηθισμένο αλλά παχύ τοίχο στην νότια πλευρά του κτιρίου, με ένα γυάλινο ή πλαστικό κάλυμμα τοποθετημένο σε απόσταση περίπου τεσσάρων ιντσών από τον τοίχο. Θερμότητα από τον ήλιο αποθηκεύεται στον χώρο ανάμεσα στον τοίχο και στο κάλυμμα, ενώ η το μαύρο χρώμα της εξωτερικής επιφάνειας του τοίχου που απορροφά επίσης θερμότητα, την αποθηκεύει στην μάζα του τοίχου. Θερμότητα διανέμεται από τον τοίχο trombe στο κτίριο για αρκετές ώρες. Όταν η θερμοκρασία του εσωτερικού χώρου πέσει κάτω από την θερμοκρασία του τοίχου, τότε θερμότητα αρχίζει να μεταδίδεται με ακτινοβολία στον χώρο και πιθανές απώλειες μπορούν να ελεγχθούν με την προσθήκη μιάς μονωτικής κουρτίνας, η οποία θα είναι κλειστή το βράδυ, ανάμεσα στο κάλυμμα και στον τοίχο. Ο παραδοσιακός τοίχος trombe βασιζόταν στην αισθητή μορφή θερμότητα, αλλά προκειμένου να αυξήσουμε την αποθήκευσή της ανα μονάδα μάζας, ο τοίχος trombe με PCM αποτελεί μία ελκυστική ιδέα. Έτσι, ένας τοίχος που περιέχει PCM κατασκευάζεται στην νότια πλευρά του κτιρίου, ο οποίος θα θερμαίνεται από την ηλιακή ακτινοβολία κατά την διάρκεια της ημέρας, τήκοντας το PCM, και αποδίδοντας την απορροφώμενη θερμότητα το βράδυ προς θέρμανση του

κτιρίου. Για δεδομένη ποσότητα θερμότητας που θέλουμε να αποθηκεύσουμε, οι μονάδες αλλαγής φάσης απαιτούν λιγότερο χώρο από τους τοίχους με νερό ή από τους παραδοσιακούς τοίχους trombe, και είναι και πολύ ελαφρύτεροι. [53] Συνήθως, ως PCM σε τοίχους trombe χρησιμοποιούνται ένυδρα άλατα και υδρογονάνθρακες. Ένα σχηματικό διάγραμμα τοίχου trombe, με PCM παρουσιάζεται παρακάτω:



ΕΙΚΟΝΑ 9.1.1: ΣΧΗΜΑΤΙΚΟ ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ ΤΟΙΧΟΥ TROMBE ΜΕ PCM

Ο Bourdeau ερεύνησε δύο τοίχους παθητικής αποθήκευσης θερμότητας που χρησιμοποιούσαν calcium chloride hexahydrate, με σημείο τήξης 29°C [75]. Κατέληξε ότι ένας τοίχος πάχους 8.1 cm με PCM παρουσίαζε ελαφρώς καλύτερη συμπεριφορά από έναν κλασσικό τοίχο πάχους 40 cm.

Οι Buddhi και Sharma [76] μέτρησαν το κατά πόσο μεταφέρεται ηλιακή ακτινοβολία μέσω ενός υλικού αλλαγής φάσης για διαφορετικές θερμοκρασίες και πάχη. Ως PCM επιλέχθηκε stearic acid, και κατέληξε 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 τους σε τοίχους παράθυρα, ως διαφανές μονωτικό υλικό.

9.2.Παραθυρόφυλλο με PCM

Σε αυτή την εφαρμογή, παραθυρόφυλλο που περιέχει PCM τοποθετείται έξω από επιφάνειες παραθύρων. Κατά την διάρκεια της ημέρας είναι ανοιχτά προς το περιβάλλον, η εξωτερική του πλευρά εκτίθεται σε ηλιακή ακτινοβολία απορροφάται θερμότητα και το PCM λιώνει. Την νύχτα, κλείνουμε το παραθυρόφυλλο, ανοίγουμε το παράθυρο και θέρμανση από το PCM εισέρχεται λόγω ακτινοβολίας στον χώρο. Οι Budhi et al.,[7] ερεύνησαν την θερμική συμπεριφορά ενός δοκιμαστικού δωματίου διαστάσεων 1 m x 1 m x 1m, με και χωρίς υλικό αλλαγής φάσης. Ως υλικό αποθήκευσης της λανθάνουσας μορφής θερμότητας χρησιμοποιήθηκε το CG lauric acid, και βρέθηκε ότι η ικανότητα θερμικής αποθήκευσης του δωματίου αυξήθηκε κατά 4° C για 4-5 ώρες, όταν χρησιμοποιείται νύχτα, χάρη στην παρουσία του PCM.[53]

vertical (right) and horizontal inner blinds (below) with PCM



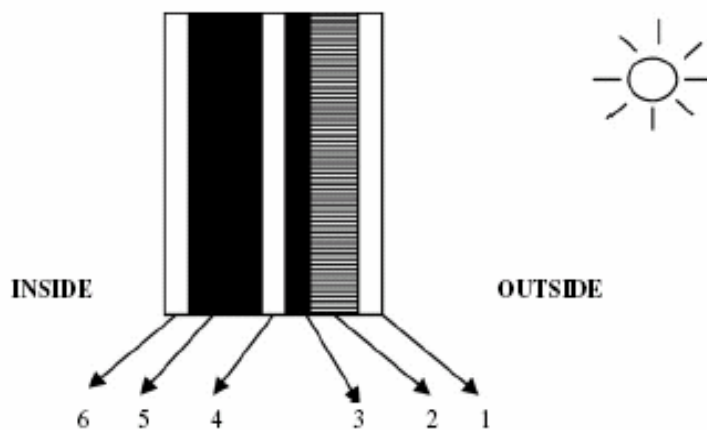
ΕΙΚΟΝΑ 9.2.1: ΠΑΡΑΘΥΡΟΦΥΛΛΑ ΜΕ PCM

9.3.Τοίχος συλλογής ηλιακής θερμότητας για αερισμό του κτιρίου

Όπως είναι γνωστό ένας τοίχος PCM έχει την δυνατότητα να αιχμαλωτίζει μεγάλο μέρος της ηλιακής ακτινοβολίας που προσπίπτει στους τοίχους και στην οροφή του κτιρίου. Εξ αιτίας της μεγάλης θερμικής τους μάζας μπορούν να ελαχιστοποιούν 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[78] σχεδίασαν και εξέτασαν ένα σύστημα αποθήκευσης λανθάνουσας θερμότητας (LTHS) για τον αερισμό ενός

κτιρίου.Οι 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 άλλη εφαρμογή για την θερμική αποθήκευση με PCM.Σε αυτή την περίπτωση η ακτινοβολία που προσπίπτει στον τοίχο απορροφάται από το PCM και "θάβεται" στον τοίχο. Οι Stritih και Novak [79] 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.



ΕΙΚΟΝΑ 9.3.1:ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΤΟΥ PCM ΗΛΙΑΚΟΥ ΤΟΙΧΟΥ

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 την θερμότητας με ακτινοβολία.Στη συνέχεια το PCM (3), το οποίο βρίσκεται σε μία διαφανή πλαστική θήκη από polycarbonate, 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 επίσης μειώνονται στην επιφάνεια του τοίχου.[7]

9.4. Γυψοσανίδα με ενσωματωμένο PCM [7]

Η γυψοσανίδα με PCM ή το πάνελ είναι ένας εξαιρετικά ενδιαφέρον τύπος υλικού, με ενσωματωμένο υλικό αποθήκευσης θερμότητας, για κατασκευή κτιρίου.Κατά την διάρκεια των περασμένων 20 έτων, πολλά είδη καψουλών μεγάλων διαστάσεων βγήκαν στο εμπόριο τόσο για ενεργητικά όσο και για παθητικά συστήματα, συμπεριλαμβανομένου του άμεσου κέρδους. Παρ'όλα αυτά, η επιφάνεια των περισσότερων εμπορικών προϊόντων που είναι αποθηκευμένα σε μορφή κάψουλας, δεν ήταν ικανή να μεταδώσει την θερμότητα στο κτίριο ύστερα από την τήξη του PCM από την άμεση ηλιακή ακτινοβολία, γι αυτό και έχουν διεξαχθεί πολλές έρευνες.

Γυψοσανίδες με PCM θα μπορούσαν να αντικαταστήσουν στις παραδοσιακές γυψοσανίδες κατά την διάρκεια της κατασκευής ή και της ανακαίνισης ενός κτιρίου.Έτσι, θα παρέχουν στο κτίριο την θερμική αποθήκευση, η οποία θα διανέμεται σε όλη του την έκταση, ενισχύοντας το παθητικό σύστημα και περιορίζοντας τα απαιτούμενα μέγιστα ηλεκτρικά φορτία για θέρμανση-ψύξη.

Οι Peippo et al. [84] θεώρησαν μία γυψοσανίδα με ενσωματωμένο PCM ως μέσο αποθήκευσης σε μία ελαφριά κατασκευή κατοικίας έκτασης 120 m² με καλή μόνωση και μία μεγάλη έκταση της νότιας επιφάνειας κατασκευασμένη από γυαλί, στο Madison, Wisconsin.Το κτίριο μπορούσε να εξοικονομήσει μέχρι 3 GJ το χρόνο ή αλλιώς το 15 % του ετήσιου ενεργειακού κόστους.Επιπλέον, κατέληξαν στο ότι η βέλτιστη αποθήκευση ενέργειας προκύπτει όταν το PCM έχει θερμοκρασία τήξης περίπου 1-3 ° C πάνω από την μέση θερμοκρασία του δωματίου.

Οι Stetiu και Feustel [80], ερεύνησαν την χρήση διπλής γυψοσανίδας με PCM για την περεταίρω αύξηση της αποθηκευτικής ικανότητας ενός κτιρίου, ώστε οι θερμοκρασίες του δωματίου να διατηρηθούν πιο κοντά στα ανώτερα όρια θεμικής άνεσης, χωρίς τη χρήση μηχανικής ψύξης.Τα αποτελέσματα από την προσομοίωση μίας οικίας με υψηλά εσωτερικά φορτία και δεδομένες καιρικές συνθήκες για την περιοχή Sunnyvale, California έδειξαν σημαντική πτώση της θερμοκρασίας του εσωτερικού αέρα, όταν η θερμότητα αποθηκεύεται στο PCM των γυψοσανίδων.Αν και οι προσομοιώσεις έχουν δείξει τα πιθανά οφέλη από την χρήση των PCM στους τοίχους, οι ερευνητές κατάληξαν στο ότι ψύξη του "φακέλου" του κτιρίου μέσω της κίνησης του αέρα στον χώρο, αποτελεί έναν μη αποδοτικό τρόπο μεταφοράς της θερμότητας.Η κίνηση του αέρα κοντά στους τοίχους, η οποία καθορίζει και την ποσότητα της θερμότητας που μεταφέρεται, είναι σχετικά μικρή.Κυρίως σε περιόδους όπου η θερμοκρασία του περιβάλλοντος είναι

σχετικά υψηλή και την νύχτα, θα ήταν αποδοτική η εξαναγκασμένη παροχή αέρα κατά μήκος των επιφανειών των τοίχων για να διευκολύνει την ανταλλαγή θερμότητας. Η μειωμένη ικανότητα απόρριψης του αέρα που χρησιμοποιείται για ψύξη το καλοκαίρι, απαιτεί είτε αύξηση της αποθηκευτικής ικανότητας είτε μείωση του ποσού της θερμότητας που αποθηκεύεται.

Ο Neeper [63] έχει εξετάσει την δυναμική μιάς γυψοσανίδας με ενσωματωμένα fatty acids και paraffin waxes ως PCM που υπόκεινται στην ημερίσια θερμοκρασιακή διακύμανση του δωματίου, χωρίς όμως να προσπίτει άμεσα σε αυτά ηλιακή ακτινοβολία. Η παρατήρηση που έγινε από τον συγγραφέα είναι ότι η μέγιστη τιμή της ημερίσιας 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 PCM για λόγους αποθήκευσης θερμότητας στα κτίρια. Έτσι, το Fraunhofer Institute, Germany προσομοίωσε την θερμική συμπεριφορά των στοιχείων κτιρίου, προκειμένου να συγκρίνει την δυναμική απόδοση των διαφόρων ειδών τοίχων, που περιείχαν ποικίλα PCM. Η βάση τους είναι ένα μοντέλο, που εξετάζει την αλλαγή φάσης και είναι εμπειρικά επικυρωμένο από μετρήσεις σε δείγματα τοίχων, διαστάσεων $0.5 \times 0.5 \text{ m}^2$. Ερεύνησαν την επίδραση που έχουν τα PCM ως συνάρτηση του θερμοκρασιακού εύρους της αλλαγής φάσης, της ποσότητας του PCM και 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 παρακολουθούσαν η ψύξη τους. Η ποικιλία στις τιμές της θερμοκρασίας με τον χρόνο αποδεικνύει την επίδραση των PCM. Όσο μεγαλύτερη είναι η ποσότητα του PCM τόσο περισσότερο διαρκεί 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 για πιο ελαφριές κατασκευές.

Οι Kissock et al [81], 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 παρακολουθούσαν συνεχόμενα για 14 ημέρες. Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι η μέγιστη θερμοκρασία κατά την διάρκεια αλλαγής φάσης στο δοκιμαστικό

κελί με PCM ήταν σχεδόν 10 μικρότερη από την αντίστοιχη στο κελί αναφοράς τις θερμές ημέρες.

Όμως, οι γυψοσανίδες με PCM παρουσιάζουν και κάποια μειονεκτήματα. Η κατάλληλη μεταβατική θερμοκρασία διαφέρει ανάλογα με το κλίμα της εκάστοτε περιοχής, ενώ το να επιτύχεις την σωστή θερμοκρασία γίνεται διπλά δύσκολο σε περιοχές που έχουν ανάγκη τόσο από θέρμανση όσο και από κλιματισμό. 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.

9.5. Μπλόκ τσιμέντου με ενσωματωμένο PCM

Οι Hawes et al [59], παρουσίασαν την θερμική συμπεριφορά ποικίλων PCM σε διάφορους τύπους τσιμεντένιων τοίχων. Η παρουσίαση αυτή κάλυψε την επίδραση της αλκαλικότητας του τσιμέντου, της θερμοκρασίας, τον χρόνο εμβαπτισμού και την "αποδυνάμωση" της δυνατότητας απορρόφησης του PCM κατά την διαδικασία της ενσωμάτωσης. Εξέτασαν τους μηχανισμούς απορρόφησης και ίδρυσαν μία μέθοδο ανάπτυξης και χρήσης των σταθερών απορρόφησης του PCM στο τσιμέντο, για να επιτύχουν την διάχυση της ζητούμενης ποσότητας PCM και επομένως την απαιτούμενη θερμική ικανότητα αποθήκευσης. Οι επιπτώσεις της αλλαγής του τσιμέντου και των βελτιωμένων τεχνικών ενσωμάτωσης έχουν αυξήσει την θερμική αποθήκευση κατά 300% περίπου. [7]

Οι πιο πολλά υποσχόμενες τεχνικές κάλυψης των PCM έχουν μελετηθεί από τους Salyer et al. [82], και εφαρμοσθεί σε solite ρηγά μπλόκ τσιμέντου. Αυτές είναι η εμβάπτιση των PCM σε πορώδη υλικά, η απορρόφηση του PCM από διαχωρισμένη και ειδική silica και ο διασκορπισμός PCM σε πολυμερικά κιβώτια. Οι συγγραφείς έχουν τονίσει ότι το PCM σε μορφή melt-mix, PCM/silica dry powder ή και PCM/HDPE (cross-linked pellets of high density polyethylene), όταν τοποθετούνται στο ρηχό-κεντρικό χώρο των μπλόκ τσιμέντου, μπορούν να φιλοξενήσουν μεγάλες ποσότητες PCM και αντίστοιχα πολύ μεγάλες ποσότητες θερμότητας προς αποθήκευση.

Ο Chahroudi [83], έχει ερευνήσει την πιθανή εφαρμογή των υλικών thermocrete. Το thermocrete είναι ένα αποθηκευτικό μέσο το οποίο συνδυάζει ένα κατάλληλο PCM με ένα πλέγμα τσιμέντου προκειμένου να επιτευχθεί μια σχεδόν ισοθερμική αποθήκευση. Τα μπλόκ από thermocrete έχουν αναλυθεί σε βάθος σε ότι αφορά τους τρόπους λειτουργίας, τις επιδόσεις και την εξοικονόμηση ενέργειας σε ποικίλες εφαρμογές. Τα υλικά αποθήκευσης ενέργειας με thermocrete κατασκευάζονται από τον συνδυασμό των PCM με τσιμέντο για την παραγωγή υλικών αποθήκευσης ενέργειας χαμηλού κόστους με δομικές και θερμοστατικές ιδιότητες.

Οι Lee et al.[85], μελέτησαν και παρουσίασαν τα αποτελέσματα μακροσκελών δοκιμών που συγκρίνουν την συμπεριφορά, σε ότι αφορά στην θερμική αποθήκευση, των συνηθισμένων μπλόκ τσιμέντου με αυτά που έχουν ενσωματωμένους δύο τύπους από PCM , το BS και την εμπορική παραφίνη – P.Δύο τύποι μπλόκ μελετήθηκαν και συγκρίθηκαν, το συνηθισμένο μπλόκ από τσιμέντο που παράγεται στο Portland, και το “autoclaved”μπλόκ, που αποτελείται από το ίδιο τσιμέντο αλλά έχει επιπλέον πυρίτιο.Η ενσωμάτωση επιτεύχθηκε με την εμβάπτιση του θερμού μπλόκ τσιμέντου σε λουτρό λιωμένου PCM ώσπου να απορροφηθεί η απαιτούμενη ποσότητα PCM,περίπου 3.9- 8.6%.Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι τα μπλόκ τσιμέντου είναι ικανά να αποθηκεύουν την λανθάνουσα και την αισθητή θερμότητα του ενσωματωμένου PCM καθώς και την αισθητή θερμότητα του τσιμέντου.Έτσι, επιτρέπεται η μετατόπιση των θερμικών και ψυκτικών φορτιών από τις ώρες αιχμής.

Οι Hadjieva et al [86]. , έχουν εφαρμόσει την ίδια τεχνική ενσωμάτωσης για το τσιμέντο αλλά με sodium thiosulphate pentahydrate ($\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$) ως PCM. Χρησιμοποίησαν πορώδες τσιμέντο και κατάφεραν να γεμίσουν τους περισσότερους πόρους του τσιμέντου σε ποσοστό περίπου 60%.Έτσι κατέληξαν στο ότι η μεγάλη περιοχή απορρόφησης του autoclaved πορώδους τσιμέντου λειτουργεί ως ένα πολύ καλό υποστηρικτικό πλέγμα για το $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$, που βελτιώνει την δομική του σταθερότητα κατά την διάρκεια των θερμικών φορτίσεων.Μία τέτοιου είδους μικροενσωμάτωση σε κάψουλες μπορεί να αποδειχθεί εξαιρετικά αποτελεσματική,αφού η ενσωμάτωση τουPCM γίνεται με έναν σχετικά οικονομικό τρόπο και περιορίζονται τα προβλήματα που συνδέονται με την χρήση των ένυδρων αλάτων, όπως το φαινόμενο “supercooling”.

9.6. PCM ενσωματωμένο σε ξύλο-ελαφρύ τσιμέντο

Το ξύλο-ελαφρύ τσιμέντο είναι ένα μίγμα από τσιμέντο, κομμάτια ξύλου ή σκόνη από πριόνι, το οποίο δεν πρέπει να ξεπερνάει το 15% κατά βάρος, νερό και άλλες προσθήκες.[7]Αυτό το μίγμα μπορεί να εφαρμοσθεί για την κατασκευή εσωτερικών και εξωτερικών τοίχων.Για ενσωμάτωση σε ξύλο-ελαφρύ τσιμέντο, δύο είδη PCM , το Rubihterm GR40, 1-3mm και το GR50, 0.2-0.6mm εξετάστηκαν από τους Mehling et al.[87] Αποδείχτηκε ότι τα PCM μπορούν να συνδυαστούν με ξύλο- ελαφρύ τσιμέντο και ότι οι μηχανικές τους ιδιότητες δεν φαίνεται να μεταβάλλονται σημαντικά.Μάλιστα, ανέφεραν τα εξής προτερήματα:

- Θερμική αγωγιμότητα : λ ανάμεσα 0.15 και 0.75 W/mK
- Ηχομόνωση
- Μηχανικές ιδιότητες:πυκνότητα ανάμεσα στα 600 και 1700 kg/m³

- Θερμική ικανότητα c_p ανάμεσα 0.39-0.48 kJ/kg K για $\rho=1300$ kg/m³
- Πυκνότητα 60-70% της τιμής του καθαρού τσιμέντου(0.67 kL/kg K για $\rho=2400$ kg/m³)

Η ενσωμάτωση του PCM παρουσιάζει δύο βασικά προτερήματα, πρώτον αυξάνει την θερμική ικανότητα αποθήκευσης και δεύτερον οτι οδηγεί στην κατασκευή πιο ελαφριών και πιο λεπτών στοιχείων με βελτιωμένη θερμική συμπεριφορά.

9.7.Θερμικά αυξημένος σκελετός τοίχου με PCM

Οι Meng Zhang et al.[88], παρουσίασαν την ανάπτυξη ενός θερμικά αυξημένου σκελετού τοίχου, ο οποίος μειώνει τα μέγιστα της ζήτησης κλιματισμού σε κατοικίσια κτίρια.Ένας σκελετός τοίχου που περιέχει υψηλή κρυσταλλική παραφίνη ως PCM, μέσω μακροενσωμάτωσης σε κάψουλες είναι αυτός που αναπτύχθηκε, κατασκευάστηκε και αξιολογήθηκε.Αυτός ο πλώτύπος τοίχος ονομάστηκε phase change frame wall (PCFW), και τα αποτελέσματα της έρευνας έδειξαν οτι ο PCFW μειώνει τα μέγιστα φορτία θερμοροής από τον τοίχο κατά 38%.Σε κτιριακές εφαρμογές, αυτό θα μπορούσε να μεταφραστεί σε χαμηλότερα φορτία κλιματισμού που απαιτούνται από τους τοίχους και τα ταβάνια, σε μετατόπιση μέρους του θερμικού φορτίου σε άλλες ώρες της ημέρας και στην σχετικά σταθερή εσωτερική θερμοκρασία του χώρου.Το χειμώνα, θερμότητα από τον εξοπλισμό-πηγή μπορεί να αποθηκεύεται στο PCFW, η οποία αργότερα θα αποδίδεται προς θέρμανση του σπιτιού, μειώνοντας έτσι τις φορτίσεις του εξοπλισμού, και επομένως αυξάνοντας την αποδοτικότητά του και τον χρόνο ζωής του.[7]

10 ΚΕΦΑΛΑΙΟ

ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΘΕΡΜΑΝΣΗΣ ΚΑΙ ΨΥΞΗΣ ΤΟΥ ΧΩΡΟΥ ΜΕ PCM

10.1.PCM σε συστήματα θέρμανσης του χώρου

10.1.1. Σύστημα θέρμανσης χώρου ενσωματωμένο στην οροφή

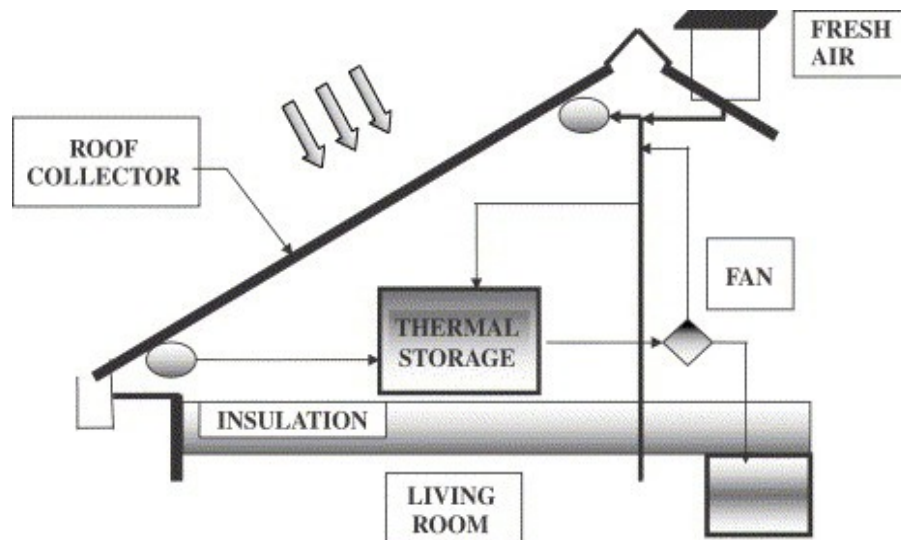
Το πανεπιστήμιο της βόρειας Αυστραλίας (UniSA) [89], έχει αναπτύξει ένα σύστημα αποθήκευσης της ηλιακής θερμότητας, το οποίο είναι ενσωματωμένο στην οροφή, και το οποίο χρησιμοποιεί μεταλλικά φύλλα οροφής με αυλακώσεις ως ηλιακό συλλέκτη για την θέρμανση του αέρα. Μία μονάδα θερμικής αποθήκευσης PCM χρησιμοποιείται για την αποθήκευση της θερμότητας την ημέρα, ώστε αυτή να μπορεί να διανεμηθεί κατά τη διάρκεια της νύχτας, οπότε και 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 ως εκ τούτου μέσα στο σπίτι. Όταν δεν απαιτείται θέρμανση, ο αέρας περνάει από την "θερμική αποθήκευση", λιώνει το PCM φορτίζοντάς το έτσι για μελλοντική χρήση. Όταν δεν υπάρχει ηλιοφάνεια, ο αέρας του δωματίου περνάει από την "θερμική αποθήκευση", ζεσταίνεται και μετά ωθείται στο σπίτι. Επαρκή ποσά καθαρού αέρα εισάγονται όταν το σύστημα ηλιακής θέρμανσης διανέμει θερμότητα στον χώρο.

Οι συγγραφείς αναφέρουν τα εξής προτερήματα του συστήματος αυτού:

- Οι επιδράσεις της αισθητής θερμότητας γίνονται εμφανείς στις αρχικές περιόδους τόσο της τήξης όσο και της ψύξης. Για την περίπτωση της θέρμανσης αυτό σημαίνει ότι 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[7]



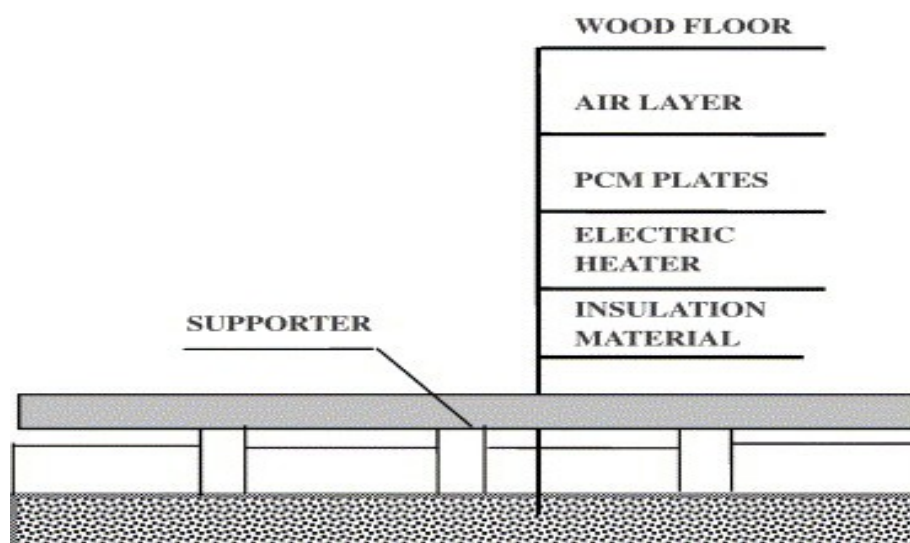
ΕΙΚΟΝΑ 10.1.1.1: ΣΧΗΜΑΤΙΚΗ ΑΝΑΠΑΡΑΣΤΑΣΗ ΤΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΗΛΙΑΚΗΣ ΘΕΡΜΑΝΣΗΣ

10.1.2. Σύστημα θέρμανσης βασισμένο στον αέρα

Οι Morrison, Abdel Khalik[33], μελέτησαν την συμπεριφορά ενός ηλιακού συστήματος θέρμανσης βασισμένο στον αέρα, χρησιμοποιώντας σαν μονάδα αποθήκευσης υλικό αλλαγής φάσης. Οι βασικοί στόχοι της εργασίας τους ήταν αφενός να καθορίσουν τις επιπτώσεις της λανθάνουσας μορφής θερμότητας και της θερμοκρασίας τήξης της του PCM στο σύστημα ηλιακής θέρμανσης που είναι βασισμένο στον αέρα και αφετέρου να αναπτύξουν ένα εμπειρικό μοντέλο για τις πιο χαρακτηριστικές μονάδες PCM. Κατέληξαν στο ότι το PCM θα έπρεπε να επιλεγεί με βάση το σημείο τήξης του και την λανθάνουσα θερμότητά του και επίσης στο ότι το σύστημα αυτό, που βασίζεται στον αέρα, και χρησιμοποιεί ως PCM sodium sulfate decahydrate καταλαμβάνει αρκετά μικρό όγκο για την αποθήκευση της θερμότητας.[93]
[7]

10.1.3. Θέρμανση στο πάτωμα

Το πάτωμα είναι ένα εξίσου σημαντικό σημείο ενός κτιρίου και επομένως δοκιμάστηκε και η χρήση αυτού για την θέρμανση και την ψύξη. Οι Ahtienities και Chen,[94] ερεύνησαν την σύντομη μεταφορά θερμότητας στα συστήματα θέρμανσης του πατώματος. Η μελέτη τους επικεντρώθηκε στην επιρροή του καλύμματος και της ηλιακής ακτινοβολίας στην θερμοκρασιακή κατανομή του πατώματος και στην κατανάλωση ενέργειας. Περιοχές καλυμμένες ολόκληρες ή και μερικώς από χαλί, λήφθηκαν υπ' όψη, όπως επίσης και περιοχές με ξύλινη επικάλυψη του τσιμέντου ή του μίγματος γύψου-τσιμέντου. Πειραματικά αποτελέσματα και 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 ο C περισσότερο σε σχέση με αυτή που βρίσκεται υπό σκιά. Η μερική κάλυψη δε του πατώματος με χαλί, αυξάνει την θερμοκρασιακή διαφορά του πατώματος στους 15 ο C 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.[7]



ΕΙΚΟΝΑ 10.1.3.1: ΣΧΗΜΑΤΙΚΗ ΑΝΑΠΑΡΑΣΤΑΣΗ ΤΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΘΕΡΜΑΝΣΗΣ ΣΤΟ ΠΑΤΩΜΑ

10.1.4. Σανίδες στο ταβάνι

Ένα σύστημα θέρμανσης του χώρου που περιλαμβάνει PCM στο κενό που έχει το ταβάνι, αναπτύχθηκε από τους Guthertz και Schiller[95]. Ηλιακοί ανακλαστές χρησιμοποιούνταν για να αναγκάζουν την ηλιακή ακτινοβολία να εισέρχεται μέσα από τα παράθυρα και να προσπίπτει στο PCM. Το κύριο πλεονέκτημα αυτού του συστήματος ήταν ότι επέτρεπε σε μία μεγάλη περιοχή να αποθηκεύει θερμότητα χωρίς να είναι αναγκαίος ο μεγάλος όγκος αποθηκευτικού μέσου που θα απαιτούνταν με την αποθήκευση αισθητής θερμότητας. Αποδείχτηκε ότι η χρήση ενός τέτοιου συστήματος έχει την δυναμική να ανακτήσει το 17- 36% της θερμότητας που χάθηκε από τα αρχικά κέρδη.[7]

10.2. PCM σε συστήματα ψύξης του χώρου [28]

Τα συστήματα ψύξης του χώρου που περιλαμβάνουν και PCM έχουν αναπτυχθεί με βάση την εξής αρχή: να αποθηκεύουν ψύξη από τον αέρα του περιβάλλοντος κατά την διάρκεια της νύχτας και να την αποδίδουν στο εσωτερικό του χώρου κατά την διάρκεια της ημέρας. Ο Hed [90], έχει ερευνήσει αυτόν τον τύπο συστήματος για κτίρια, στα οποία γίνεται υπερπαραγωγή θερμότητας την ημέρα, όπως για παράδειγμα σχολία, γραφεία και εμπορικά κέντρα. Το "κλιματιστικό" με PCM χρησιμοποιεί ένα 24ο C PCM που βρίσκεται μέσα σε κάψουλες, σε αλουμιένια θυλάκια, τα οποία τοποθετεί σε έναν εναλλάκτη της θερμότητας του αέρα. Το PCM παγώνει το βράδυ, όταν κρύος εξωτερικός αέρας αφήνεται να εισέλθει μέσα στο κτίριο και μέσα στο PCM και ο ψυχρός αέρας αποδίδεται στο εσωτερικό του κτιρίου κατά την διάρκεια της ημέρας. Κάθε κτίριο που εξετάστηκε είχε διαφορετική θερμική αδράνεια, ελαφρύ, μεσαίου βάρους ή βαρύ, και η προσομοίωσή τους έγινε χρησιμοποιώντας ξεχωριστή μέθοδο πεπερασμένων στοιχείων για το καθένα. Επιπλέον, τα κλιματικά δεδομένα, η θερμοκρασία του αέρα και η ηλιακή ακτινοβολία σε οριζόντια επιφάνεια είχαν μετρηθεί κατά την διάρκεια του καλοκαιριού 2002 στην περιοχή Gayle στην Σουηδία. Η έρευνα έδειξε ότι η χρήση PCM έχει σημαντικές επιπτώσεις στην μέγιστη εσωτερική θερμοκρασία ημέρας. Οι θερμοκρασίες των θερμών καλοκαιρινών ημερών θα είναι υψηλότερες σε ένα κτίριο με χαμηλότερη θερμική αδράνεια, όμως αποδείχτηκε ότι με την εισαγωγή του PCM είναι δυνατή η αλλαγή της θερμικής αδράμειας του κτιρίου. Οι προσομοιώσεις δείχνουν ότι για ένα κτίριο ελαφριάς κατασκευής η ποσότητα που απαιτείται είναι περίπου 3- 4 kg/m² επιφάνεια πατώματος, ενώ για να επιτύχουμε το ίδιο αποτέλεσμα χρησιμοποιώντας τσιμέντο θα χρειαζόματαν περίπου 10 φορές πεισσότερη μάζα. Η επίδραση που έχει το PCM, όταν λειτουργεί ως κλιματιστικό, σε ένα κτίριο ελαφριάς κατασκευής είναι όμοια με αυτή με αυτή που έχει σε ένα κτίριο με υψηλή θερμική αδράνεια. Ο αριθμός των ωρών κατά την διάρκεια

των οποίων οι θερμοκρασίες ξεπερνούν το επιθυμητό επίπεδο, μειώνονται σημαντικά, με την εισαγωγή του PCM .

Ένα τέτοιο σύστημα το οποίο είναι αυτή την στιγμή εμπορικά διαθέσιμο είναι το Cool Deck. Μία εφαρμογή του που έγινε στο Stevenage Borough Council , έξω από το Λονδίνο, απέδειξε ότι αυτό το προϊόν είναι ένας οικονομικός τρόπος κλιματισμού, με μειώσεις στην εσωτερική θερμοκρασία την καλοκαιρινή περίοδο κατά 3-4ο C. Η κατανάλωση ενέργειας είναι μικρή, με την ενέργεια που καταναλώνεται από τον ανεμιστήρα να είναι το 5% της συνολικής ενέργειας που εισέρχεται στο κτίριο για τον κλιματισμό του. Το ελάχιστο πάχος του ταβανιού και του πατώματος είναι 200 mm, ενώ το PCM που χρησιμοποιείται είναι ένα ένυδρο άλας με θερμοκρασία τήξης ανάμεσα στους 20-24ο C.

Από τις εφαρμογές που υπάρχουν για αποθήκευση ψυχρού αέρα, η αποθήκευση του βραδινού ψυχρού αέρα για κλιματιστική χρήση κατά την διάρκεια της ημέρας φαίνεται να είναι η πιο ελκυστική. Έχει την δυναμική, όχι μόνο να μειώσει την κατανάλωση της ενέργειας αλλά και να την ελαχιστοποιήσει συγκριτικά με την παρούσα κατάσταση, καθώς θα απομείνει να καταναλώνουμε ενέργεια μόνο για την λειτουργία του ανεμιστήρα. Εφόσον, λοιπόν, δεν θα υπάρχει καθόλου η ανάγκη ενέργειας για δημιουργία ψύξης, θα ονομάζουμε αυτή τη μορφή κλιματισμού "free cooling". [7]

10.2.1. Free cooling

Η μορφή κλιματισμού, γνωστή και με το όνομα "Free cooling", ερευνήθηκε στο University of Zaragoza/Spain από τους Zalba [91]. Ο στόχος της έρευνας αυτής ήταν να σχεδιαστεί και να κατασκευαστεί μία πειραματική εγκατάσταση για την μελέτη των PCM με θερμοκρασία τήξης μεταξύ των 20 ο C και 25 ο C .

Αυτό το θερμοκρασιακό εύρος φαίνεται να είναι το πιο κατάλληλο για το free cooling καθώς οι θερμοκρασίες του περιβάλλοντος την νύχτα συνήθως πέφτουν κάτω από τους 20-25 ο C, επομένως είναι αρκετά χαμηλές ώστε να ψύχουν τον αέρα στα κτίρια. Η εγκατάσταση του free cooling για να αποθηκεύει το κρύο κατά την διάρκεια της νύχτας και να το αποδίδει την ημέρα, απαιτεί κλίμακα, όπου η θερμοκρασιακή διαφορά ανάμεσα στην ημέρα και την νύχτα τους καλοκαιρινούς μήνες, να είναι μεγαλύτερη από 15ο C. [7]



ΕΙΚΟΝΑ 10.2.1.1: ΙΔΕΑ ΤΟΥ FREE-COOLING

ΠΙΝΑΚΑΣ 10.2.1.1: ΑΝΟΡΓΑΝΑ ΥΛΙΚΑ ΑΛΛΑΓΗΣ ΦΑΣΗΣ ΠΟΥ ΧΡΗΣΙΜΟΠΟΙΟΥΝΤΑΙ ΓΙΑ FREE-COOLING[96]

ΥΛΙΚΟ	ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ ΤΗΞΕΩΣ	ΘΕΡΜΟΤΗΤΑ ΤΗΞΕΩΣ
KF·4H ₂ O	18.5	231
Mn(NO ₃) ₂ ·6H ₂ O	25.8	125.9
CaCl ₂ ·6H ₂ O	29	190.8
Na ₂ SO ₄ ·10H ₂ O	32	251

ΠΙΝΑΚΑΣ 10.2.1.2: ΑΝΟΡΓΑΝΑ ΕΥΤΗΚΤΙΚΑ ΥΛΙΚΑ ΑΛΛΑΓΗΣ ΦΑΣΗΣ ΠΟΥ ΧΡΗΣΙΜΟΠΟΙΟΥΝΤΑΙ ΓΙΑ FREE-COOLING[96]

ΥΛΙΚΟ	ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ ΤΗΞΕΩΣ	ΘΕΡΜΟΤΗΤΑ ΤΗΞΕΩΣ
48% CaCl ₂ +4.3% NaCl+0.4% KCl+47.3% H ₂ O	26.8	188
47% Ca(NO ₃) ₂ ·4H ₂ O+53% Mg(NO ₃) ₂ ·6H ₂ O	30	136
60% Na(CH ₃ COO)·3H ₂ O+40% CO(NH ₂) ₂	30	200.5

ΠΙΝΑΚΑΣ 10.2.1.3: ΟΡΓΑΝΙΚΑ ΥΛΙΚΑ ΑΛΛΑΓΗΣ ΦΑΣΗΣ ΠΟΥ ΧΡΗΣΙΜΟΠΟΙΟΥΝΤΑΙ ΓΙΑ FREE-COOLING[96]

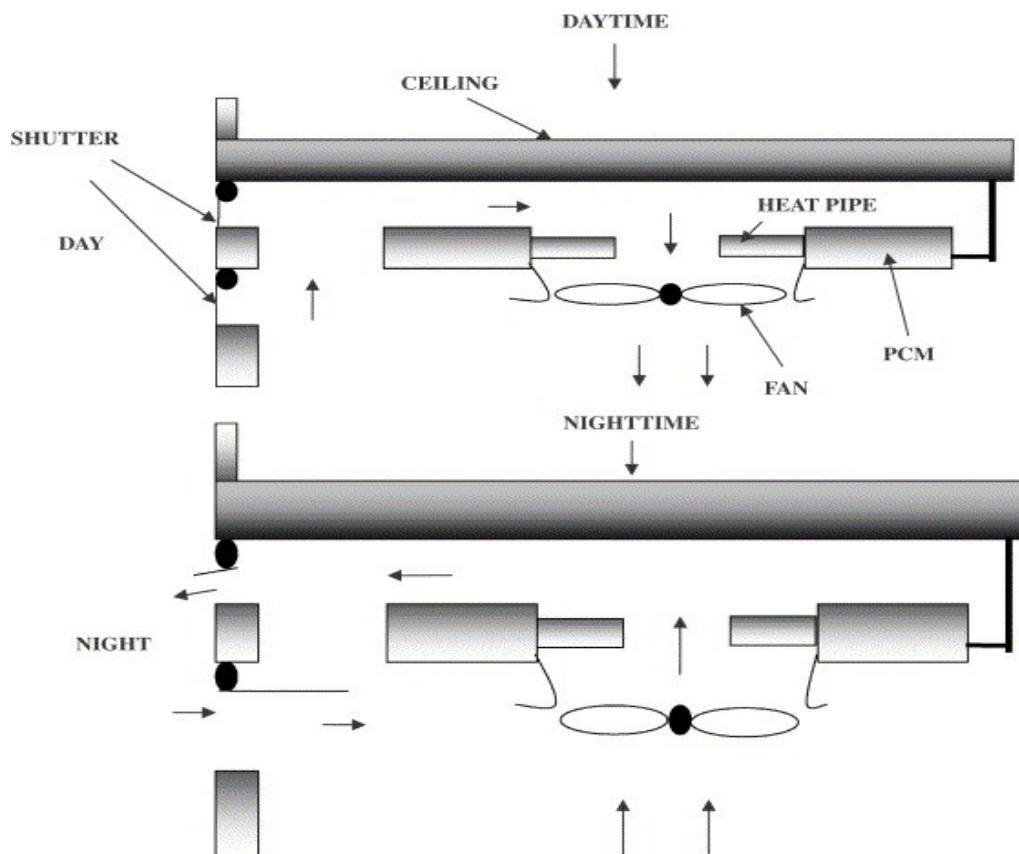
ΥΛΙΚΟ	ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ ΤΗΞΕΩΣ	ΘΕΡΜΟΤΗΤΑ ΤΗΞΕΩΣ
Capric acid	30.1	158
Capric–lauric acid	18–19	120
Capric acid–myristic acid	21.4	152
Capric acid–palmitic acid	22.1	153
Capric acid–stearic acid	26.8	152
Paraffin C16–C18	20–22	152
Paraffin C13–C24	22–24	189
Dimethyl sabacate	21	120
Polyglycol E 600	12.5	129.1
1-Dodecanol	26	200
Vinyl stearate	27–29	122
Hexadecane	18.1	236

ΠΙΝΑΚΑΣ 10.2.1.4: ΕΜΠΟΡΙΚΑ ΥΛΙΚΑ ΑΛΛΑΓΗΣ ΦΑΣΗΣ ΠΟΥ ΧΡΗΣΙΜΟΠΟΙΟΥΝΤΑΙ ΓΙΑ FREE-COOLING[96]

ΟΝΟΜΑ ΥΛΙΚΟΥ	ΚΑΤΗΓΟΡΙΑ ΥΛΙΚΟΥ	ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ ΤΗΞΕΩΣ	ΘΕΡΜΟΤΗΤΑ ΤΗΞΕΩΣ	ΕΤΑΙΡΕΙΑ
RT20	Paraffin	20–22	172	Rubitherm
RT26	Paraffin	24–28	131	
RT27	Paraffin	26–28	179	
ClimSel C 23	Salt hydrate	23	148	Climator AB

ClimSel C 24	Salt hydrate	24	216	Climator AB
Climsel C 32	Salt hydrate	32	212	Climator AB
STL 27	Salt hydrate	27	213	Mitsubishi chemical
S27	Salt hydrate	27	207	Cristopia
E17	Salt hydrate	17	143	Environmental Process Limited
E19	Salt hydrate	19	146	
E21	Salt hydrate	21	150	
E30	Salt hydrate	30	201	

Η προσέγγιση στο πανεπιστήμιο του Nottingham είναι μια αντικατάσταση ενός πλήρους συστήματος κλιματισμού από το νέο σύστημα που είναι ένα νυχτερινό σύστημα ψύξης. Οριο (Ceiling) τοποθετείται με έναν ανεμιστήρα (fan) για να ρίξει τον αέρα πέρα από τις εκτεθειμένες άκρες των σωλήνων θερμότητας (heat pipes). Οι άλλες άκρες των σωλήνων θερμότητας λειτουργούν σαν μοντέλο αποθήκευσης θερμότητας με PCM. Κατά τη διάρκεια της ημέρας, ο θερμός αέρας που παράγεται στο δωμάτιο δροσίζεται από το PCM δηλ. η θερμότητα μεταφέρεται στο PCM. Κατά τη διάρκεια της νύχτας, ο ανεμιστήρας αντιστρέφεται και οι "διακοπτες" (shutter) ανοίγουν έτσι ώστε ο δροσερός αέρας από το εξωτερικό περνά πέρα από τους σωλήνες θερμότητας και εξάγει τη θερμότητα από το PCM. Ο κύκλος επαναλαμβάνεται και την επόμενη ημέρα.

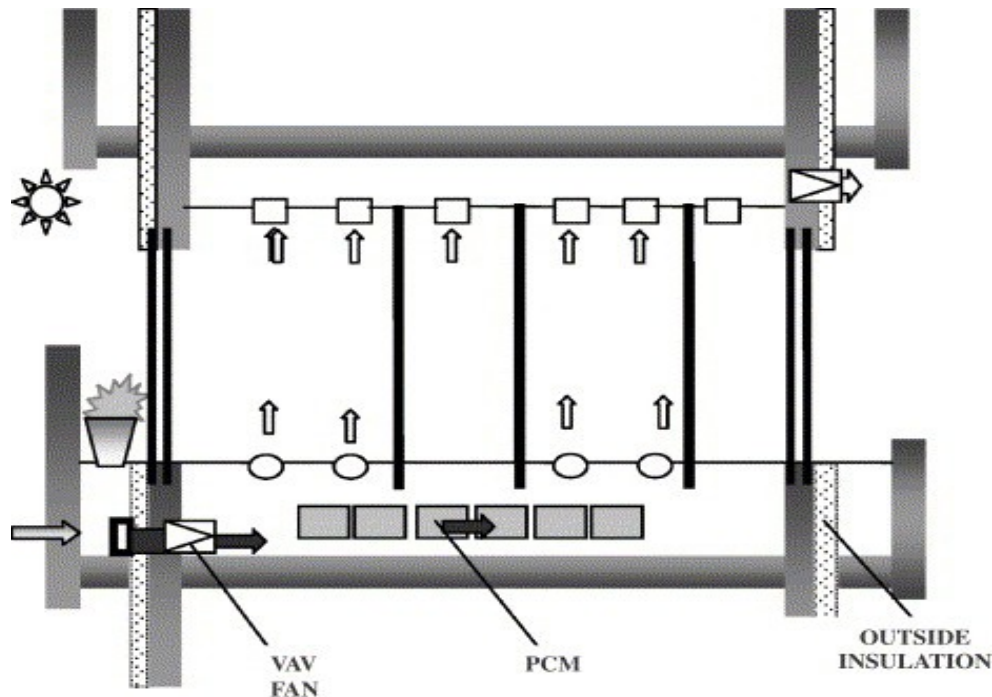


EIKONA 10.2.1.2: NYXTEPINO ΣΥΣΤΗΜΑ ΨΥΞΗΣ ΑΠΟ ΤΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΤΟΥ NOTTINGHAM

10.2.2. Passive cooling

Για να μειώσουν το φορτίο κλιματισμού του αεροστεγούς και μονωμένου κτιρίου διαμερισμάτων, ο Kuroki πρότεινε ένα σύστημα εξαερισμού που χρησιμοποιεί τη θερμική αποθήκευση και τις εξωτερικές συνθήκες. Αυτό το σύστημα αποτελείται από ένα θερμικό μέσο απομνημόνευσης που εγκαθίσταται στις όγκος-μεταβλητούς διαδρομές εξαερισμού αέρα και τους ανεμιστήρες εξολκείων. Οι μεγάλοι όγκοι του υπαίθριου αέρα εισάγονται όταν η εξωτερική θερμοκρασία αέρα είναι χαμηλή κατά τη διάρκεια της άνοιξης. Συγχρόνως, αυτός ο αέρας δροσίζει το θερμικό μέσο απομνημόνευσης, συμπεριλαμβανομένου του πλαισίου οικοδόμησης και άλλου θερμικού υλικού αποθήκευσης, όπως PCMs. Όταν οι εξωτερικές θερμοκρασίες αέρα αυξάνονται, η αποθηκευμένη κρύα ενέργεια απελευθερώνεται, μειώνοντας το δροσίζοντα φορτίο. Η παρακάτω εικόνα παρουσιάζει ένα παράδειγμα του προτεινόμενου συστήματος εξαερισμού. Σε αυτό το παράδειγμα, η διαδρομή εξαερισμού εγκαθίσταται κάτω από το

πάτωμα και ο αέρας εξωτερικού εισάγεται από τους μεταβλητούς ανεμιστήρες όγκου αέρα στο κατώτερο πάτωμα, έπειτα στο δωμάτιο. Η πλάκα πατωμάτων, το PCM και ο εξωτερικός τοίχος λειτουργούν ως θερμικό μέσο απομνημόνευσης.



EIKONA 10.2.2.1: PASSIVE COOLING ΣΕ ΔΩΜΑΤΙΟ ΚΤΙΡΙΟΥ

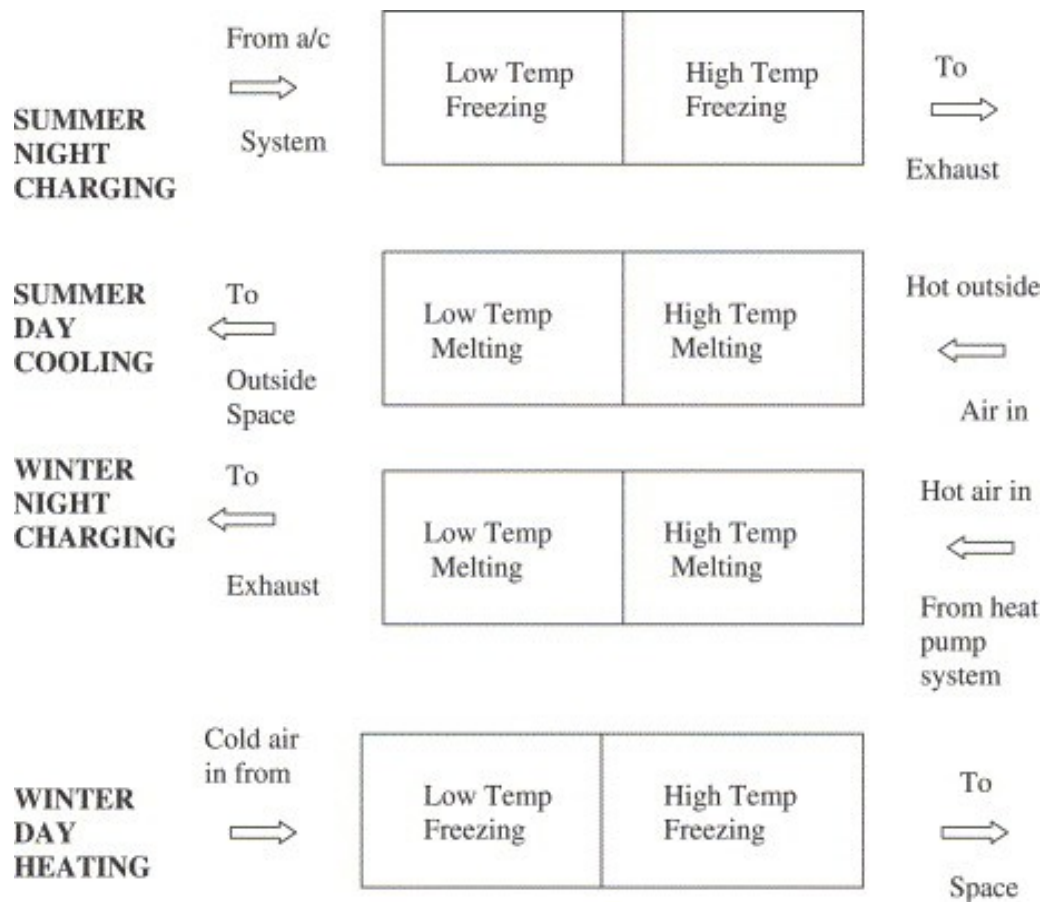
10.3. PCM σε συνδυασμένο σύστημα θέρμανσης –ψύξης

Το Sustainable Energy Centre στη UniSA [92] , άρχισε να ασχολείται με τα PCM στην μέση της δεκαετίας του 1990, με την ανάπτυξη μιάς μονάδας αποθήκευσης , η οποία θα μπορούσε να χρησιμοποιηθεί και για θέρμανση και για ψύξη του χώρου. Η φόρτιση της μονάδας τη νύχτα και η χρήση της την ημέρα, κατά την διάρκεια και των θερμότερων και των ψυχρότερων εποχών για ένα σύστημα αποθήκευσης ενέργειας που αποτελείται από δύο διαφορετικά PCM , που είναι ενσωματωμένα σε ένα σύστημα αντιστρεπτού κύκλου, χρησιμοποιεί 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.

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. 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 PCM μπορεί να μειώσει την απαιτούμενη ικανότητα και το αρχικό κόστος του κλιματιστικού για μία κατοικία. Μπορεί, επίσης, 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 29°C PCM και από 80 kg 18°C PCM 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. [7]



ΕΙΚΟΝΑ 10.3.1: ΦΟΡΤΙΣΗ ΚΑΤΑ ΤΗΝ ΔΙΑΡΚΕΙΑ ΤΗΣ ΝΥΧΤΑΣ ΚΑΙ ΧΡΗΣΗ ΚΑΤΑ ΤΗΝ ΔΙΑΡΚΕΙΑ ΤΗΣ ΗΜΕΡΑΣ, ΓΙΑ ΘΕΡΜΟΤΕΡΕΣ ΚΑΙ ΨΥΧΡΟΤΕΡΕΣ ΠΕΡΙΟΔΟΥΣ

11 ΚΕΦΑΛΑΙΟ

ΕΞΟΙΚΟΝΟΜΗΣΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΜΕ ΤΗΝ ΣΡΗΣΗ ΥΛΙΚΩΝ ΑΛΛΑΓΗΣ ΦΑΣΗΣ

11.1. Ενεργειακή αποδοτικότητα των τοίχων δωματίου που περιέχουν PCM κάτω από απόλυτα ελεγχόμενες εργαστηριακές συνθήκες

11.1.1.Εισαγωγή

Όπως είναι ήδη γνωστό, ένα βασικό μειονέκτημα των ελαφριάς κατασκευής κτιρίων είναι η χαμηλή θερμική τους μάζα. Προφανώς, υπόκεινται σε μεγάλες θερμοκρασιακές διακυμάνσεις εξ' αιτίας των εξωτερικών θερμικών ή ψυκτικών φορτίων. Χρησιμοποιώντας, λοιπόν, υλικά αλλαγής φάσης σε τέτοιου είδους κτίρια είναι δυνατή η μείωση των θερμοκρασιακών διακυμάνσεων που οφείλονται κυρίως στα φορτία της ηλιακής ακτινοβολίας.

Έτσι, τα υλικά PCM παρουσιάζουν ιδιαίτερη χρησιμότητα για τις ελαφριές κατασκευές κατά τη διάρκεια του καλοκαιριού. Προκειμένου να αξιολογηθούν αυτά τα προτερήματα, έχουν πραγματοποιηθεί έρευνες πάνω στη θερμική συμπεριφορά των PCM χρησιμοποιώντας ένα ελεγχόμενο δωμάτιο δοκιμών, το οποίο προσομοιάζει τις θερμοκρασίες περιβάλλοντος κατά τη διάρκεια των καλοκαιρινών μηνών καθώς και την αντίστοιχη ηλιακή ακτινοβολία .[102]

11.1.2.Διεξαγωγή του πειράματος

Πιο συγκεκριμένα, το υλικό PCM που τίθεται υπό δοκιμή είναι της εταιρίας DuPont de Nemours Society και αποτελείται από 60% μικροενσωματωμένες κάψουλες PCM, με θερμοκρασία τήξης 22ο C, ενώ η τελική του μορφή αποτελείται από ευέλικτα φύλλα πάχους 5mm, με πυκνότητα $\rho_{PCM}=1019 \text{ kg/m}^3$.

Η θερμική του ικανότητα μετρήθηκε με την μέθοδο DSC, και η αναλυτική της έκφραση είναι δίνεται από τις σχέσεις:

$$C = \begin{cases} 4250 + 10,750e^{-((22.6-T)/4)^2} & \text{if } T \leq 22.6 \text{ }^\circ\text{C} \\ 4250 + 10,750e^{-((22.6-T)/3)^2} & \text{if } T > 22.6 \text{ }^\circ\text{C} \end{cases}$$

Σε ότι αφορά στην θερμική αγωγιμότητα του PCM, αυτή μετρήθηκε περίπου 0.22 W/m K και μειώνεται κατά την διάρκεια της θερμοκρασίας τήξης περίπου σε 0.18 W/m K .

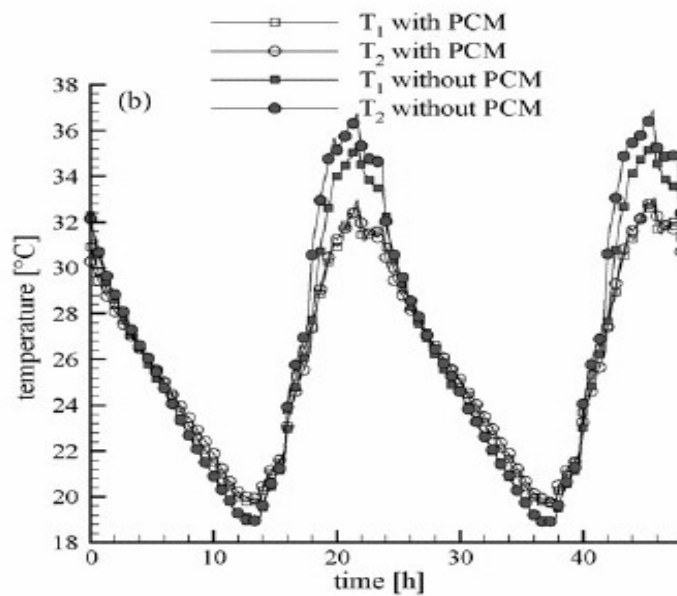
Το δωμάτιο δοκιμών απομονώνεται , μέσω της νότιας γυάλινης πρόσοψής του από ένα ειδικό δωμάτιο, το λεγόμενο ‘ climatic chamber’ , το οποίο έχει ελεγχόμενη θερμοκρασία που μπορεί να κυμανθεί από τους -10° C έως τους 40° C με τη βοήθεια ενός συστήματος αέρα.Επιπλέον, διατηρούνται οι θερμοκρασίες των υπόλοιπων εξωτερικών τοίχων στην σταθερή τιμή των $20,5^\circ \text{ C}$, ενώ οι 12 λάμπες των 1000 W η καθεμία, προσομοιάζουν την ηλιακή ακτινοβολία, που εισέρχεται στο υπό δοκιμή δωμάτιο μέσω του γυάλινου τοίχου.Έτσι, είναι δυνατός ο δυναμικός έλεγχος της θερμοκρασίας του ‘ climatic chamber’ καθώς και του επιπέδου της εισροής της ακτινοβολίας μέσω του αριθμού των αναμένων λαμπτήρων.Τέλος, αναφέρεται μία ακόμη φορά ότι η μελέτη γίνεται για τους καλοκαιρινούς μήνες, οπότε η θερμοκρασία του ‘ climatic chamber’ κυμαίνεται μεταξύ 15° C και 30° C .

11.1.3. Πειραματικά αποτελέσματα

11.1.3.1. Μετρήσεις σε δύο διαφορετικά ύψη

Από τις μετρήσεις που προκύπτουν σε δύο διαφορετικά ύψη στο μέσο του δωματίου, όπως φαίνεται και από τα σχήματα που παρουσιάζονται παρακάτω, η θερμοκρασία του εσωτερικού αέρα για την περίπτωση χωρίς PCM ποικίλλει από τους 36° C στους $18,9^\circ \text{ C}$, ενώ για την περίπτωση με PCM ποικίλλει από τους $32,8^\circ \text{ C}$ στους $19,8^\circ \text{ C}$. Προκύπτει ,επομένως, ότι η εφαρμογή του PCM στους τοίχους μείωσε τη διακύμανση της θερμοκρασίας κατά $4,7^\circ \text{ C}$.

Επεξεργαζόμενοι το παρακατω σχήμα, οδηγούμαστε σε μία εξαιρετικά ενδιαφέρουσα παρατήρηση , που αφορά στις θερμοκρασιακές διαφορές T1 και T2. Μιά διαφορά της τάξης του 1oC εμφανίζεται ανάμεσα στα θερμοκρασιακά μέγιστα, στην περίπτωση που δεν χρησιμοποιείται PCM, η οποία δεν εμφανίζεται καθόλου όταν το τελευταίο χρησιμοποιείται. Αυτό οφείλεται κυρίως στις επιπτώσεις της πιο έντονης κίνησης των αέριων μαζών εξ αιτίας της διαφοράς των θερμοκρασιών στους τοίχους με PCM. Το φαινόμενο αυτό, βελτιώνει την θερμική άνεση, αποφεύγοντας την θερμοκρασιακή κατανομή κατά ζώνες, και ήταν η πρώτη φορά που παρατηρήθηκε.



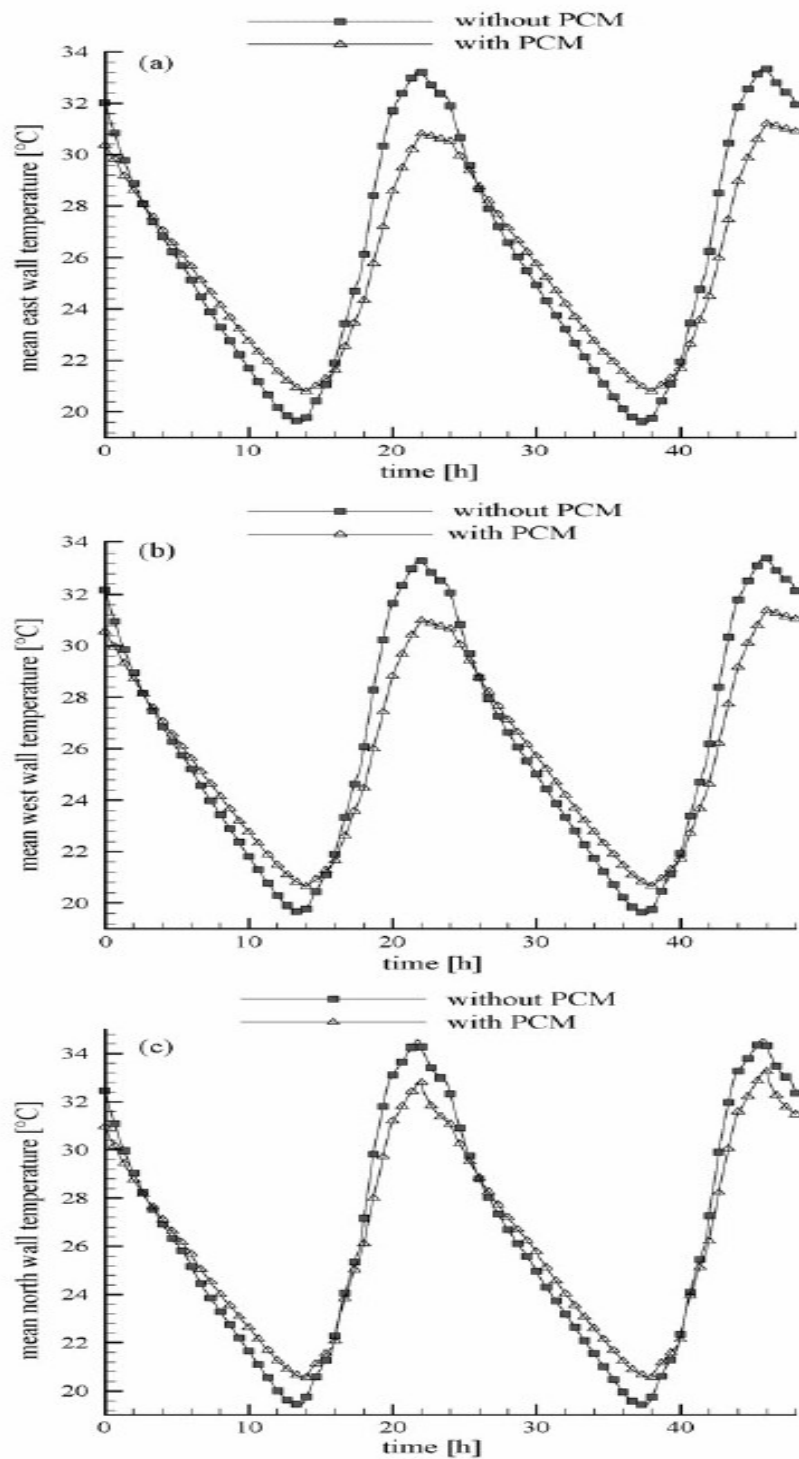
ΕΙΚΟΝΑ 11.1.3.1.1: Η ΚΑΤΑΝΟΜΗ ΤΗΣ ΕΣΩΤΕΡΙΚΗΣ ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑΣ ΣΕ ΔΥΟ ΔΙΑΦΟΡΕΤΙΚΑ ΥΨΗ ΤΟΥ ΔΩΜΑΤΙΟΥ Τ1 ΚΑΙ Τ2 ΚΑΙ ΧΩΡΙΣ PCM.

11.1.3.2. Θερμοκρασιακές μεταβολές στο εσωτερικό μέρος των τοίχων

Οι μεταβολές της θερμοκρασίας στο εσωτερικό των επιφανειών των τοίχων, πλην του νότιου που είναι γυάλινος όπως έχει ήδη αναφερθεί, για την περίπτωση με και χωρίς PCM παρουσιάζονται παρακάτω.

Όπως αναμείνεται, οι θερμοκρασιακές διακυμάνσεις είναι χαμηλότερες για την περίπτωση χρήσης τοίχου με PCM συγκριτικά με αυτές των συνιθισμένων τοίχων. Επιπλέον, σημαντική είναι η ομοιότητα στις θερμοκρασίες που αναπτύχθηκαν στον ανατολικό και στον δυτικό τοίχο, ενώ έμφαση θα πρέπει να δοθεί στο γεγονός ότι οι καμπύλες με και χωρίς PCM παρουσιάζουν μια διαφορά φάσης της τάξης των 40 λεπτών. Θα μπορούσαμε να υποστηρίξουμε ότι κατά κάποιο τρόπο τα υλικά αλλαγής φάσης προσθέτουν αδράνεια στον τοίχο.

Παρατηρώντας τις παραπάνω καμπύλες για τον ανατολικό και τον δυτικό τοίχο, το υλικό αλλαγής φάσης προκαλεί μία μείωση στις μεταβολές της θερμοκρασίας της τάξης των 3.5 °C. Για τον νότιο τοίχο, η μείωση της θερμοκρασίας είναι της τάξης των 2.8 °C, τιμή πολύ χαμηλότερη συγκριτικά με τις προηγούμενες εξ' αιτίας της ηλιακής ακτινοβολίας που είναι αυξημένη.

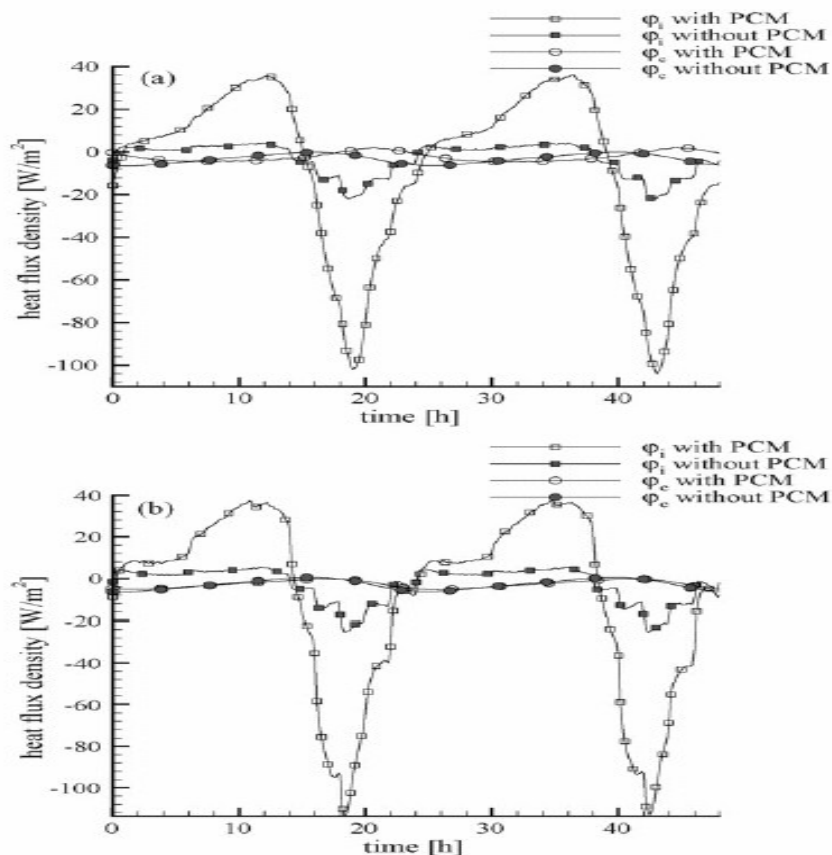


ΕΙΚΟΝΑ 11.1.3.2.1: a) ΚΑΤΑΝΟΜΗ ΤΩΝ ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΩΝ ΣΤΟΝ ΑΝΑΤΟΛΙΚΟ ΤΟΙΧΟ, b) ΚΑΤΑΝΟΜΗ ΤΩΝ ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΩΝ ΣΤΟΝ ΔΥΤΙΚΟ ΤΟΙΧΟ c) ΚΑΤΑΝΟΜΗ ΤΩΝ ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΩΝ ΣΤΟΝ ΒΟΡΕΙΟ ΤΟΙΧΟ

11.1.3.3. Πυκνότητα της ροής θερμότητας

Σε αυτό το σημείο θα αναφερθούμε εκτενέστερα στην ανάλυση της πυκνότητας της ροής θερμότητας ενός τοίχου, όπου με ϕ_e συμβολίζεται η εξωτερική ροή θερμότητας, που είναι θετική όταν διαπερνάει το πάνελ, και ϕ_i συμβολίζεται η εσωτερική ροή θερμότητας, η οποία είναι θετική όταν εγκαταλείπει το πάνελ από την εσωτερική του πλευρά.

Στα διαγράμματα που παρουσιάζονται παρακάτω, δίδονται οι πυκνότητες της εσωτερικής και της εξωτερικής ροής θερμότητας τόσο για τον "ανατολικό-δυτικό" τοίχο, οι οποίοι αποτελούν μια κατηγορία λόγω των όμοιοτήτων στα αποτελέσματά τους, όσο και για τον νότιο τοίχο. Για τις περιπτώσεις με και χωρίς PCM, η μέγιστη διακύμανση για το ϕ_e είναι περίπου 6 W/m^2 χωρίς και 7 W/m^2 με PCM. Οι μικρότερες και οι μεγαλύτερες τιμές για την εξωτερική ροή θερμότητας, που λαμβάνουν τις τιμές -6.5 και -0.2 αντίστοιχα χωρίς PCM και 2.0 και -4.5 με PCM, είναι αρκετά χαμηλές λόγω του μονωτικού υλικού που χρησιμοποιήθηκε. Επιπλέον, αναφέρεται ότι οι καμπύλες που αναφέρονται στην πυκνότητα της εξωτερικής ροής θερμότητας με και χωρίς PCM παρουσιάζουν μια διαφορά φάσης της τάξης των 6 ωρών.



ΕΙΚΟΝΑ 11.1.3.3.1: ΠΥΚΝΟΤΗΤΑ ΡΟΗΣ ΘΕΡΜΟΤΗΤΑΣ ΓΙΑ α) ΤΟΝ ΑΝΑΤΟΛΙΚΟ ΤΟΙΧΟ ΚΑΙ β) ΤΟΝ ΝΟΤΙΟ ΤΟΙΧΟ

Όμως, και το φαινόμενο της αποθήκευσης-αποδέσμευσης της θερμότητας από το PCM είναι εμφανές, εάν παρατηρήσουμε την μεταβολή του ϕ . Για την περίπτωση με PCM οι διακυμάνσεις κυμαίνονται ανάμεσα σε 36 W/m^2 και -103 W/m^2 , όταν στον παραδισιακό τοίχο οι τιμές αυτές είναι 4 W/m^2 και -22 W/m^2 . Η θερμότητα εισχωρεί στο πάνελ όταν η πυκνότητα της ροής ακτινοβολίας είναι η μέγιστη και απομακρύνεται από αυτήν όταν η θερμοκρασία λαμβάνει την μικρότερη τιμή της, δηλαδή όταν όλες οι λάμπες είναι κλειστές.

11.1.3.4. Μελέτη της ενέργειας που αποθηκεύεται και αποδεσμεύεται

Όπως φαίνεται και από τα σχήματα, η συμπεριφορά και των τριών τοίχων που μελετώνται (ανατολικός, δυτικός και νότιος) είναι όμοια, οπότε εδώ θα δωθούν κάποιες πληροφορίες μόνο για τον ανατολικό τοίχο.

Στο παρακάτω διάγραμμα παρουσιάζεται η αποθήκευση- αποδέσμευση της πυκνότητας της ροής θερμότητας ϕ σε ολόκληρο τον τοίχο, η οποία παίρνει θετικές τιμές όταν η ενέργεια αποθηκεύεται. Θεωρώντας τ^+ το χρονικό διάστημα κατά το οποίο ενέργεια αποθηκεύεται και τ^- το χρονικό διάστημα κατά το οποίο ενέργεια αποδεσμεύεται, τότε το σύνολο της ενέργειας που αποθηκεύεται είναι:

$$E_{st} = \int_{\tau^+} \phi dt$$

Και το σύνολο της ενέργειας που αποβάλλεται :

$$E_{des} = \int_{\tau^-} \phi dt$$

Τα αποτελέσματα της έρευνας αυτής συνοψίζονται στον παρακάτω πίνακα.

ΠΙΝΑΚΑΣ 10.1.3.4.1: ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΤΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΠΟΥ ΑΠΟΘΗΚΕΥΕΤΑΙ ΚΑΙ ΠΟΥ ΑΠΟΒΑΛΛΕΤΑΙ

Stocked–destocked energy analysis

	τ^+ (h)	τ^- (h)	E_{st} (kJ/m ²)	E_{des} (kJ/m ²)
Without PCM	8.3	15.7	313.9	-315.0
With PCM	9	15	663.5	-670.4

Από εδώ βλέπουμε ότι η ενέργεια που αποθηκεύεται σε τοίχο με PCM είναι περίπου διπλάσια αυτής που αποθηκεύεται σε συνιθισμένο τοίχο. Το θερμικό κέρδος είναι περίπου 352 kJ/m² ανά τοίχο, που σημαίνει ότι η συνολική αποθηκευμένη ενέργεια και από τους τρεις τοίχους είναι 8.2 MJ.

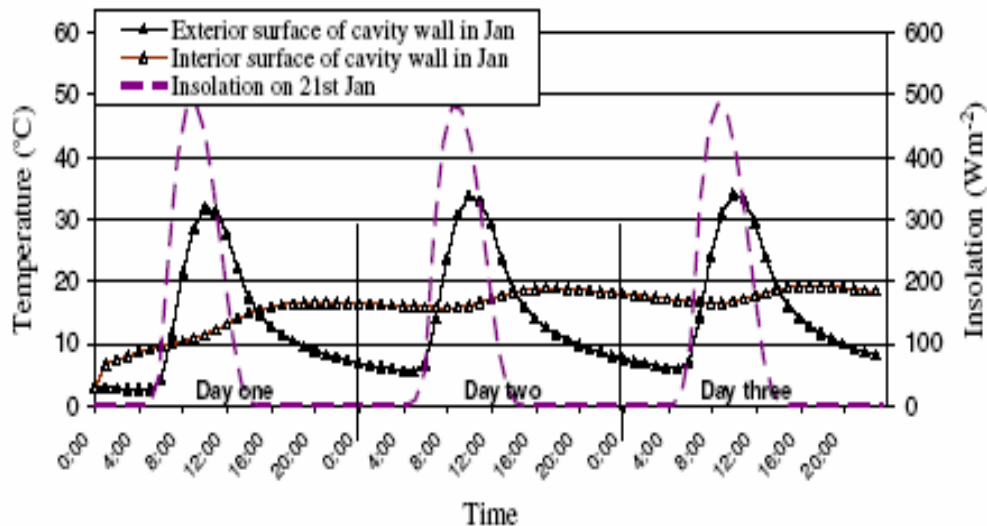
11.2. Εφαρμογή ενός επικυρωμένου αριθμητικού μοντέλου για την πρόβλεψη της κατανάλωσης ενέργειας από την χρήση υλικών αλλαγής φάσης στα κατασκευαστικά υλικά του κτιρίου.

Τα τρία πιο σημαντικά θερμικά χαρακτηριστικά ενός τοίχου είναι η θερμική του ικανότητα, η θερμική του αγωγιμότητα, η θέση της μόνωσης και οι στρώσεις των κατασκευαστικών υλικών στον τοίχο. Αυτά, μαζί με κάποια άλλα χαρακτηρίζουν το εκάστοτε κτίριο επηρεάζοντας τα θερμικά-ψυκτικά του φορτία καθώς και τις θερμοκρασίες των επιφανειών του. [103] Στην μελέτη που θα παρουσιαστεί στο κεφάλαιο αυτό, στους τοίχους των κτιρίων προστίθενται δύο τύποι PCM που είναι διαθέσιμοι στο εμπόριο σε διαφορετικές θερμοκρασίες τήξης. Επιπλέον, εξετάζονται και οι διαφορετικές θέσεις στις οποίες τοποθετείται το PCM για ρεαλιστικά θερμοκρασιακά όρια τόσο το χειμώνα όσο και το καλοκαίρι, η μεταφορά θερμότητας καθώς και η διάνομή της θερμοκρασίας.

11.2.1. Παραμετρική ανάλυση

Προκειμένου να αξιολογήσουμε την συμπεριφορά ενός κτιρίου, έγιναν προβλέψεις για τις θερμοκρασίες που αναπτύσσονται στο εσωτερικό ενός τοίχου που περιέχει ένα διάκενο, χωρίς PCM ώστε να το χρησιμοποιήσουμε ως βάση δεδομένων για περαιτέρω σύγκριση. Το πάχος του τοίχου είναι 0.250 m, με 0.110 m τούβλο, 0.100 m τσιμέντο, 0.010 m γύψο και 0.030 m διάκενο.

Στο διάγραμμα που παρουσιάζεται παρακάτω δίδονται οι προβλεπόμενες θερμοκρασίες για την εσωτερική και την εξωτερική επιφάνεια ενός τοίχου με διάκενο στην Βρετανία την 21 Ιανουαρίου, ύστερα από τριήμερη προσομοίωση.

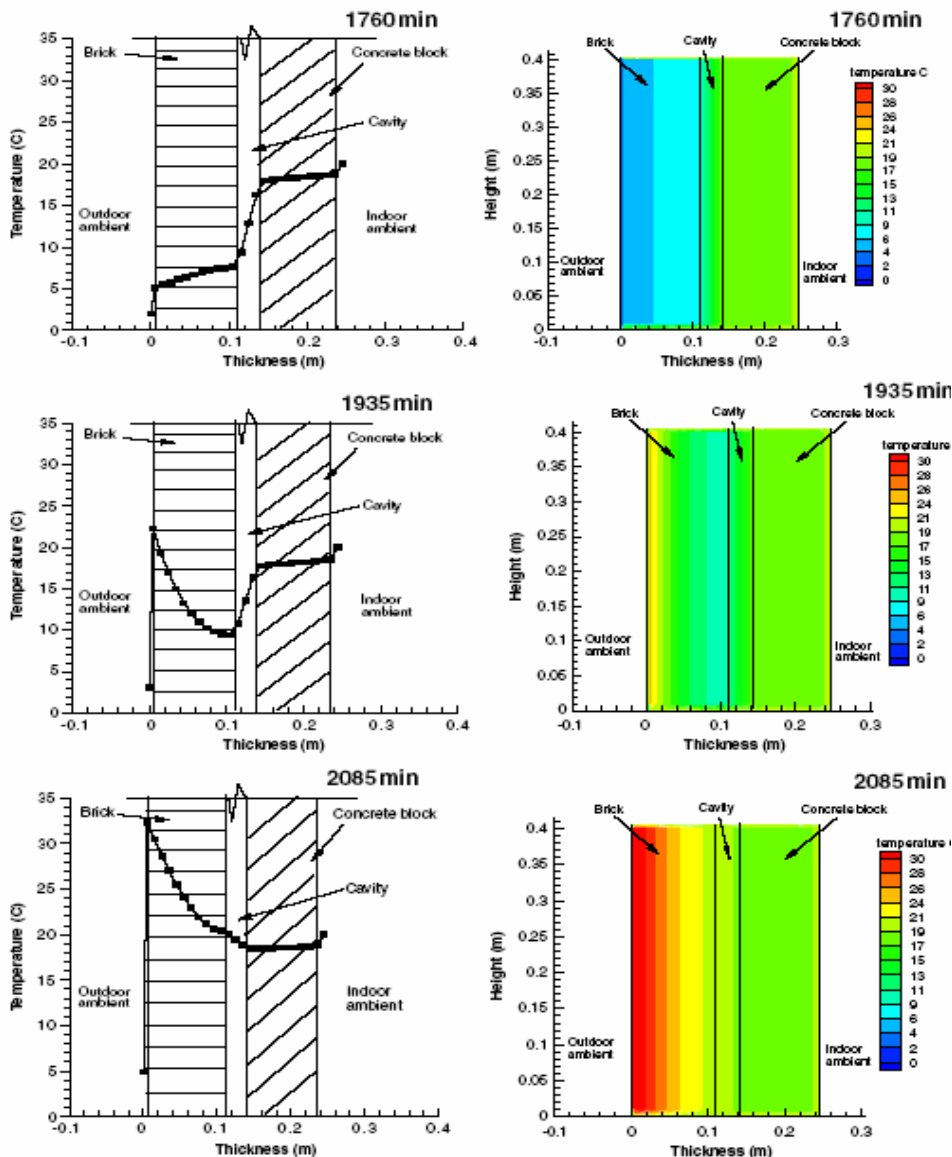


ΕΙΚΟΝΑ 11.2.1.1: ΠΡΟΒΛΕΠΟΜΕΝΕΣ ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΕΣ ΤΗΣ ΕΣΩΤΕΡΙΚΗΣ ΚΑΙ ΤΗΣ ΕΞΩΤΕΡΙΚΗΣ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΣ ΕΝΟΣ ΤΟΙΧΟΥ ΜΕ ΔΙΑΚΕΝΟ ΤΗΝ 21 ΙΑΝΟΥΑΡΙΟΥ ΣΤΗΝ ΒΡΕΤΑΝΙΑ, ΥΣΤΕΡΑ ΑΠΟ ΤΡΙΗΜΕΡΗ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗ

Τα προβλεπόμενα αποτελέσματα δείχνουν ότι μετά την πρώτη μέρα, οι θερμοκρασίες επαναλαμβάνονται. Η ηλιακή ακτινοβολία που απορροφήθηκε από την μπροστινή πρόσοψη του τοίχου, ο οποίος περιείχε τούβλα, μεταδόθηκε με αγωγή μέσω αυτού του τοίχου και αύξησε την θερμοκρασία της εσωτερικής του επιφάνειας. Η απορροφώμενη ηλιακή ενέργεια παραμένει αποθηκευμένη στους τοίχους όσο η θερμοκρασία του εξωτερικού περιβάλλοντος είναι υψηλή και αποδίδεται σταδιακά κατά την διάρκεια της νύχτας. Το διάκενο αποτελεί μια πολύ καλή θερμική αντίσταση ανάμεσα στο εσωτερικό και στο εξωτερικό κομμάτι του τοίχου. Η θερμοκρασία στην εσωτερική επιφάνεια του εσωτερικού τοίχου έχει μικρότερες θερμοκρασιακές διακυμάνσεις συγκριτικά με αυτές της εξωτερικής επιφάνειας του εξωτερικού τοίχου. Καθώς περνάει η ώρα, θερμότητα μεταφέρεται μέσω του διακένου στο τσιμεντένιο κομμάτι του τοίχου και στη συνέχεια μεταφέρεται στο δωμάτιο. Επιπλέον, είναι γεγονός ότι οι η εσωτερική και η εξωτερική θερμοκρασία του τοίχου επηρεάζονται πολύ περισσότερο από την ένταση της ηλιακής ακτινοβολίας παρά από την θερμοκρασία του περιβάλλοντος, γι' αυτό και όταν πέφτει ο ήλιος η θερμοκρασία της εξωτερικής επιφάνειας του τοίχου μειώνεται με ταχύ ρυθμό. Η εξωτερική θερμοκρασία του τοίχου με

διάκενο ακολουθεί την ίδια κατανομή με αυτή που προκαλεί η ηλιοφάνεια, με μια χρονική υστέρηση 20 λεπτών.

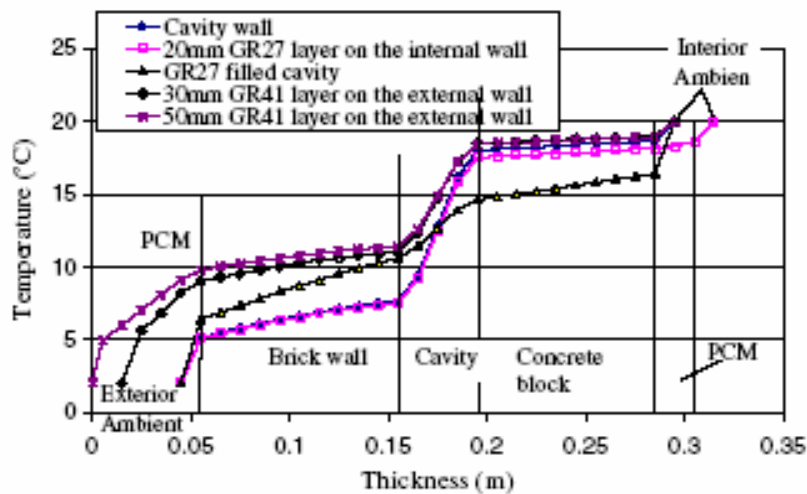
Οι διακυμάνσεις στη θερμοκρασία της εσωτερικής επιφάνειας είναι αναμενόμενες λαμβάνοντας υπ όψη την θερμοκρασία της εξωτερικής επιφάνειας του τοίχου με διάκενο, όμως και εδώ παρουσιάζεται χρονική υστέρηση 2 ωρών. Ακόμα, για θερμοκρασία δωματίου 20 οC και υγρασία 70%, εμφανίζεται η πιθανότητα υγροποίησης όταν η εσωτερική θερμοκρασία του τοίχου πέφτει κάτω από τους 14.5 οC, περίπτωση που δεν μας απασχολεί στην παρούσα έρευνα αφού, σύμφωνα με το διάγραμμα, η εσωτερική θερμοκρασία του τοίχου είναι μεγαλύτερη από 14.5οC



ΕΙΚΟΝΑ 11.2.1.2: ΠΡΟΒΛΕΠΟΜΕΝΕΣ ΚΑΤΑΝΟΜΕΣ ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑΣ ΣΕ ΕΝΑ ΤΟΙΧΟ ΜΕ ΔΙΑΚΕΝΟ

Η παραπάνω εικόνα παρουσιάζει την προβλεπόμενη κατανομή θερμοκρασίας ενός τοίχου με διάκενο όπως προέκυψε από προσομοίωση τριών ημερών με χρήση στοιχείων για τον καιρό της Βρετανίας για την 21 Ιανουαρίου σε 1760, 1985 και 2080 λεπτά, που αντιστοιχούν στην χαμηλότερη, σε μία μέτρια και στην υψηλότερη θερμοκρασία που αναπτύσσεται. Μπορούμε να δούμε ότι η εξωτερική επιφάνεια του τοίχου με διάκενο ανταποκρίνεται έντονα στην έκθεση στον ήλιο και στην θερμοκρασία του περιβάλλοντος και επομένως οι θερμοκρασιακές διακυμάνσεις του εξωτερικού τοίχου είναι μεγαλύτερες σε σχέση με αυτές της εσωτερικής επιφάνειας του τοίχου. Η ύπαρξη του διακένου μειώνει την μεταφορά της θερμότητας ανάμεσα στα δύο μέρη του τοίχου, ενώ οι επιφανειακές διαφορές θερμοκρασίας και η θερμοκρασιακή κλίση στο εσωτερικό του τοίχου είναι υπεύθυνες για την μεταφορά θερμότητας με αγωγή και για την αύξηση του ρυθμού της.

Προκειμένου να εξετάσουμε την επίδραση της θέσης και του τύπου του PCM στην μεταφορά της θερμότητας σε προσαυξημένο με PCM τοίχο, έχουν προσομοιωθεί τα προφίλ των θερμοκρασιών του τοίχου αυτού, όπως φαίνεται και στην παρακάτω εικόνα.

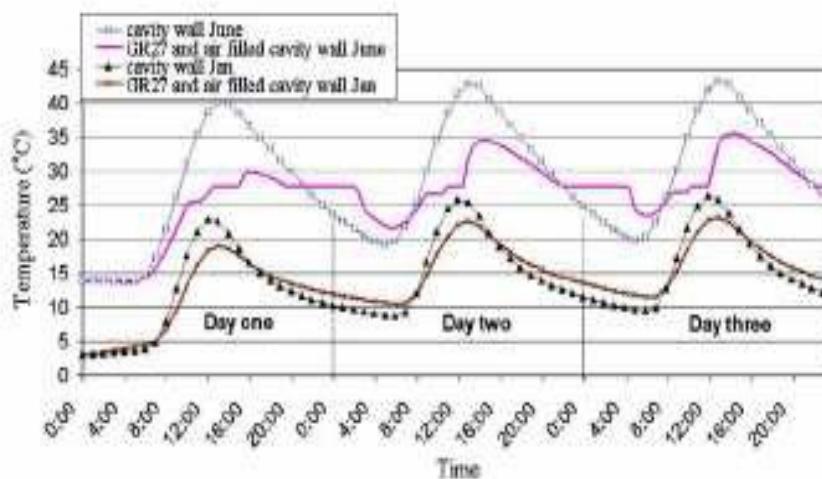


ΕΙΚΟΝΑ 11.2.1.3: ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑΚΟ ΠΡΟΦΙΛ ΤΟΙΧΟΥ ΜΕ PCM ΜΕΤΑ ΑΠΟ 1760 min.

Συγκεκριμένα, βλέπουμε μια σύγκριση ανάμεσα στα προβλεπόμενα θερμοκρασιακά προφίλ σε συνάρτηση με το πάχος τοίχου, όταν χρησιμοποιούνται δύο ειδών PCM, το GR27 και το GR41, τα οποία τοποθετούνται σε διάφορες θέσεις μέσα στον τοίχο για 1760min, οπότε η εξωτερική θερμοκρασία του τοίχου λαμβάνει την χαμηλότερη τιμή της.

Παρατηρούμε ότι η θερμοκρασία στις δύο επιφάνειες του διακένου, για την περίπτωση χωρίς PCM είναι 7.5 και 18, ενώ τα φαινόμενα της συναγωγής και της συμπύκνωσης είναι πιθανό να εμφανιστούν. Με την προσθήκη του PCM GR41 στην εξωτερική επιφάνεια του τοίχου, η θερμοκρασιακή διαφορά μέσα στο διάκενο μειώνεται. Η θερμοκρασία που χάθηκε από το εσωτερικό προς το εξωτερικό για την περίπτωση GR27 filled cavity είναι η μέγιστη, αυτό άλλωστε είναι εμφανές από την ελάχιστη προβλεπόμενη θερμοκρασία εσωτερικής επιφάνειας και την μέγιστη θερμοκρασία εξωτερικής επιφάνειας, επομένως η θερμοκρασιακή διαφορά κατά μήκος του διακένου είναι η μικρότερη. Επιπλέον, μόνωση της εξωτερικής επιφάνειας του τούχου με GR41 πάχους 30mm και 50mm μπορεί να περιορίσει αρκετά την μείωση της θερμοκρασίας στην εσωτερική επιφάνεια της εξωτερικής πλευράς του διακένου. Ακόμα, δεν παρατηρείται μεταβολή στην θερμοκρασία κατά μήκος του τσιμέντου ή του τούβλου για καμία από τις εξεταζόμενες περιπτώσεις και η τοποθέτηση του PCM στην εσωτερική επιφάνεια του τοίχου αν και μπορεί να μειώσει την θερμότητα που χάνεται από το εσωτερικό προς το εξωτερικό του δωματίου, δεν επηρεάζει ιδιαίτερα τη θερμοκρασία μέσα στο διάκενο.

Τελευταίο διάγραμμα της έρευνας αυτής αποτελεί το επόμενο, το οποίο παρουσιάζει τις προβλεπόμενες θερμοκρασίες για τοίχο προσαυξημένο με 20 mm GR27, για τις καιρικές συνθήκες της 21 Ιανουαρίου και 21 Ιουνίου στην Βρετανία.



ΕΙΚΟΝΑ 11.2.1.4: ΠΡΟΒΛΕΠΟΜΕΝΕΣ ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΕΣ ΓΙΑ ΤΟΙΧΟ ΜΕ 20 mm GR27, ΓΙΑ ΤΙΣ ΚΑΙΡΙΚΕΣ ΣΥΝΘΗΚΕΣ ΤΗΣ 21 ΙΑΝΟΥΑΡΙΟΥ ΚΑΙ 21 ΙΟΥΝΙΟΥ ΣΤΗΝ ΒΡΕΤΑΝΙΑ.

Όπως φαίνεται, το καλοκαίρι, η προσθήκη του PCM μειώνει σημαντικά τις θερμοκρασιακές διακυμάνσεις χρησιμοποιώντας τις ιδιότητες αλλαγής φάσης, ενώ και τον χειμώνα μειώνει τις θερμοκρασιακές

διακυμάνσεις πίο αποτελέσματα από έναν απλό τοίχο με διάκενο χάρη στην αυξημένη θερμική μάζα. Παρ'όλα αυτά, η επίδραση του υλικού αλλαγής φάσης στον έλεγχο της θερμοκρασίας της εσωτερικής επιφάνειας του εξωτερικού τοίχου μειώνεται κατά την διάρκεια της δεύτερης και της τρίτης ημέρας κυρίως λόγω της αλλαγής στο ποσό της αισθητής θερμότητας που αποθηκεύεται στο PCM. Στο τέλος της δεύτερης και της τρίτης ημέρας η θερμοκρασία πέφτει κάτω από την θερμοκρασία αλλαγής φάσης υποδηλώνοντας την αποβολή λανθάνουσας θερμότητας.

Τέλος, αναφέρεται γενικότερα ότι η συγκριτική ανάλυση των διαφόρων τύπων τοίχου με διάκενο αποδεικνύει τα προτερήματα της χρήσης λανθάνουσας μορφής θερμότητας και των χαμηλών θερμοκρασιών για τα παθητικά συστήματα αποθήκευσης ενέργειας στα κτίρια.

11.3. Αναλυτική βελτιστοποίηση του εσωτερικού ενός δωματίου ελαφράς κατασκευής για παθητικό σύστημα αποθήκευσης ενέργειας με σκοπό την εξοικονόμηση αυτής.

11.3.1. Βασικές αρχές της διαδικασίας βελτιστοποίησης

Προκειμένου να απλοποιηθεί η παραπάνω μελέτη χρησιμοποιήθηκε ένα ιδανικό δωμάτιο ελαφράς κατασκευής, που αποτελεί παθητικό σύστημα αποθήκευσης της ενέργειας, και το οποίο υπόκειται σε περιοδικές αλλαγές των κλιματικών του συνθηκών.[104] Οι παραδοχές που έγιναν είναι οι εξής:

- Η ικανότητα αποθήκευσης αισθητής μορφής θερμότητας από το ελαφράς κατασκευής κτίριο θεωρείται αμελητέα.
- Χρησιμοποιείται ένας συντελεστής h_{in} , ο οποίος αντιπροσωπεύει την μεταφορά θερμότητας τόσο μέσω ακτινοβολίας όσο και μέσω συναγωγής ανάμεσα στους τοίχους και στο περιβάλλον.
- Τα ιδανικά πάνελ με PCM έχουν επαρκή ικανότητα αποθήκευσης λανθάνουσας θερμότητας σε μία καθορισμένη θερμοκρασία αλλαγής φάσης T_m .
- Η εσωτερική κατανομή της θερμοκρασίας θεωρείται ομοιόμορφη, καθώς η θερμική αντίσταση στην επιφάνεια είναι αρκετά μεγάλη σε σχέση με την αντίσταση της συναγωγής του πάνελ με PCM.
- Η επιφάνεια του πάνελ με PCM όταν δεν βρίσκεται τοποθετημένη στο δωμάτιο θεωρείται μονωμένη.

11.3.2. Βελτιστοποίηση της θερμοκρασίας αλλαγής φάσης

Η βέλτιστη θερμοκρασία αλλαγής φάσης λαμβάνεται από την εξίσωση:

$$T_{m,i} = \bar{T}_a + \frac{\int_P (Q_{r,i} + Q_{r,in,i}) d\tau}{h_{in} \cdot P \cdot A_i}$$

Από όσο βλέπουμε, η βέλτιστη θερμοκρασία αλλαγής φάσης δεν εξαρτάται μόνο από την μέση θερμοκρασία του δωματίου αλλά και από την απορροφώμενη ακτινοβολία. Σε περίπτωση που αυτή είναι μηδέν, η βέλτιστη θερμοκρασία αλλαγής φάσης ισούται με την μέση θερμοκρασία του δωματίου.

11.3.3. Εκτίμηση της μέσης θερμοκρασίας του εσωτερικού αέρα

Η θερμοκρασία του εσωτερικού αέρα δίνεται προσεγγιστικά από τον τύπο:

$$T_a = \bar{T}_o + T_q + \frac{UA_o + G\rho_{air}c_{p,a}}{\rho_{air}c_{p,a}V_a} \int f(w\tau) \cdot e^{B\tau} d\tau$$

Για το δεξί μέλος της εξίσωσης, ο πρώτος όρος παριστάνει την μέση εξωτερική θερμοκρασία του εξωτερικού αέρα και ο δεύτερος παριστάνει την σταθερή μεταβολή της θερμοκρασίας του εσωτερικού αέρα λόγω της μεταδιδόμενης ηλιακής ενέργειας και των εσωτερικών πηγών ενέργειας.

Η μέση θερμοκρασία του εσωτερικού αέρα, λόγω της παραπάνω εξίσωσης, γράφεται:

$$T_a = T_o + T_q \quad (11.3.3.1)$$

Από αυτή την εξίσωση βλέπουμε ότι η ικανότητα αποθήκευσης λανθάνουσας μορφής θερμότητας δεν μεταβάλλει την μέση θερμοκρασία του εσωτερικού αέρα για δεδομένες τιμές των U και G.

11.3.4. Εκτίμηση της διακύμανσης της θερμοκρασίας του εσωτερικού αέρα

Θεωρώντας ότι η εξωτερική θερμοκρασία μπορεί να εκφραστεί μέσω της σειράς Fourier από την έκφραση:

$$T_o = \bar{T}_o + \Delta T_o \sin(\omega\tau + \beta)$$

Η θερμοκρασία του εσωτερικού αέρα, που έχει ήδη δοθεί υπό μορφή εξίσωσης, θα γίνει:

$$T_a = \bar{T}_o + T_q + \frac{(UA_o + G\rho_{\text{air}}c_{p,a}) \cdot \Delta T_o}{\sqrt{(UA_o + G\rho_{\text{air}}c_{p,a} + h_{\text{in}}A)^2 + (\rho_{\text{air}}c_{p,a} V_a \omega)^2}} \times \sin(\omega\tau + \beta)$$

Ο τελευταίος όρος της εξίσωσης αυτής είναι περιοδικός, με πλάτος που εξαρτάται από το πλάτος της διακύμανσης της εξωτερικής θερμοκρασίας ΔT_o , από το συντελεστή μεταφοράς θερμότητας στην επιφάνεια του πάνελ και από το εμβαδό της επιφάνειας του πάνελ. Το πλάτος της διακύμανσης της εσωτερικής θερμοκρασίας του αέρα μειώνεται με την αύξηση του γινομένου $h_{\text{in}} A$ και πλησιάζει την τιμή μηδέν καθώς το $h_{\text{in}} A$ τίνει στο άπειρο.

11.3.5. Βελτιστοποίηση της ικανότητας αποθήκευσης λανθάνουσας μορφής θερμότητας

Σύμφωνα με την υπόθεση, που έχει ήδη αναφερθεί, σχετικά με την επαρκή ικανότητα αποθήκευσης λανθάνουσας μορφής θερμότητας, το πάνελ που περιέχει PCM μπορεί να απορροφήσει όλη την ενέργεια από ακτινοβολία που προσπίπτει σε αυτό και ακόμα θα μπορεί να απορροφάει ενέργεια πάντα όταν η θερμοκρασία του δωματίου ξεπερνάει την τιμή T_m . Επιπλέον, μέρος ή και ολόκληρη η αποθηκευμένη ενέργεια μπορεί να απορριφθεί από τα πάνελ, όσο η εσωτερική θερμοκρασία του αέρα έχει τιμές μικρότερες της T_m . Η ενέργεια που αποθηκεύεται σε ένα κύκλο δίνεται από την εξίσωση:

Και η ενέργεια που αποδίδεται σε έναν κύκλο είναι :

$$E_{\text{release}} = h_{\text{in}} A \int_P (T_m - T_a)^+ d\tau \quad T_m > T_a$$

Για την βέλτιστη θερμοκρασία αλλαγής φάσης, η οποία δίδεται από την σχέση :

$$T_m = \bar{T}_a + \frac{\int_P (Q_r + Q_{r,\text{in}}) d\tau}{h_{\text{in}} \cdot P \cdot A}$$

Θεωρούμε ότι η ενθαλπία των πάνελ με PCM δεν μεταβάλλεται ύστερα από έναν κύκλο, ώστε η αποθηκευμένη και η αποδιδόμενη ενέργεια που αποθηκεύονται και αποδίδονται σε έναν κύκλο να είναι ίσες. Έτσι, η βέλτιστη τιμή της ικανότητας αποθήκευσης λανθάνουσας μορφής θερμότητας, προκειμένου να ολοκληρωθεί ένας κύκλος είναι:

$$E_{PCM} = E_{\text{storage}} = E_{\text{release}} \quad (11.3.5.1)$$

11.3.6. Εφαρμογή και συμπεράσματα

Οι παραπάνω εξισώσεις εφαρμόστηκαν σε ένα κτίριο ελαφριάς κατασκευής, το οποίο βρίσκεται στο Πεκίνο, για μία τυπική ημέρα του Ιανουαρίου. Μόνο ο νότιος τοίχος του είναι εκτεθειμένος σε ηλιακή ακτινοβολία, ενώ το δωμάτιο έχει διαστάσεις 4 m (μήκος) x 5 m (πλάτος) x 2.8 m (ύψος).

Από την παραπάνω αναλυτική μελέτη καταλήξαμε στην:

- Δημιουργία μιάς εξίσωσης για την βέλτιστη θερμοκρασία αλλαγής φάσης του PCM που χρησιμοποιείται σε κτίρια ελαφριάς κατασκευής. Μάλιστα, η παραπάνω θερμοκρασία εξαρτάται από την μέση θερμοκρασία του εσωτερικού αέρα και αυξάνεται με την αύξηση της ποσότητας της ακτινοβολίας που απορροφάται από τα πάνελ με PCM.
- Δημιουργία μιάς εξίσωσης για την μέση θερμοκρασία του εσωτερικού αέρα ενός κτιρίου ελαφριάς κατασκευής, από την οποία βλέπουμε ότι η

αποθήκευση ενέργειας από το PCM επιδρά ελάχιστα στην μεταβολή της.

- Δημιουργία μιάς εξίσωσης για την μεταβολή της θερμοκρασίας του εσωτερικού αέρα, από την οποία παρατηρούμε ότι το πλάτος της μεταβολής αυτής μειώνεται με την αύξηση του επιφανειακού συντελεστή μεταφοράς θερμότητας h_{in} και της επιφάνειας των πάνελ, αφού η μεγάλη επιφάνεια αυξάνει τον ρυθμό φορτισης-αποφόρτισης της θερμότητας από το PCM πάνελ.

12ΚΕΦΑΛΑΙΟ

ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΙΚΑ ΜΟΝΤΕΛΑ ΜΕΤΑΔΟΣΗΣ ΘΕΡΜΟΤΗΤΑΣ ΣΕ ΥΛΙΚΑ ΑΛΛΑΓΗΣ ΦΑΣΗΣ

12.1. Μέθοδος ενθαλπίας σε υλικά αλλαγής φάσης

Η ανάλυση των φαινομένων μεταφοράς σε προβλήματα στερεοποίησης και τήξης είναι ιδιαίτερα σύνθετη λόγω του ότι το όριο στερεού – υγρού τήγματος κινείται ανάλογα με την ταχύτητα πρόσδοσης ή απορρόφησης λανθάνουσας θερμότητας και έτσι η θέση του μετώπου αλλαγής φάσης δεν είναι εκ των προτέρων γνωστή.

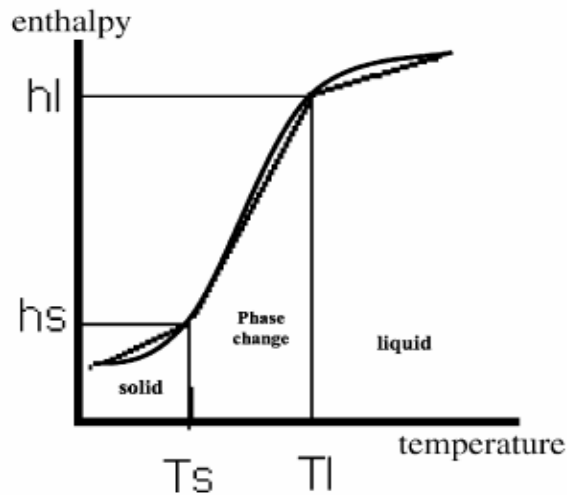
Η μέθοδος ενθαλπίας χρησιμοποιείται στην ανάλυση φαινομένων αλλαγής φάσης σε μονοδιάστατη αγωγή θερμότητας. Βασικό πλεονέκτημα της μεθόδου είναι ότι δεν είναι απαραίτητο να γνωρίζουμε τις οριακές συνθήκες που ισχύουν στο κινούμενο μέτωπο αλλαγής φάσης, γεγονός που σημαίνει ότι μπορούμε να διακριτοποιήσουμε το χώρο εύκολα. Μια από τις πιο αξιόπιστες υπολογιστικές μεθόδους που εφαρμόζονται για να μας δώσουν αποτελέσματα με τη μέθοδο της ενθαλπίας είναι η μέθοδος «υπερπήδησης κόμβων» (Node jumping), κατά την οποία το πλέγμα όπως προαναφέρθηκε παραμένει σταθερό και το μέτωπο αλλαγής φάσης βρίσκεται πάντα πάνω σε ορισμένο κόμβο του πλέγματος. Επομένως η χρήση της μεθόδου της ενθαλπίας με τη βοήθεια της « node jumping technique » δίνουν αρκετά ακριβή αποτελέσματα. Η εξίσωση της ενέργειας με όρους ενθαλπίας γράφεται ως εξής :

$$\rho(\partial H/\partial t)=\nabla(\kappa \nabla T) \quad (12.1.1)$$

Όπου

- H : η ενθαλπία, η οποία εκφράζεται σαν σύνολο λανθάνοντος και αισθητού ποσού θερμότητας,
- T : η θερμοκρασία,
- κ : η θερμική αγωγιμότητα και
- ρ : η πυκνότητα.

Η επίλυση αυτής της εξίσωσης απαιτεί τη γνώση της ενθαλπίας και της θερμοκρασίας στην έναρξη και τη λήξη της στερεοποίησης, όπως φαίνεται και στο παρακάτω σχήμα. Επομένως πρέπει να γνωρίζουμε τη διαφορά θερμοκρασίας και τη θερμοχωρητικότητα ώστε να είμαστε σε θέση να γνωρίζουμε την ενθαλπία.



ΕΙΚΟΝΑ 12.1.1:ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ ΣΥΝΑΡΤΗΣΗ ΤΗΣ ΕΝΘΑΛΠΙΑΣ

Τα κύρια προτερήματα από τη χρήση της παραπάνω εξίσωσης είναι τα ακόλουθα :

- Η εξίσωση είναι δυνατόν να εφαρμοσθεί και στις 3 φάσεις
- Η θερμοκρασία είναι προσδιορίσιμη σε κάθε σημείο και τιμή των θερμοφυσικών ιδιοτήτων μπορούν να εκτιμηθούν
- Επιπλέον γνωρίζοντας τις τιμές του θερμοκρασιακού πεδίου, είναι δυνατόν να προσδιορίσουμε τη θέση του ορίου αλλαγής φάσης, αν και αυτό δεν απαιτείται για την επίλυση του προβλήματος.

Η σχέση μεταξύ της θερμοκρασίας και της ενθαλπίας εξαρτάται από τη φύση της αλλαγής φάσης. Έτσι αν εξετάζουμε ένα υλικό το οποίο υφίσταται τήξη – ψύξη, όλο το λανθάνον ποσό θερμότητας συναλλάσσεται σε μια συγκεκριμένη θερμοκρασία την $T = T_{ph}$, οπότε θα έχουμε :

$$\begin{aligned}
 H &= CT \text{ για } T < T_{ph} \\
 H &= CT + L \text{ για } T > T_{ph}
 \end{aligned}
 \tag{12.1.2}$$

Όπου :

- C : είναι η αισθητή θερμότητα και
- L : η λανθάνουσα θερμότητα.

Ένας εναλλακτικός τρόπος γραφής της εξίσωσης της ενέργειας, με όρους λανθάνουσας και αισθητής θερμότητας είναι ο ακόλουθος :

$$\rho(\partial H/\partial t)=\nabla(\kappa \nabla T)+S \quad (12.1.3)$$

όπου:

- h : η αισθητή ενθαλπία , $h=CT$
- k : η διαχυσιμότητα όπου $k=\kappa/C\rho$
- S : ο όρος της λανθάνουσας θερμότητας όπου $S=\partial(\Delta H)/\partial t$. Ο όρος ΔH είναι το λανθάνον ποσό θερμότητας που συναλλάσσεται κατά την αλλαγή φάσης. Η συναρτησιακή σχέση του ΔH με τη θερμοκρασία εξαρτάται από τη φύση της αλλαγής φάσης, έτσι όμοια θα έχουμε :

$$\begin{aligned} \Delta H &= 0 \text{ για } T < T_{ph} \\ \Delta H &= L \text{ για } T > T_{ph} \end{aligned} \quad (12.1.4)$$

Η επίλυση της εξίσωσης (11.2) γίνεται με υπολογιστικές μεθόδους. Για την καλύτερη παρουσίαση της μεθόδου θεωρούμε μονοδιάστατη αγωγή θερμότητας και η επίλυση θα γίνει με την μέθοδο των πεπερασμένων όγκων. Αρχικά διακριτοποιούμε το χώρο σε κόμβους και στον κάθε κόμβο αντιστοιχεί ένας πεπερασμένος όγκος. Επομένως με την χρήση των πεπερασμένων διαφορών η εξίσωση (11.2) γράφεται ως εξής:

$$h_p - h_p^* = (\delta t / \delta x^2) * (1 - \theta) * F_p^* + (\delta t / \delta x^2) * \theta * F_p + S_p \quad (12.1.5)$$

όπου:

- $F_p = \kappa_w * (h_w - h_p) - \kappa_e * (h_p - h_E)$
- $S_p = \Delta T_p^* - \Delta H_p^*$

Οι τιμές οι οποίες είναι σημειωμένες με (*), δηλώνουν τις τιμές των μεγεθών την προηγούμενη χρονική στιγμή. Η παράμετρος θ , λαμβάνει τιμές, $\theta \in [0, 1]$ και όταν $\theta = 0$ τότε η μέθοδος είναι ρητή ενώ όταν $\theta = 1$ η μέθοδος είναι πεπλεγμένη. Η τιμή του όρου S_p , δίνει την τιμή της κομβικής μεταβολής της λανθάνουσας θερμότητας ΔH_p σε κάθε χρονικό βήμα, και η

τιμή αυτή είναι σχετική με το ποσό θερμότητας που συναλλάσσεται καθώς ο όγκος αναφοράς αλλάζει κατάσταση από τη μια χρονική στιγμή στην άλλη.

Ας θεωρήσουμε ότι σε μια χρονική στιγμή t , η διεπιφάνεια αλλαγής φάσης βρίσκεται στον κόμβο N . Για το συγκεκριμένο όγκο αναφοράς, κατά το ήμισυ θα είναι σε υγρή φάση και το υπόλοιπο θα είναι σε στερεά φάση. Στην περιοχή που είναι στερεό το ποσό λανθάνουσας θερμότητας θα είναι μηδενικό ενώ εκεί που έχουμε υγρή φάση το ποσό λανθάνουσας θερμότητας θα είναι L . Επομένως το λανθάνον ποσό θερμότητας τη χρονική στιγμή t , θα είναι :

$$\Delta H_N^* = L/2 \quad (12.1.6)$$

Αν μετά από χρονικό διάστημα $t + \Delta t$, η διεπιφάνεια αλλαγής φάσης έχει μετακινηθεί κατά Δx , τότε στον κόμβο $N + 1$, το λανθάνον ποσό θερμότητας θα είναι αντίστοιχα :

$$\Delta H_{N+1} = L/2 \quad (12.1.7)$$

Άρα η τιμή της κομβικής ενθαλπική διαφοράς τις χρονικές στιγμές t και $t + \Delta t$, θα είναι αντίστοιχα:

$$S_N = \Delta H_N^* - \Delta H_N = L/2 \quad (12.1.8)$$

$$S_{N+1} = \Delta H_{N+1}^* - \Delta H_{N+1} = L/2 \quad (12.1.9)$$

Έτσι αν επιλέγουμε το χρονικό βήμα με τέτοιο τρόπο ώστε να εξασφαλίζουμε ότι η επιφάνεια αλλαγής φάσης σε χρονικό διάστημα Δt κινείται κατά Δx , δηλαδή από κόμβο σε κόμβο, τότε μπορούμε να γράψουμε ότι αν ο κόμβος N είναι στην αρχή ο κόμβος $N + 1$ θα είναι στο τέλος και συνεπώς για το συναλλασσόμενο λανθάνον ποσό θερμότητας θα έχουμε :

$$S_p = L/2 \text{ για } P=N \text{ και } P=N+1 \text{ αλλιώς} \\ S_p = 0 \quad (12.1.10)$$

Το γεγονός αυτό μας διευκολύνει στην επίλυση της εξίσωσης (11.5), με τον αλγόριθμο του τριδιαγώνιου πίνακα. Το μόνο άγνωστο στοιχείο είναι το χρονικό βήμα που πρέπει να προσδιορισθεί από κόμβο σε κόμβο. Το χρονικό βήμα μπορεί να προσεγγισθεί με επαναληπτική διαδικασία, από το ένα χρονικό βήμα στο επόμενο. Το σημείο σύγκλισης αυτής της διαδικασίας θα είναι όταν στον κόμβο N+1, έχουμε στερεοποίηση και τότε η τιμή της ενθαλπίας θα είναι :

$$h_{N+1} = C * T_{ph} \quad (12.1.11)$$

12.2. Μέθοδος ενεργού θερμοχωρητικότητας

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" $C_{p,eff}(T)$. Στο μοντέλο αυτό η αλλαγή φάσης ενδιαφέρει μόνο σαν μακροσκοπικό φαινόμενο χωρίς να υπάρχει ανάγκη υπολογισμού περαιτέρω λεπτομερειών στη διαφασική περιοχή.

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

$$C_p = 4 * (H - b * C_{ps}) * \frac{(T - T_s)}{b^2} + C_{ps} \quad \text{για } T_s \leq T \leq T_c \quad (12.2.1)$$

$$C_p = 4 * \frac{(b * C_{p,l} - H) * (T - T_s - b/2)}{b^2} + \frac{2 * H - C_{p,l}}{b} \quad \text{για } T_c \leq T \leq T_l \quad (12.2.2)$$

Το b είναι το θερμοκρασιακό εύρος ($T_s - T_l$) με T_s και T_l τις θερμοκρασίες στην αρχή και το πέρας της στερεοποίησης, Στο πειραματικό μέρος θα χρησιμοποιήσουμε τη μέθοδο ενεργού θερμοχωρητικότητας .

13 ΚΕΦΑΛΑΙΟ

ΜΕΛΕΤΗ ΓΙΑ ΤΗΝ ΘΕΡΜΑΝΣΗ ΤΟΙΧΟΥ ΣΤΗΝ ΑΘΗΝΑ ΜΕ ΧΡΗΣΗ PCM ΠΟΥ ΛΕΙΤΟΥΡΓΕΙ ΩΣ ΠΑΘΗΤΙΚΟ ΣΥΣΤΗΜΑ

13.1. Η συνολική ακτινοβολία που προσπίπτει στον υαλοπίνακα

13.1.1. Υπολογισμός της άμεσης ακτινοβολίας

Για τον υπολογισμό της ηλιακής ακτινοβολίας που εισέρχεται μέσα στο δωμάτιο από τον υαλοπίνακα χρησιμοποιούμε την σχέση της μέσης στιγμιαίας άμεσης ακτινοβολίας οριζοντίου επιπέδου:

$$G_b = M_t + A_t \sin(360D/365 - P_t) \quad (13.1.1.1)$$

όπου: t = ώρα 7,8...18 της ημέρας D

D = ημέρα, δηλαδή 1-365 του έτους

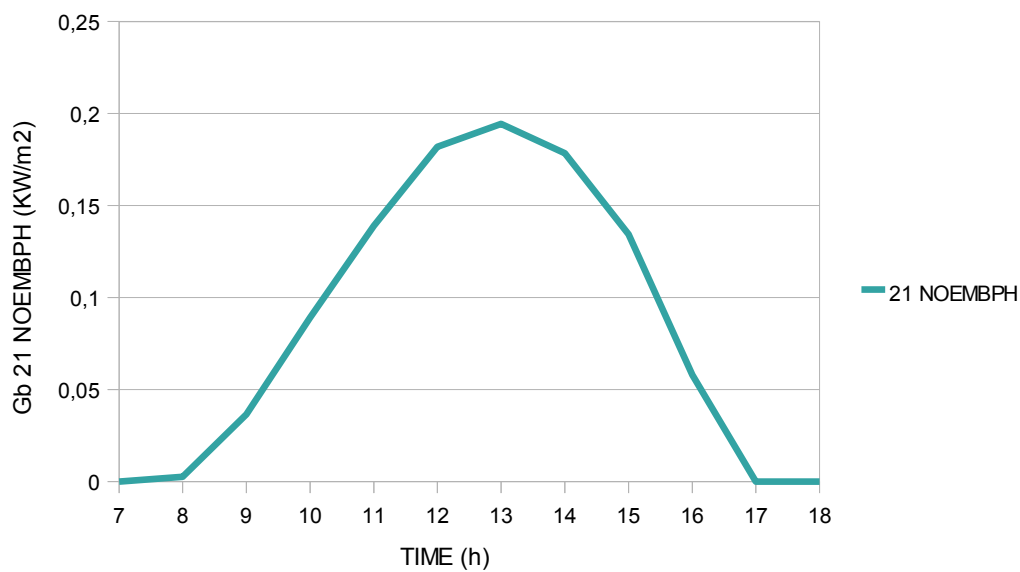
$G_b, M_t, P_t, A_t, m_b, a_t$: από τον παρακάτω πίνακα

ΠΙΝΑΚΑΣ 13.1.1.1: ΤΙΜΕΣ ΤΩΝ ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΩΝ M_t, P_t, A_t

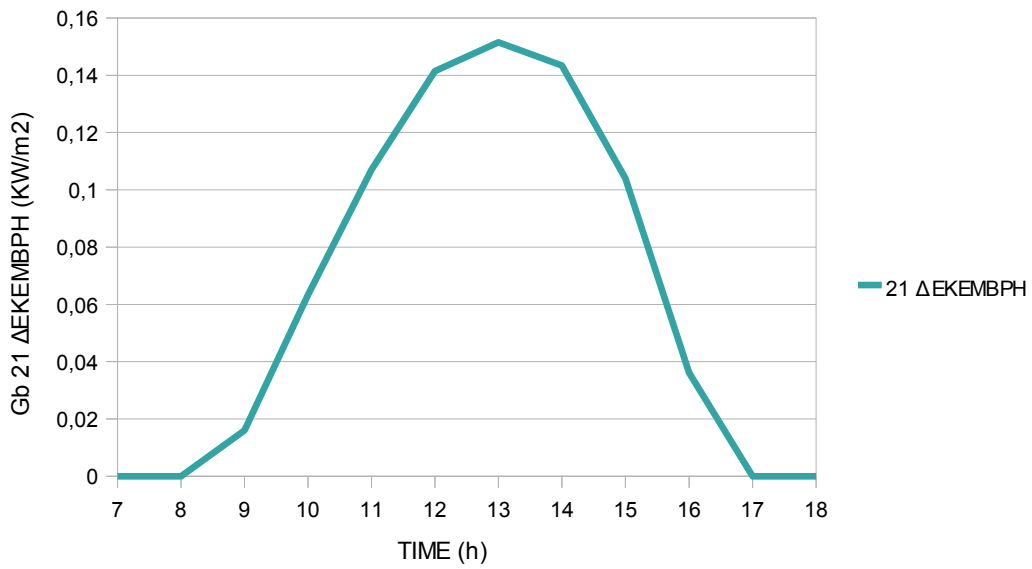
Time t hrs	M_t (KW/m²)	A_t (KW/m²)	P_t degrees
07:00:00	0,007	0,046	86,18
08:00:00	0,057	0,068	87,31
09:00:00	0,119	0,104	87,94
10:00:00	0,191	0,129	88,31
11:00:00	0,258	0,153	89,35
12:00:00	0,319	-0,181	-88,88
13:00:00	0,342	-0,194	-89,18
14:00:00	0,325	0,183	87,21
15:00:00	0,269	0,166	86,22
16:00:00	0,183	0,147	82,10
17:00:00	0,078	0,131	79,85
18:00:00	-0,025	0,114	77,36

ΠΙΝΑΚΑΣ 13.1.1.2: ΤΙΜΕΣ ΤΗΣ ΑΜΕΣΗΣ ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑΣ ΓΙΑ ΤΙΣ ΩΡΕΣ 7:00-18:00

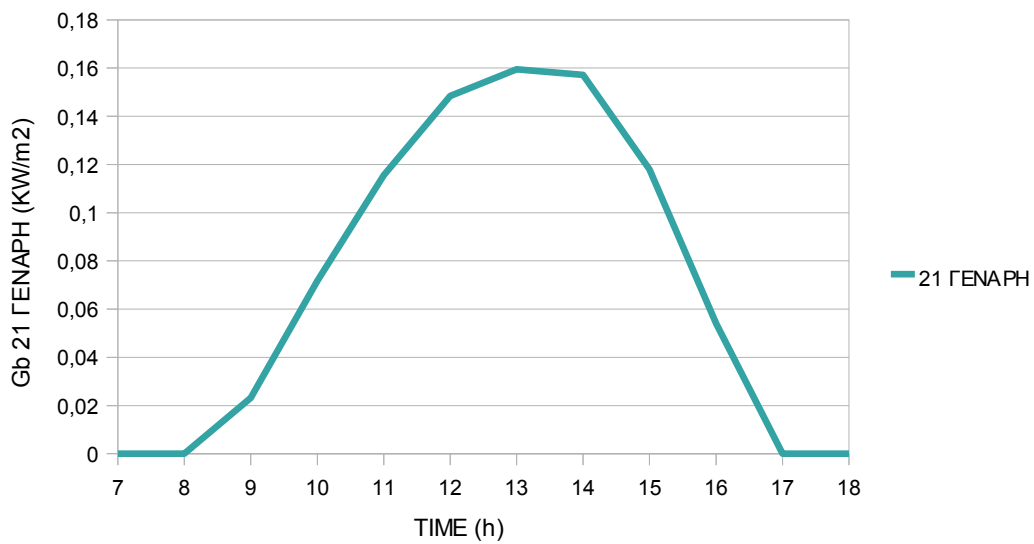
G_b (KW/m²)						
TIME	21 ΝΟΕΜΒΡΗ	21 ΔΕΚΕΜΒΡΗ	21 ΓΕΝΑΡΗ	21 ΦΛΕΒΑΡΗ	21 ΜΑΡΤΗ	
7	0	0	0	0	0	
8	0	0	0	0,02	0,05	
9	0,04	0,02	0,02	0,06	0,1	
10	0,09	0,06	0,07	0,11	0,17	
11	0,14	0,11	0,12	0,16	0,23	
12	0,18	0,14	0,15	0,2	0,28	
13	0,19	0,15	0,16	0,22	0,3	
14	0,18	0,14	0,16	0,22	0,3	
15	0,13	0,1	0,12	0,17	0,25	
16	0,06	0,04	0,05	0,11	0,17	
17	0	0	0	0,02	0,08	
18	0	0	0	0	0	



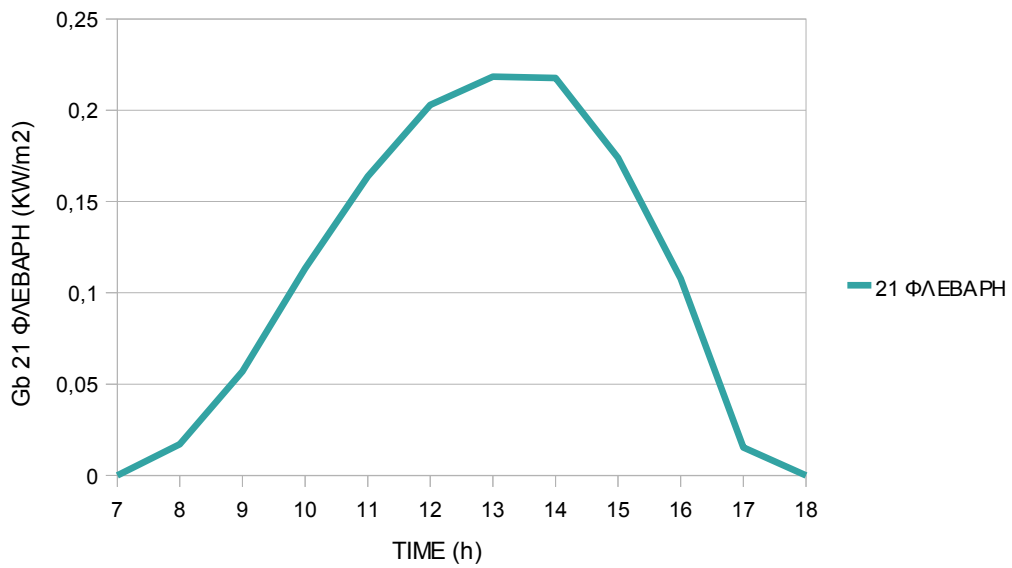
ΕΙΚΟΝΑ 13.1.1.1.: Η ΑΜΕΣΗ ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑ ΣΥΝΑΡΤΗΣΗ ΤΗΣ ΩΡΑΣ ΓΙΑ 21 ΝΟΕΜΒΡΗ



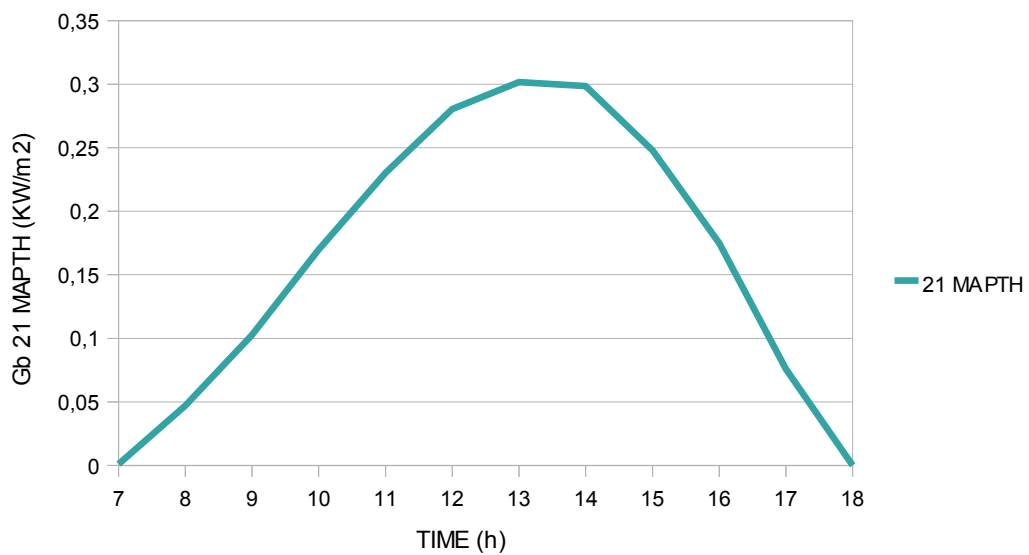
ΕΙΚΟΝΑ 13.1.1.2: Η ΑΜΕΣΗ ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑ ΣΥΝΑΡΤΗΣΗ ΤΗΣ ΩΡΑΣ ΓΙΑ 21 ΔΕΚΕΜΒΡΗ



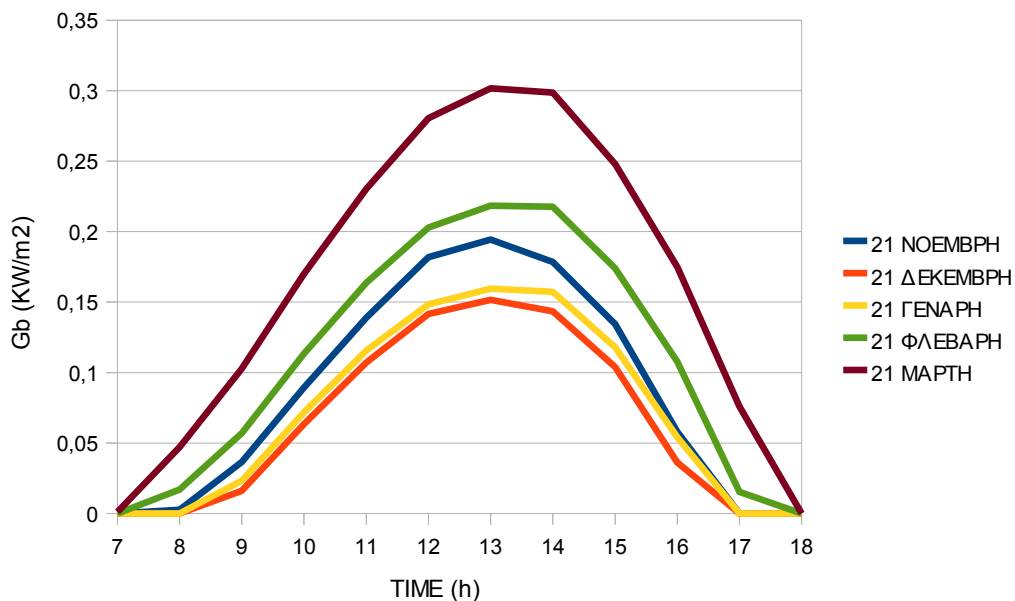
ΕΙΚΟΝΑ 13.1.1.3: Η ΑΜΕΣΗ ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑ ΣΥΝΑΡΤΗΣΗ ΤΗΣ ΩΡΑΣ ΓΙΑ 21 ΓΕΝΑΡΗ



ΕΙΚΟΝΑ 13.1.1.4: Η ΑΜΕΣΗ ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑ ΣΥΝΑΡΤΗΣΗ ΤΗΣ ΩΡΑΣ ΓΙΑ 21 ΦΛΕΒΑΡΗ



ΕΙΚΟΝΑ 13.1.1.5: Η ΑΜΕΣΗ ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑ ΣΥΝΑΡΤΗΣΗ ΤΗΣ ΩΡΑΣ ΓΙΑ 21 ΜΑΡΤΗ



ΕΙΚΟΝΑ 13.1.1.6: Η ΑΜΕΣΗ ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑ ΣΥΝΑΡΤΗΣΗ ΤΗΣ ΩΡΑΣ ΓΙΑ ΤΟΝ ΝΟΕΜΒΡΗ, ΔΕΚΕΜΒΡΗ, ΓΕΝΑΡΗ, ΦΛΕΒΑΡΗ ΚΑΙ ΜΑΡΤΗ

13.1.2. Υπολογισμός της διάχυτης ακτινοβολίας

Για τον υπολογισμό της ηλιακής ακτινοβολίας που εισέρχεται μέσα στο δωμάτιο από τον υαλοπίνακα χρησιμοποιούμε την σχέση της μέσης στιγμιαίας διάχυτης ακτινοβολίας οριζοντίου επιπέδου:

$$G_d = m_t + a_t \sin(360D/365 - P_t) \quad (13.1.2.1)$$

όπου: $t =$ ώρα 7,8...18 της ημέρας D

$D =$ ημέρα, δηλαδή 1-365 του έτους

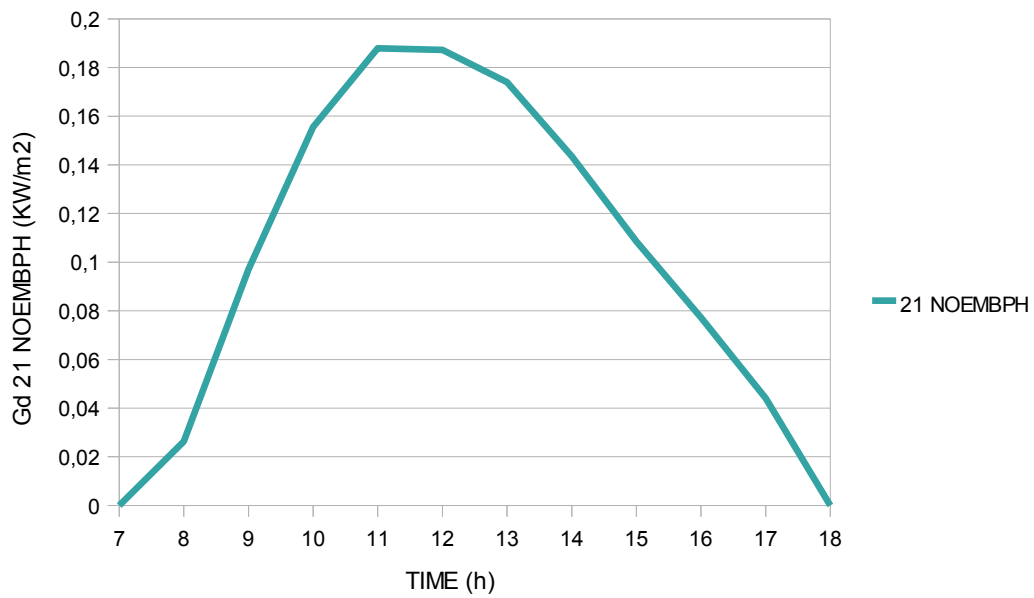
$G_b, M_t, P_t, A_t, m_t, a_t$: από τον παρακάτω πίνακα

ΠΙΝΑΚΑΣ 13.1.2.1: ΤΙΜΕΣ ΤΩΝ ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΩΝ m_t , a_t , P_t

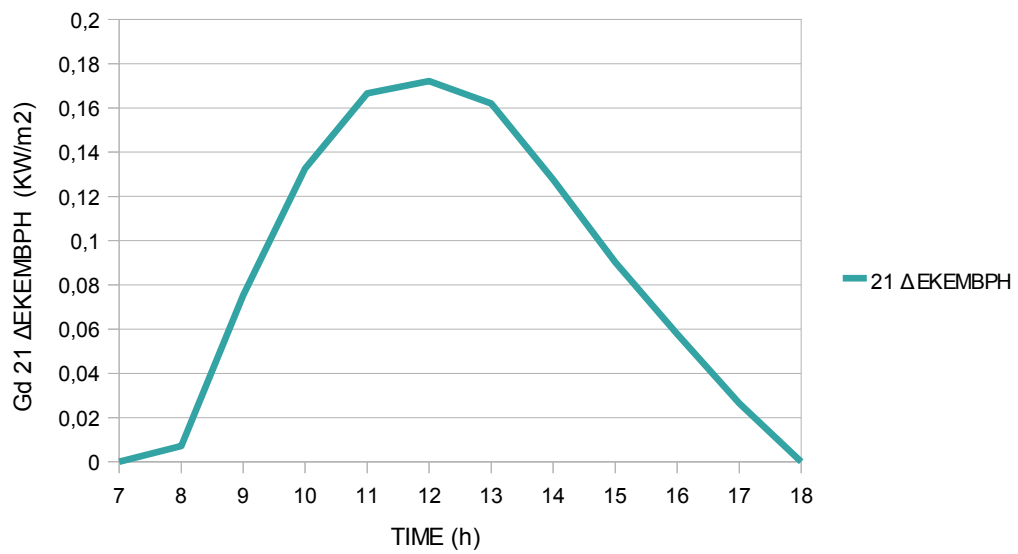
Time t hrs	m_t (KW/m²)	a_t (KW/m²)	P_t degrees
07:00:00	0,048	0,111	81,23
08:00:00	0,134	0,127	82,45
09:00:00	0,208	0,133	83,94
10:00:00	0,261	0,129	85,60
11:00:00	0,283	0,117	86,05
12:00:00	0,271	0,099	82,71
13:00:00	0,243	0,081	81,95
14:00:00	0,210	0,083	87,23
15:00:00	0,176	0,087	89,53
16:00:00	0,141	-0,085	-88,19
17:00:00	0,104	-0,079	-88,97
18:00:00	0,051	0,091	86,79

ΠΙΝΑΚΑΣ 13.1.2.2: ΤΙΜΕΣ ΤΗΣ ΔΙΑΧΥΤΗΣ ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑΣ ΓΙΑ ΤΙΣ ΩΡΕΣ 7:00-18:00

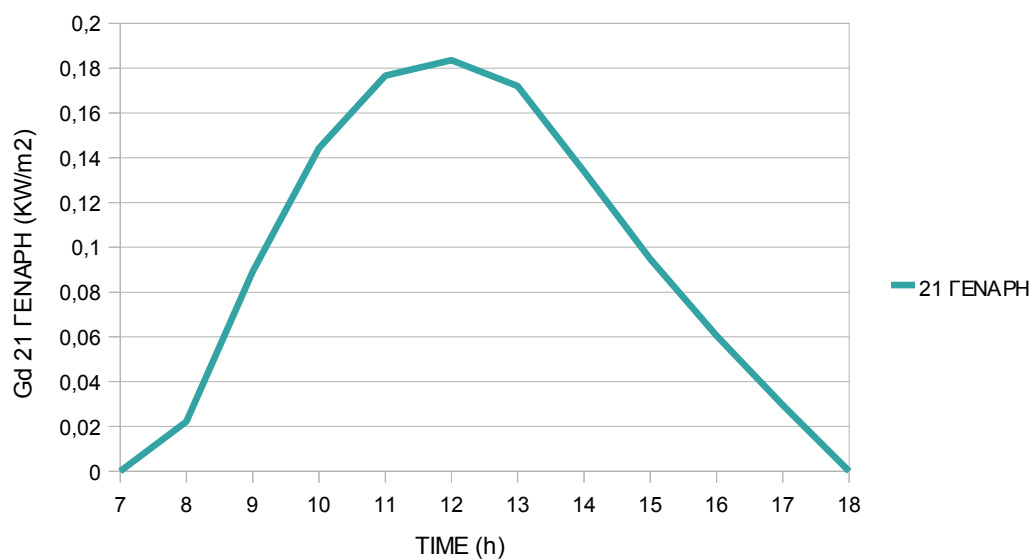
TIME	Gd(KW/m²)				
	21 ΝΟΕΜΒΡΗ	21 ΔΕΚΕΜΒΡΗ	21 ΓΕΝΑΡΗ	21 ΦΕΒΑΡΗ	21 ΜΑΡΤΗ
7	0	0	0	0	0,04
8	0,03	0,01	0,02	0,07	0,13
9	0,1	0,08	0,09	0,14	0,2
10	0,16	0,13	0,14	0,19	0,25
11	0,19	0,17	0,18	0,22	0,27
12	0,19	0,17	0,18	0,22	0,26
13	0,17	0,16	0,17	0,2	0,24
14	0,14	0,13	0,13	0,16	0,2
15	0,11	0,09	0,09	0,12	0,16
16	0,08	0,06	0,06	0,09	0,12
17	0,04	0,03	0,03	0,05	0,09
18	0	0	0	0	0,04



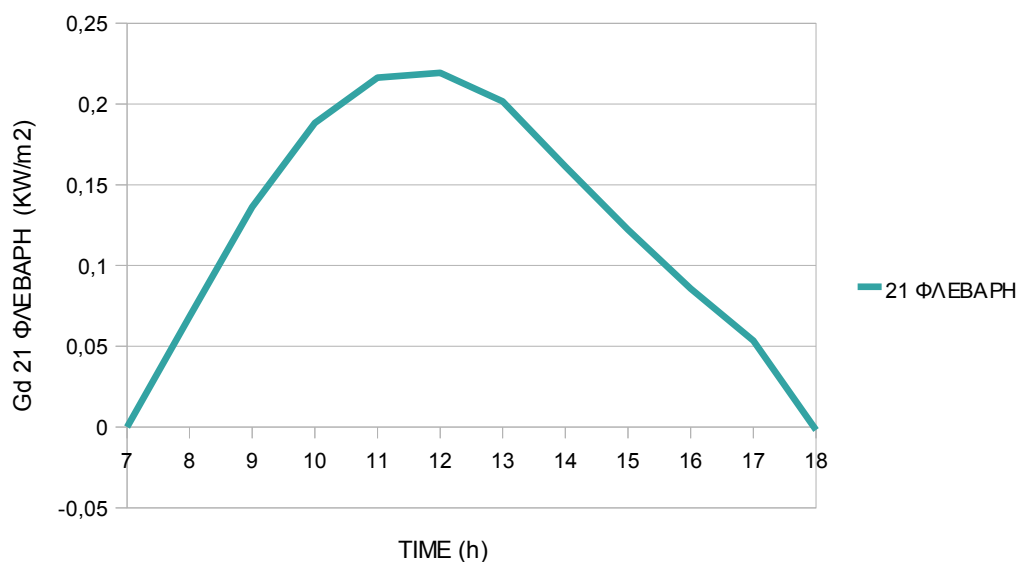
EIKONA 13.1.2.1: Η ΔΙΑΧΥΤΗ ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑ ΣΥΜΑΡΤΗΣΗ ΤΗΣ ΩΡΑΣ ΓΙΑ 21 ΝΟΕΜΒΡΗ



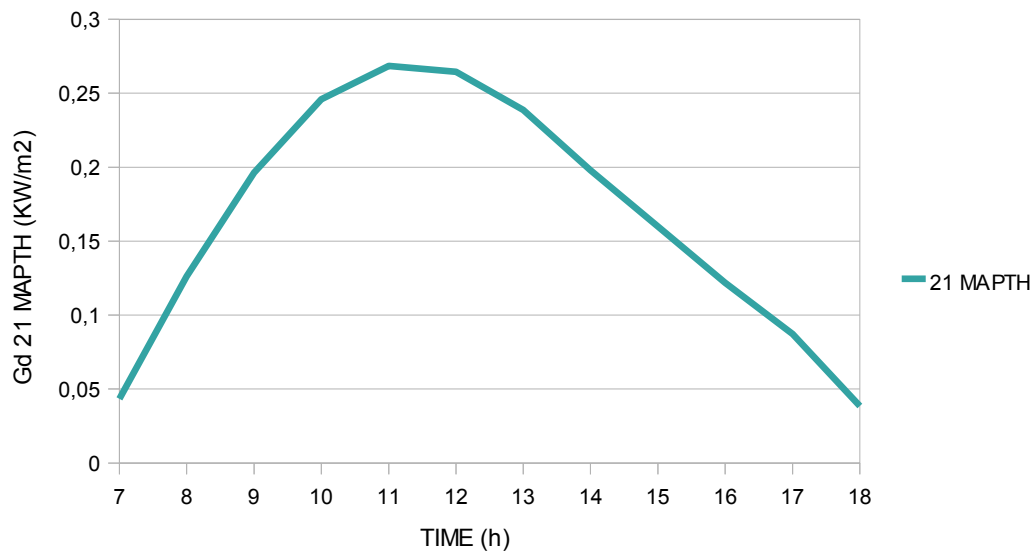
EIKONA 13.1.2.2: Η ΔΙΑΧΥΤΗ ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑ ΣΥΜΑΡΤΗΣΗ ΤΗΣ ΩΡΑΣ ΓΙΑ 21 ΔΕΚΕΜΒΡΗ



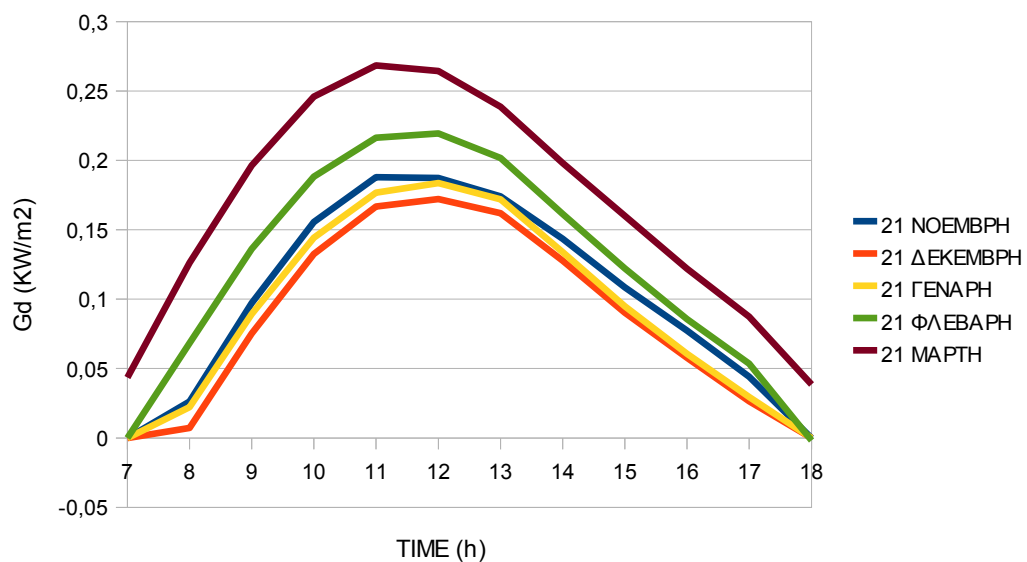
ΕΙΚΟΝΑ 13.1.2.3: Η ΔΙΑΧΥΤΗ ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑ ΣΥΜΑΡΤΗΣΗ ΤΗΣ ΩΡΑΣ ΓΙΑ 21 ΓΕΝΑΡΗ



ΕΙΚΟΝΑ 13.1.2.4: Η ΔΙΑΧΥΤΗ ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑ ΣΥΜΑΡΤΗΣΗ ΤΗΣ ΩΡΑΣ ΓΙΑ 21 ΦΕΒΑΡΗ



ΕΙΚΟΝΑ 13.1.2.5: Η ΔΙΑΧΥΤΗ ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑ ΣΥΜΑΡΤΗΣΗ ΤΗΣ ΩΡΑΣ ΓΙΑ 21 ΜΑΡΤΗ



ΕΙΚΟΝΑ 13.1.2.6: Η ΔΙΑΧΥΤΗ ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑ ΣΥΜΑΡΤΗΣΗ ΤΗΣ ΩΡΑΣ ΓΙΑ ΤΟΝ ΝΟΕΜΒΡΗ, ΔΕΚΕΜΒΡΗ, ΓΕΝΑΡΗ, ΦΛΕΒΑΡΗ ΚΑΙ ΜΑΡΤΗ

13.1.3. Υπολογισμός της συνολικής ηλιακής ακτινοβολίας

Σύμφωνα με τις παραπάνω τιμές της άμεσης και της διάχυτης ακτινοβολίας, μπορούμε να υπολογίσουμε την ηλιακή ακτινοβολία από τον παρακάτω τύπο:

$$G_{\tau} = G_b R_b + G_d [(1 + \cos\beta)/2] + (G_b + G_d)\rho [(1 - \cos\beta)/2] \quad (13.1.3.1)$$

όπου:

- ρ είναι η ανακλάστικότητα του εδάφους, που για συνηθισμένο έδαφος έχει τιμή $\rho = 0.2$
- $\beta = 90^\circ$, εφόσον ο τοίχος πάνω στον οποίο προσπίπτει είναι κατακόρυφος
- $R_b = \cos\theta / \cos\theta_z$ όπου:

$$\cos\theta = -\sin\delta \cos\varphi \cos\gamma + \cos\delta \sin\varphi \cos\gamma \cos\omega + \cos\delta \sin\gamma \sin\omega \quad (13.1.3.2)$$

$$\cos\theta_z = \sin\delta \sin\varphi + \cos\delta \cos\varphi \cos\omega \quad (13.1.3.3)$$

$$\delta = 23.45 \sin[360(284 + n)/365] \quad (13.1.3.4)$$

$$\omega = 0,25 * (\text{min από ηλιακό μεσημέρι}) \quad (13.1.3.5)$$

Επιπλέον για νότιο προσανατολισμό έχω $\gamma = 0$ και για την μεγιστοποίηση της προσπίπτουσας ακτινοβολίας $\varphi = \beta$

ΠΙΝΑΚΑΣ 13.1.3.1: ΑΥΞΩΝ ΑΡΙΘΜΟΣ ΗΜΕΡΑΣ ΤΟΥ ΕΤΟΥΣ, N

<i>Month</i>	<i>n for each day of year</i>
January	i
February	31+i
March	59+i
April	90+i
May	120+i
June	151+i
July	181+i
August	212+i
September	243+i
October	273+i
November	304+i
December	334+i

ΠΙΝΑΚΑΣ 13.1.3.2: ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΤΟΥ n ΚΑΙ ΤΟΥ δ

	21 ΝΟΕΜΒΡΗ	21 ΔΕΚΕΜΒΡΗ	21 ΓΕΝΑΡΗ	21 ΦΕΒΑΡΗ	21 ΜΑΡΤΗ
n	325	355	21	52	80
$\delta(rad)$	-20,38	-23,45	-20,17	-11,29	-0,48

ΠΙΝΑΚΑΣ 13.1.3.3: ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΤΟΥ ω ΓΙΑ ΤΗΝ 21 ΝΟΕΜΒΡΙΟΥ

21 ΝΟΕΜΒΡΗ		
Time	Μin απο ηλιακο μεσημερι	ω
7	-300	-75
8	-240	-60
9	-180	-45
10	-120	-30
11	-60	-15
12	0	0
13	60	15
14	120	30
15	180	45
16	240	60
17	300	75
18	360	90

ΠΙΝΑΚΑΣ 13.1.3.4: ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΤΟΥ ω ΓΙΑ ΤΗΝ 21 ΔΕΚΕΜΒΡΙΟΥ

21 ΔΕΚΕΜΒΡΗ		
Time	Μin απο ηλιακο μεσημερι	ω
7	-300	-75
8	-240	-60
9	-180	-45
10	-120	-30
11	-60	-15
12	0	0
13	60	15
14	120	30
15	180	45
16	240	60
17	300	75
18	360	90

ΠΙΝΑΚΑΣ 13.1.3.5: ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΤΟΥ ω ΓΙΑ ΤΗΝ 21 ΓΕΝΑΡΗ

21 ΓΕΝΑΡΗ		
Time	Min απο ηλιακο μεσημερι	ω
7	-300	-75
8	-240	-60
9	-180	-45
10	-120	-30
11	-60	-15
12	0	0
13	60	15
14	120	30
15	180	45
16	240	60
17	300	75
18	360	90

ΠΙΝΑΚΑΣ 13.1.3.6: ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΤΟΥ $\omega, \cos\theta, \cos\theta_z$ και R_b ΓΙΑ ΤΗΝ 21 ΦΛΕΒΑΡΗ

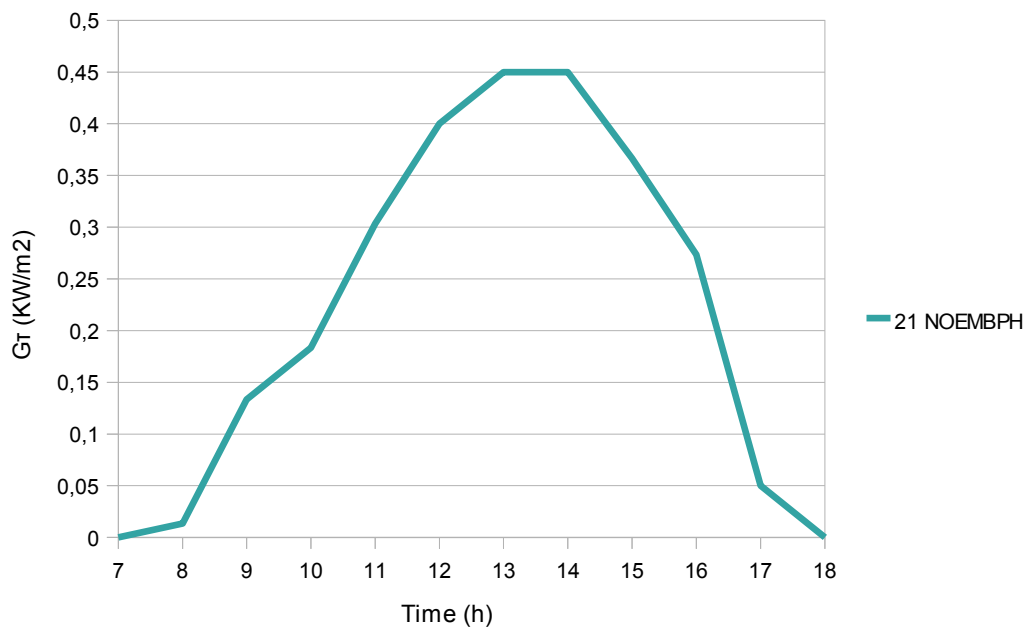
21 ΦΛΕΒΑΡΗ		
Time	Min απο ηλιακο μεσημερι	ω
7	-300	-75
8	-240	-60
9	-180	-45
10	-120	-30
11	-60	-15
12	0	0
13	60	15
14	120	30
15	180	45
16	240	60
17	300	75
18	360	90

ΠΙΝΑΚΑΣ 13.1.3.7: ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΤΟΥ ω , $\cos\theta$, $\cos\theta_z$ και R_b ΓΙΑ ΤΗΝ 21 ΜΑΡΤΗ

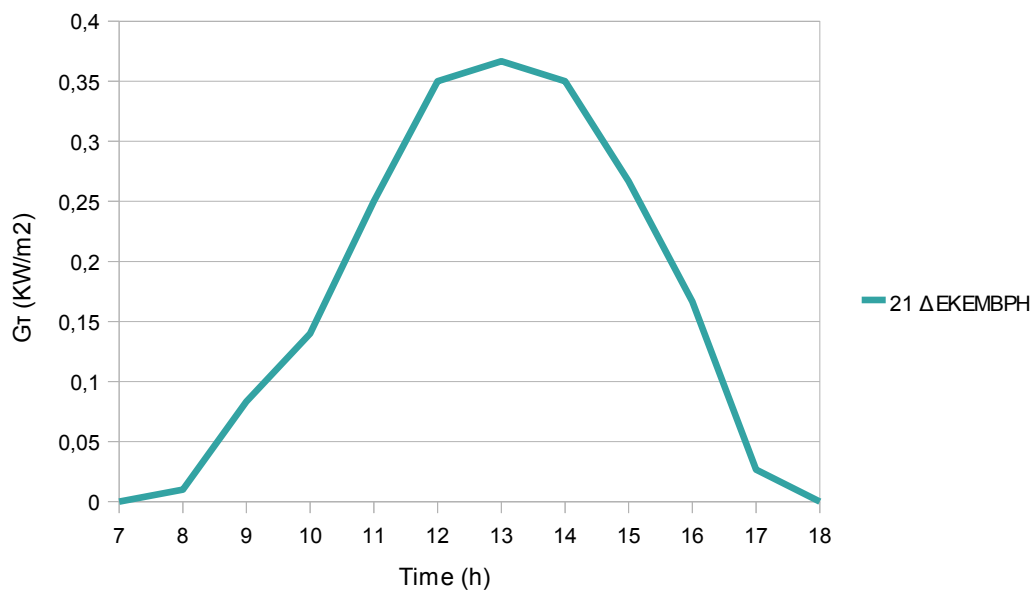
21 ΜΑΡΤΗ		
Time	Min απο ηλιακο μεσημερι	ω
7	-300	-75
8	-240	-60
9	-180	-45
10	-120	-30
11	-60	-15
12	0	0
13	60	15
14	120	30
15	180	45
16	240	60
17	300	75
18	360	90

ΠΙΝΑΚΑΣ 13.1.3.8: ΤΙΜΕΣ ΤΗΣ ΗΛΙΑΚΗΣ ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑΣ ΓΙΑ ΤΙΣ ΩΡΕΣ 7:00-18:00

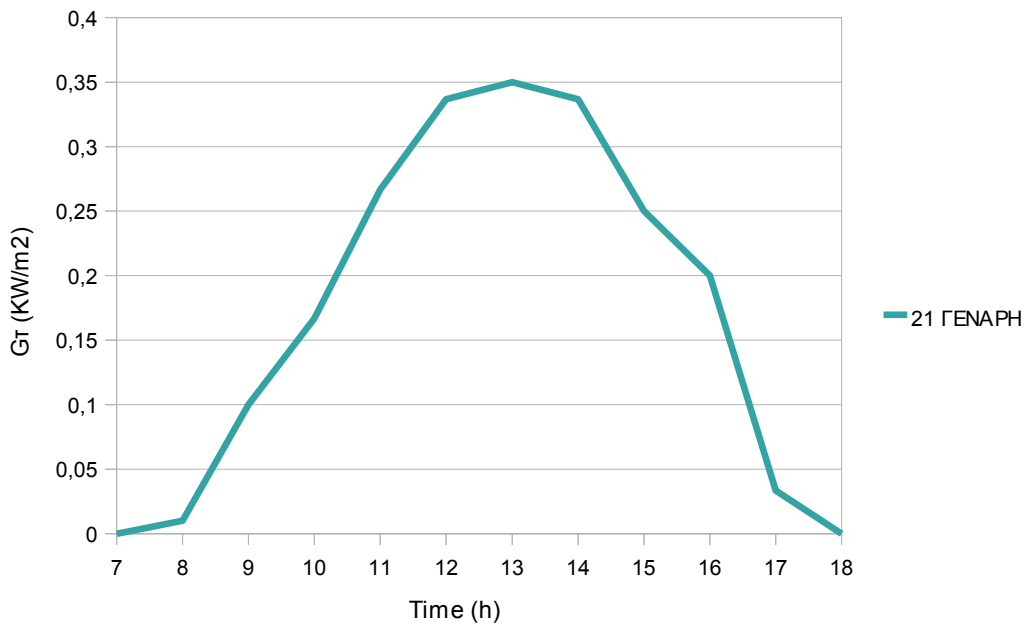
Time	$G_t(KW/m^2)$				
	21 ΝΟΕΜΒΡΗ	21 ΔΕΚΕΜΒΡΗ	21 ΓΕΝΑΡΗ	21 ΦΕΒΒΑΡΗ	21 ΜΑΡΤΗ
7	0	0	0	0	0,03
8	0,01	0,01	0,01	0,07	0,1
9	0,13	0,08	0,1	0,13	0,17
10	0,18	0,14	0,17	0,2	0,27
11	0,3	0,25	0,27	0,27	0,33
12	0,4	0,35	0,34	0,35	0,39
13	0,45	0,37	0,35	0,38	0,4
14	0,45	0,35	0,34	0,37	0,38
15	0,37	0,27	0,25	0,32	0,32
16	0,27	0,17	0,2	0,27	0,23
17	0,05	0,03	0,03	0,13	0,13
18	0	0	0	0	0,03



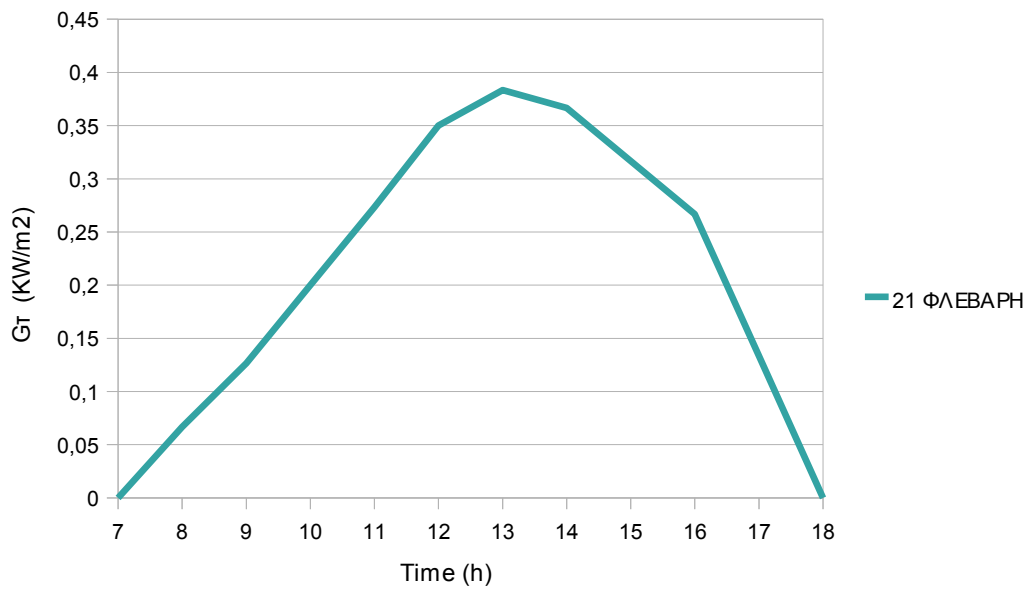
EIKONA 13.1.3.1: Η ΗΛΙΑΚΗ ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑ ΣΥΝΑΡΤΗΣΗ ΤΗΣ ΩΡΑΣ ΓΙΑ 21 ΝΟΕΜΒΡΗ



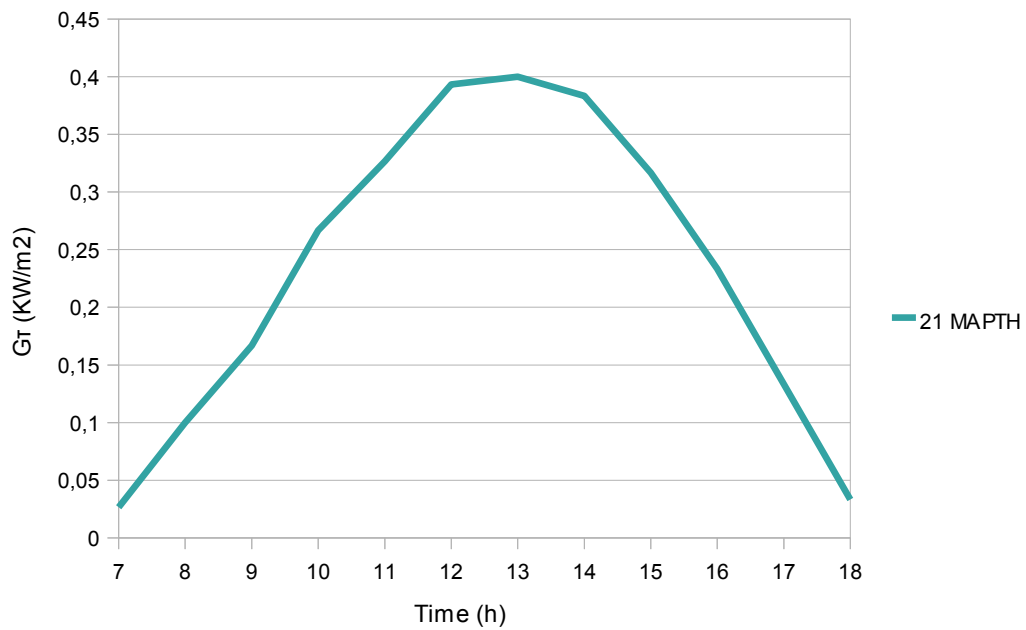
EIKONA 13.1.3.2: Η ΗΛΙΑΚΗ ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑ ΣΥΝΑΡΤΗΣΗ ΤΗΣ ΩΡΑΣ ΓΙΑ 21 ΔΕΚΕΜΒΡΗ



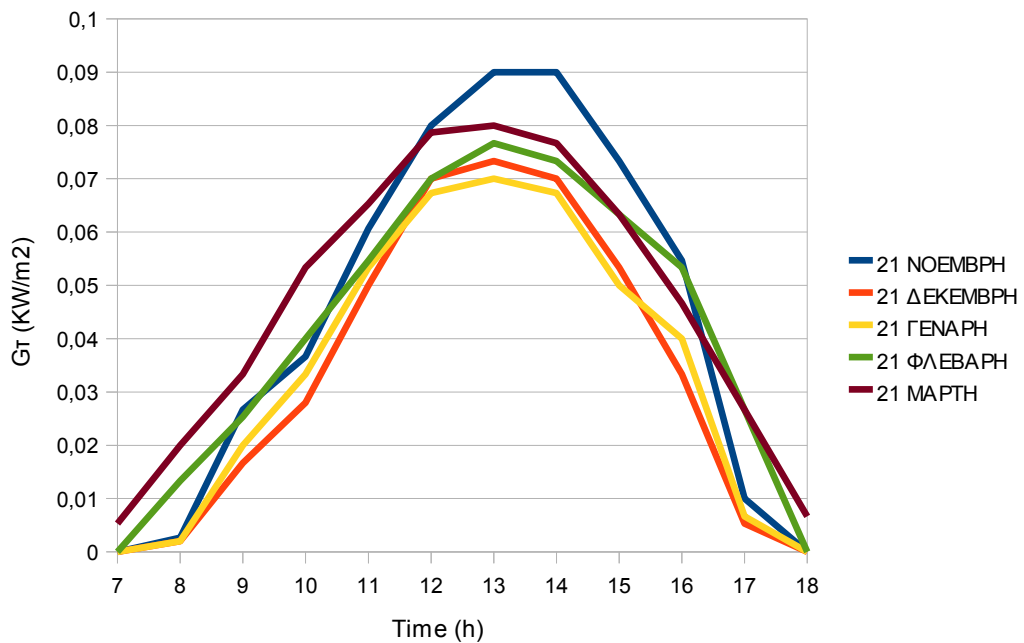
ΕΙΚΟΝΑ.13.1.3.3: Η ΗΛΙΑΚΗ ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑ ΣΥΝΑΡΤΗΣΗ ΤΗΣ ΩΡΑΣ ΓΙΑ 21 ΓΕΝΑΡΗ



ΕΙΚΟΝΑ 13.1.3.4: Η ΗΛΙΑΚΗ ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑ ΣΥΝΑΡΤΗΣΗ ΤΗΣ ΩΡΑΣ ΓΙΑ 21 ΦΕΒΡΑΡΙ



ΕΙΚΟΝΑ 13.1.3.5: Η ΗΛΙΑΚΗ ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑ ΣΥΝΑΡΤΗΣΗ ΤΗΣ ΩΡΑΣ ΓΙΑ 21 ΜΑΡΤΗ



ΕΙΚΟΝΑ 13.1.3.6: Η ΗΛΙΑΚΗ ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑ ΣΥΝΑΡΤΗΣΗ ΤΗΣ ΩΡΑΣ ΓΙΑ ΤΟΝ ΝΟΕΜΒΡΗ, ΔΕΚΕΜΒΡΗ, ΓΕΝΑΡΗ, ΦΕΒΑΡΗ ΚΑΙ ΜΑΡΤΗ

Παραπάνω υπολογίσαμε την ηλιακή ακτινοβολία συναρτήση της ώρας για τους μήνες Νοέμβριο, Δεκέμβριο, Ιανουάριο, Φεβρουάριο και Μάρτιο. Παρατηρούμε ότι ο μήνας Νοεμβριος εμφανίζει τις μέγιστες τιμές της ακτινοβολίας, γεγονός που οφείλεται τόσο στις υψηλότερες θερμοκρασίες του περιβάλλοντος όσο και στην κλίση που έχει ο ήλιος σε σχέση με την γη αυτόν το μήνα . Έχοντας υπολογίσει την ηλιακή ακτινοβολία που προσπίπτει στον υαλοπίνακα ,μπορούμε να υπολογίσουμε την ηλιακή ακτινοβολία που προσπίπτει στον τοίχο με PCM. Πιο συγκεκριμένα μόνο το 90% της ηλιακης ακτινοβολίας που προσπίπτει στον υαλοπίνακα περνάει στο δωμάτιο εφόσον το υπόλοιπο 10% απορροφάται απο τον υαλοπίνακα (σκούρο=0,88 και ανοιχτό=0,44) . Επιπλέον το 10% της ηλιακής ακτινοβολίας που εισέρχεται στο δωμάτιο απορροφάται από τον αέρα, επομένως το υπόλοιπο 90% είναι η ποσοότητα της ηλικής ακτινοβολίας που προσπίπτει στον τοίχο.

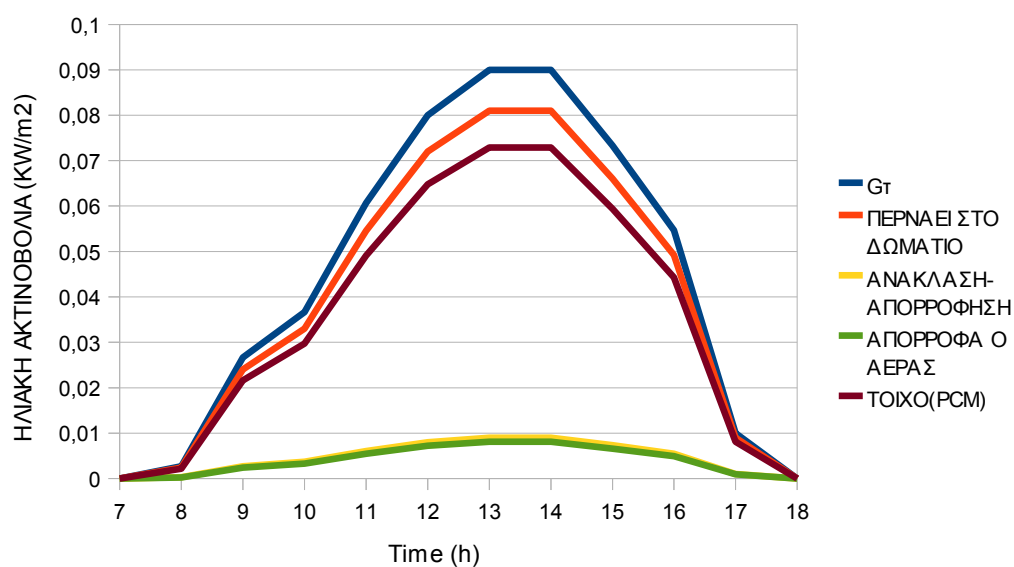
- ✓ ***Ποσοστό της ηλιακής ακτινοβολίας που απορροφάται-ανακλάται απο τον υαλοπίνακα: 10%Gτ***
- ✓ ***Ποσοστό της ηλιακής ακτινοβολίας που περνάει στο δωμάτιο: 90%Gτ***
- ✓ ***Ποσοστό της ηλιακής ακτινοβολίας που απορροφάται από τον αέρα: 10%(90% Gτ)***
- ✓ ***Ποσοστό της ηλιακής ακτινοβολίας που προσπίπτει στον τοίχο: 90%(90% Gτ)***

Παρακάτω θα υπολογίσουμε τα ποσοστά που αναφέραμε παραπάνω για τον Νοέμβριο, Δεκέμβριο, Ιανουάριο, Φεβρουάριο και Μάρτιο και θα τα αναπαραστήσουμε σχηματικά.

ΝΟΕΜΒΡΗ

ΠΙΝΑΚΑΣ 13.1.3.9: Η ΗΛΙΑΚΗ ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑ ΠΟΥ ΠΕΡΝΑΕΙ ΣΤΟ ΔΩΜΑΤΙΟ, ΠΟΥ ΑΝΑΚΛΑΤΑΙ-ΑΠΟΡΡΟΦΑΤΑΙ ΑΠΟ ΤΟΝ ΥΑΛΟΠΙΝΑΚΑ, ΠΟΥ ΑΠΟΡΡΟΦΑΤΑΙ ΑΠΟ ΤΟΝ ΑΕΡΑ ΚΑΙ ΠΟΥ ΠΡΟΣΠΙΠΤΕΙ ΣΤΟ ΤΟΙΧΟ ΣΥΝΑΡΤΗΣΗ ΤΗΣ ΩΡΑΣ ΓΙΑ ΤΗΝ 21 ΝΟΕΜΒΡΗ

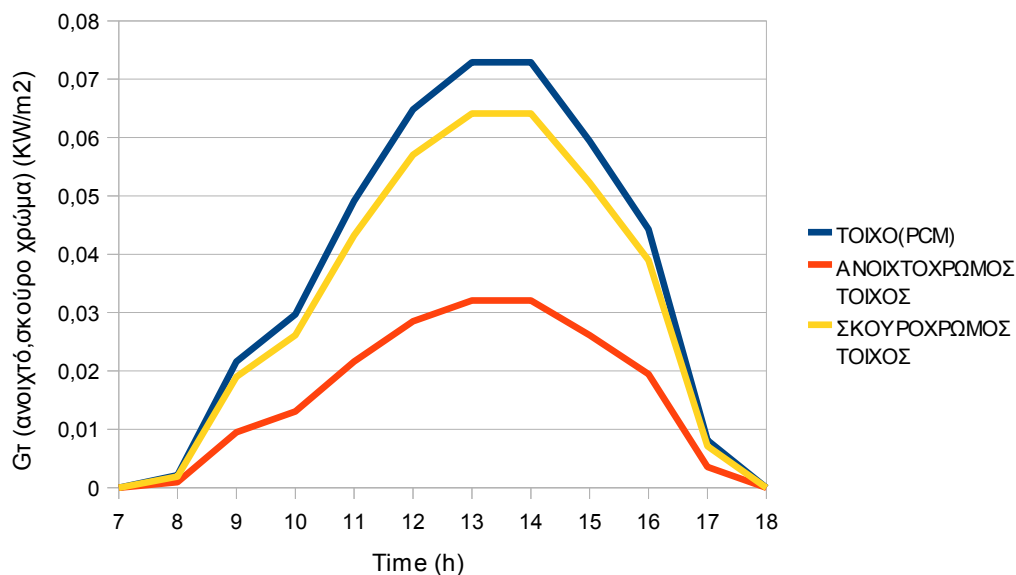
Time	G _τ	ΠΕΡΝΑΕΙ ΣΤΟ ΔΩΜΑΤΙΟ	ΑΝΑΚΛΑΣΗ-ΑΠΟΡΡΟΦΗΣΗ	ΑΠΟΡΡΟΦΑ Ο ΑΕΡΑΣ	ΤΟΙΧΟ(PCM)
7	0	0	0	0	0
8	0,01	0,01	0	0	0,01
9	0,13	0,12	0,01	0,01	0,11
10	0,18	0,17	0,02	0,02	0,15
11	0,3	0,27	0,03	0,03	0,25
12	0,4	0,36	0,04	0,04	0,32
13	0,45	0,41	0,05	0,04	0,36
14	0,45	0,41	0,05	0,04	0,36
15	0,37	0,33	0,04	0,03	0,3
16	0,27	0,25	0,03	0,02	0,22
17	0,05	0,05	0,01	0	0,04
18	0	0	0	0	0



ΕΙΚΟΝΑ 13.1.3.7: Η ΗΛΙΑΚΗ ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑ ΠΟΥ ΠΕΡΝΑΕΙ ΣΤΟ ΔΩΜΑΤΙΟ, ΠΟΥ ΑΝΑΚΛΑΤΑΙ-ΑΠΟΡΡΟΦΑΤΑΙ ΑΠΟ ΤΟΝ ΥΑΛΟΠΙΝΑΚΑ, ΠΟΥ ΑΠΟΡΡΟΦΑΤΑΙ ΑΠΟ ΤΟΝ ΑΕΡΑ ΚΑΙ ΠΟΥ ΠΡΟΣΠΙΠΤΕΙ ΣΤΟ ΤΟΙΧΟ ΣΥΝΑΡΤΗΣΗ ΤΗΣ ΩΡΑΣ ΓΙΑ ΤΗΝ 21 ΝΟΕΜΒΡΗ

ΠΙΝΑΚΑΣ 13.1.3.10: Η ΗΛΙΑΚΗ ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑ ΠΟΥ ΠΡΟΣΠΙΠΤΕΙ ΣΕ ΤΟΙΧΟ ΑΝΟΙΧΤΟΥ ΚΑΙ ΣΚΟΥΡΟΥ ΧΡΩΜΑΤΟΣ ΓΙΑ ΤΗΝ 21 ΝΟΕΜΒΡΗ

<i>Time</i>	<i>ΤΟΙΧΟ(PCM)</i>	<i>ΑΝΟΙΧΤΟΧΡΩΜΟΣ ΤΟΙΧΟΣ</i>	<i>ΣΚΟΥΡΟΧΡΩΜΟΣ ΤΟΙΧΟΣ</i>
7	0	0	0
8	0,01	0	0,01
9	0,11	0,05	0,1
10	0,15	0,07	0,13
11	0,25	0,11	0,22
12	0,32	0,14	0,29
13	0,36	0,16	0,32
14	0,36	0,16	0,32
15	0,3	0,13	0,26
16	0,22	0,1	0,19
17	0,04	0,02	0,04
18	0	0	0

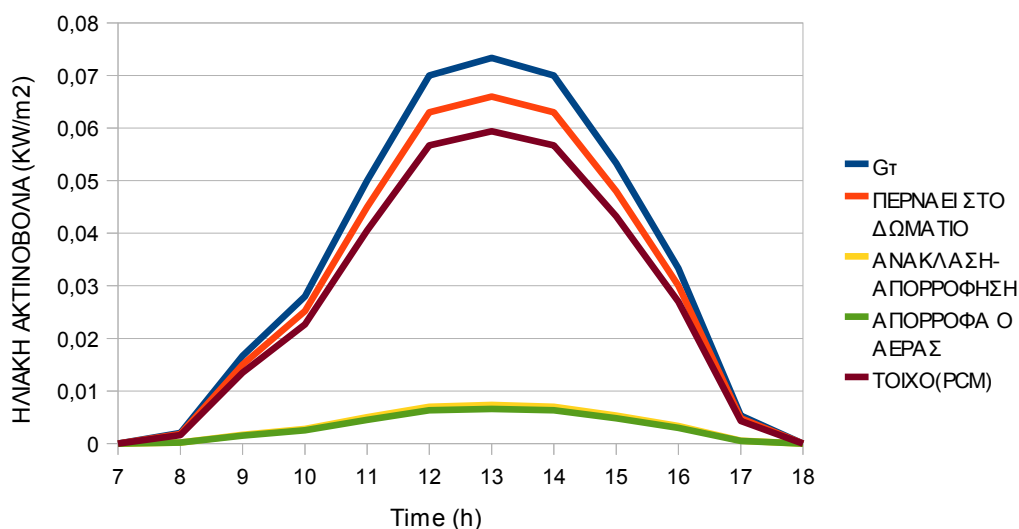


ΕΙΚΟΝΑ 13.1.3.8: Η ΗΛΙΑΚΗ ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑ ΠΟΥ ΠΡΟΣΠΙΠΤΕΙ ΣΕ ΤΟΙΧΟ ΑΝΟΙΧΤΟΥ ΚΑΙ ΣΚΟΥΡΟΥ ΧΡΩΜΑΤΟΣ ΓΙΑ ΤΗΝ 21 ΝΟΕΜΒΡΗ

ΔΕΚΕΜΒΡΗ

ΠΙΝΑΚΑΣ 13.1.3.11: Η ΗΛΙΑΚΗ ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑ ΠΟΥ ΠΕΡΝΑΕΙ ΣΤΟ ΔΩΜΑΤΙΟ, ΠΟΥ ΑΝΑΚΛΑΤΑΙ-ΑΠΟΡΡΟΦΑΤΑΙ ΑΠΟ ΤΟΝ ΥΑΛΟΠΙΝΑΚΑ, ΠΟΥ ΑΠΟΡΡΟΦΑΤΑΙ ΑΠΟ ΤΟΝ ΑΕΡΑ ΚΑΙ ΠΟΥ ΠΡΟΣΠΙΠΤΕΙ ΣΤΟ ΤΟΙΧΟ ΣΥΝΑΡΤΗΣΗ ΤΗΣ ΩΡΑΣ ΓΙΑ ΤΗΝ 21 ΔΕΚΕΜΒΡΗ

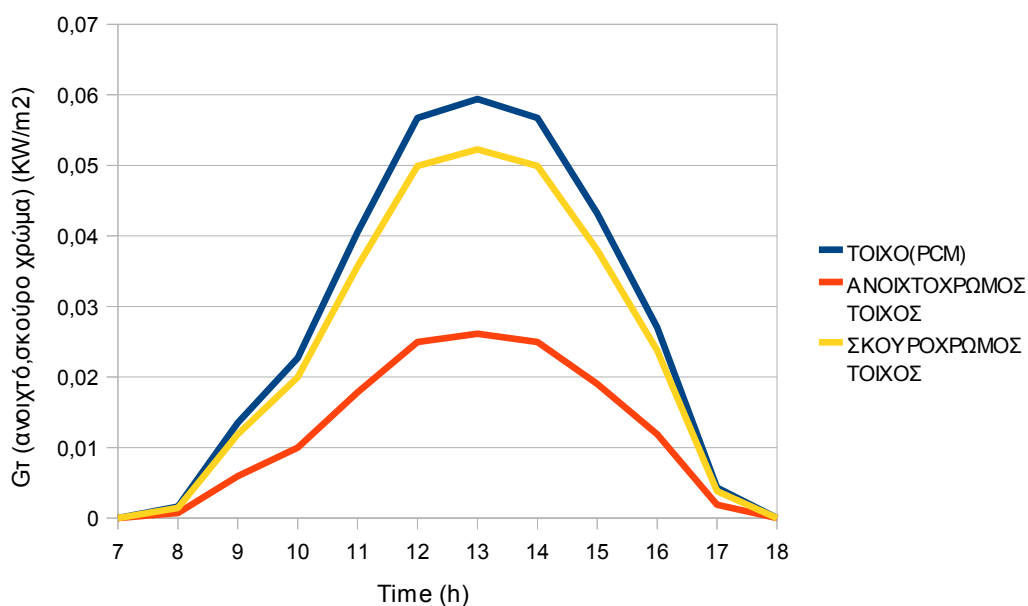
<i>Time</i>	<i>G_τ</i>	<i>ΠΕΡΝΑΕΙ ΣΤΟ ΔΩΜΑΤΙΟ</i>	<i>ΑΝΑΚΛΑΣΗ-ΑΠΟΡΡΟΦΗΣΗ</i>	<i>ΑΠΟΡΡΟΦΑ Ο ΑΕΡΑΣ</i>	<i>ΤΟΙΧΟ(PCM)</i>
7	0	0	0	0	0
8	0,01	0,01	0	0	0,01
9	0,08	0,07	0,01	0,01	0,07
10	0,14	0,13	0,01	0,01	0,11
11	0,25	0,23	0,03	0,02	0,2
12	0,35	0,32	0,04	0,03	0,28
13	0,37	0,33	0,04	0,03	0,3
14	0,35	0,32	0,04	0,03	0,28
15	0,27	0,24	0,03	0,02	0,22
16	0,17	0,15	0,02	0,02	0,14
17	0,03	0,02	0	0	0,02
18	0	0	0	0	0



ΕΙΚΟΝΑ 13.1.3.9: Η ΗΛΙΑΚΗ ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑ ΠΟΥ ΠΕΡΝΑΕΙ ΣΤΟ ΔΩΜΑΤΙΟ, ΠΟΥ ΑΝΑΚΛΑΤΑΙ-ΑΠΟΡΡΟΦΑΤΑΙ ΑΠΟ ΤΟΝ ΥΑΛΟΠΙΝΑΚΑ, ΠΟΥ ΑΠΟΡΡΟΦΑΤΑΙ ΑΠΟ ΤΟΝ ΑΕΡΑ ΚΑΙ ΠΟΥ ΠΡΟΣΠΙΠΤΕΙ ΣΤΟ ΤΟΙΧΟ ΣΥΝΑΡΤΗΣΗ ΤΗΣ ΩΡΑΣ ΓΙΑ ΤΗΝ 21 ΔΕΚΕΜΒΡΗ

ΠΙΝΑΚΑΣ 13.1.3.12: Η ΗΛΙΑΚΗ ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑ ΠΟΥ ΠΡΟΣΠΙΠΤΕΙ ΣΕ ΤΟΙΧΟ ΑΝΟΙΧΤΟΥ ΚΑΙ ΣΚΟΥΡΟΥ ΧΡΩΜΑΤΟΣ ΓΙΑ ΤΗΝ 21 ΔΕΚΕΜΒΡΗ

Time	ΤΟΙΧΟ(PCM)	ΑΝΟΙΧΤΟΧΡΩΜΟΣ ΤΟΙΧΟΣ	ΣΚΟΥΡΟΧΡΩΜΟΣ ΤΟΙΧΟΣ
7	0	0	0
8	0,01	0	0,01
9	0,07	0,03	0,06
10	0,11	0,05	0,1
11	0,2	0,09	0,18
12	0,28	0,12	0,25
13	0,3	0,13	0,26
14	0,28	0,12	0,25
15	0,22	0,1	0,19
16	0,14	0,06	0,12
17	0,02	0,01	0,02
18	0	0	0

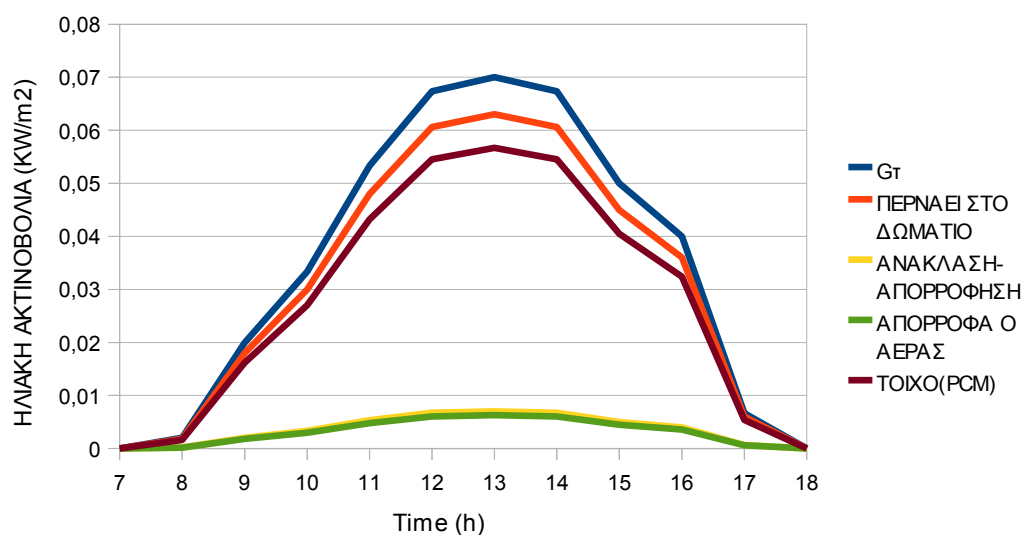


ΕΙΚΟΝΑ 13.1.3.10: Η ΗΛΙΑΚΗ ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑ ΠΟΥ ΠΡΟΣΠΙΠΤΕΙ ΣΕ ΤΟΙΧΟ ΑΝΟΙΧΤΟΥ ΚΑΙ ΣΚΟΥΡΟΥ ΧΡΩΜΑΤΟΣ ΓΙΑ ΤΗΝ 21 ΔΕΚΕΜΒΡΗ

ΓΕΝΑΡΗ

ΠΙΝΑΚΑΣ 13.1.3.13: Η ΗΛΙΑΚΗ ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑ ΠΟΥ ΠΕΡΝΑΕΙ ΣΤΟ ΔΩΜΑΤΙΟ, ΠΟΥ ΑΝΑΚΛΑΤΑΙ-ΑΠΟΡΡΟΦΑΤΑΙ ΑΠΟ ΤΟΝ ΥΑΛΟΠΙΝΑΚΑ, ΠΟΥ ΑΠΟΡΡΟΦΑΤΑΙ ΑΠΟ ΤΟΝ ΑΕΡΑ ΚΑΙ ΠΟΥ ΠΡΟΣΠΙΠΤΕΙ ΣΤΟ ΤΟΙΧΟ ΣΥΝΑΡΤΗΣΗ ΤΗΣ ΩΡΑΣ ΓΙΑ ΤΗΝ 21 ΓΕΝΑΡΗ

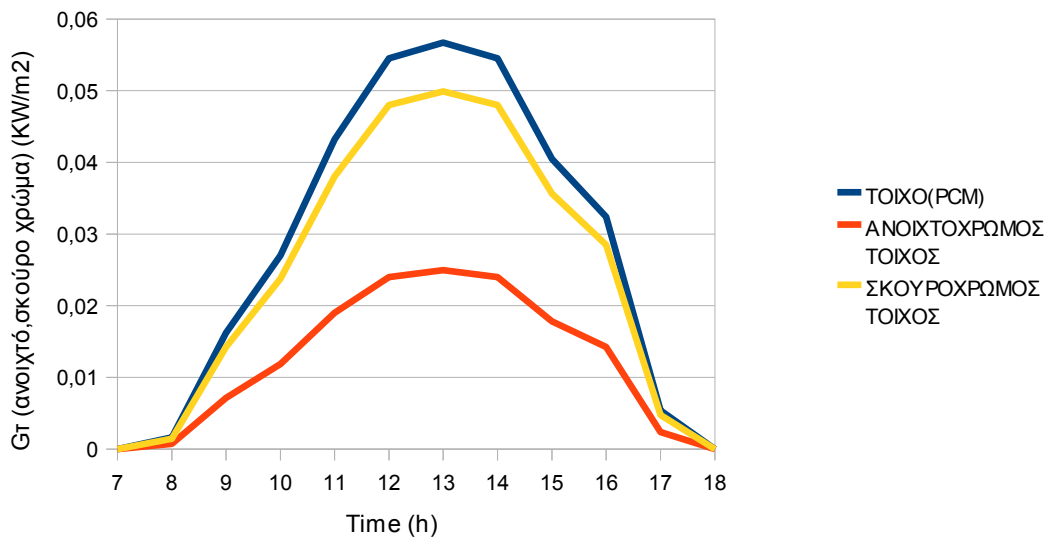
Time	G _τ	ΠΕΡΝΑΕΙ ΣΤΟ ΔΩΜΑΤΙΟ	ΑΝΑΚΛΑΣΗ-ΑΠΟΡΡΟΦΗΣΗ	ΑΠΟΡΡΟΦΑ Ο ΑΕΡΑΣ	ΤΟΙΧΟ(PCM)
7	0	0	0	0	0
8	0,01	0,01	0	0	0,01
9	0,1	0,09	0,01	0,01	0,08
10	0,17	0,15	0,02	0,02	0,14
11	0,27	0,24	0,03	0,02	0,22
12	0,34	0,3	0,03	0,03	0,27
13	0,35	0,32	0,04	0,03	0,28
14	0,34	0,3	0,03	0,03	0,27
15	0,25	0,23	0,03	0,02	0,2
16	0,2	0,18	0,02	0,02	0,16
17	0,03	0,03	0	0	0,03
18	0	0	0	0	0



ΕΙΚΟΝΑ 13.1.3.11: Η ΗΛΙΑΚΗ ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑ ΠΟΥ ΠΕΡΝΑΕΙ ΣΤΟ ΔΩΜΑΤΙΟ, ΠΟΥ ΑΝΑΚΛΑΤΑΙ-ΑΠΟΡΡΟΦΑΤΑΙ ΑΠΟ ΤΟΝ ΥΑΛΟΠΙΝΑΚΑ, ΠΟΥ ΑΠΟΡΡΟΦΑΤΑΙ ΑΠΟ ΤΟΝ ΑΕΡΑ ΚΑΙ ΠΟΥ ΠΡΟΣΠΙΠΤΕΙ ΣΤΟ ΤΟΙΧΟ ΣΥΝΑΡΤΗΣΗ ΤΗΣ ΩΡΑΣ ΓΙΑ ΤΗΝ 21 ΓΕΝΑΡΗ

ΠΙΝΑΚΑΣ 13.1.3.14: Η ΗΛΙΑΚΗ ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑ ΠΟΥ ΠΡΟΣΠΙΠΤΕΙ ΣΕ ΤΟΙΧΟ ΑΝΟΙΧΤΟΥ ΚΑΙ ΣΚΟΥΡΟΥ ΧΡΩΜΑΤΟΣ ΓΙΑ ΤΗΝ 21 ΓΕΝΑΡΗ

Time	ΤΟΙΧΟ(PCM)	ΑΝΟΙΧΤΟΧΡΩΜΟΣ ΤΟΙΧΟΣ	ΣΚΟΥΡΟΧΡΩΜΟΣ ΤΟΙΧΟΣ
7	0	0	0
8	0,01	0	0,01
9	0,08	0,04	0,07
10	0,14	0,06	0,12
11	0,22	0,1	0,19
12	0,27	0,12	0,24
13	0,28	0,12	0,25
14	0,27	0,12	0,24
15	0,2	0,09	0,18
16	0,16	0,07	0,14
17	0,03	0,01	0,02
18	0	0	0

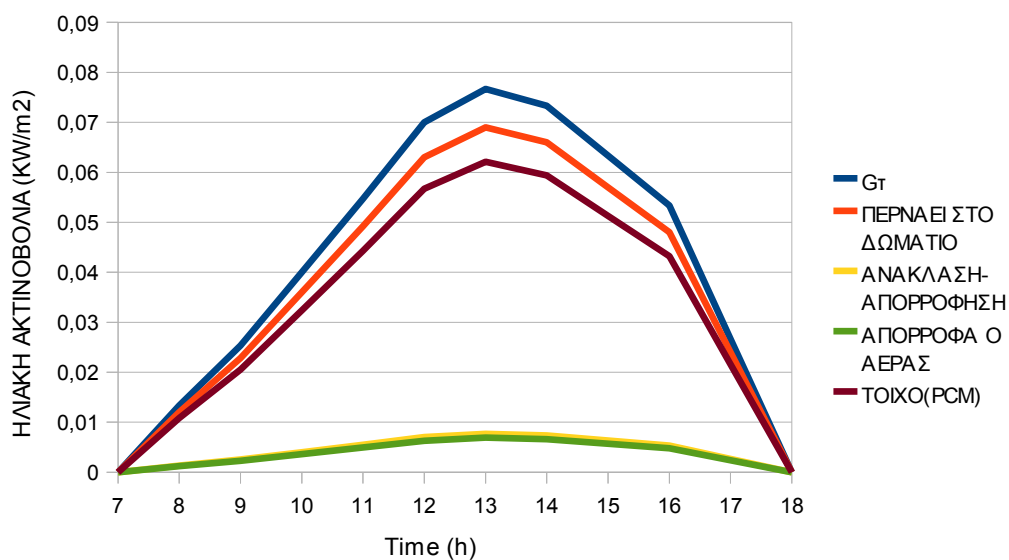


ΕΙΚΟΝΑ 13.1.3.12: Η ΗΛΙΑΚΗ ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑ ΠΟΥ ΠΡΟΣΠΙΠΤΕΙ ΣΕ ΤΟΙΧΟ ΑΝΟΙΧΤΟΥ ΚΑΙ ΣΚΟΥΡΟΥ ΧΡΩΜΑΤΟΣ ΓΙΑ ΤΗΝ 21 ΓΕΝΑΡΗ

ΦΛΕΒΑΡΗ

ΠΙΝΑΚΑΣ 13.1.3.15: Η ΗΛΙΑΚΗ ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑ ΠΟΥ ΠΕΡΝΑΕΙ ΣΤΟ ΔΩΜΑΤΙΟ, ΠΟΥ ΑΝΑΚΛΑΤΑΙ-ΑΠΟΡΡΟΦΑΤΑΙ ΑΠΟ ΤΟΝ ΥΑΛΟΠΙΝΑΚΑ, ΠΟΥ ΑΠΟΡΡΟΦΑΤΑΙ ΑΠΟ ΤΟΝ ΑΕΡΑ ΚΑΙ ΠΟΥ ΠΡΟΣΠΙΠΤΕΙ ΣΤΟ ΤΟΙΧΟ ΣΥΝΑΡΤΗΣΗ ΤΗΣ ΩΡΑΣ ΓΙΑ ΤΗΝ 21 ΦΛΕΒΑΡΗ

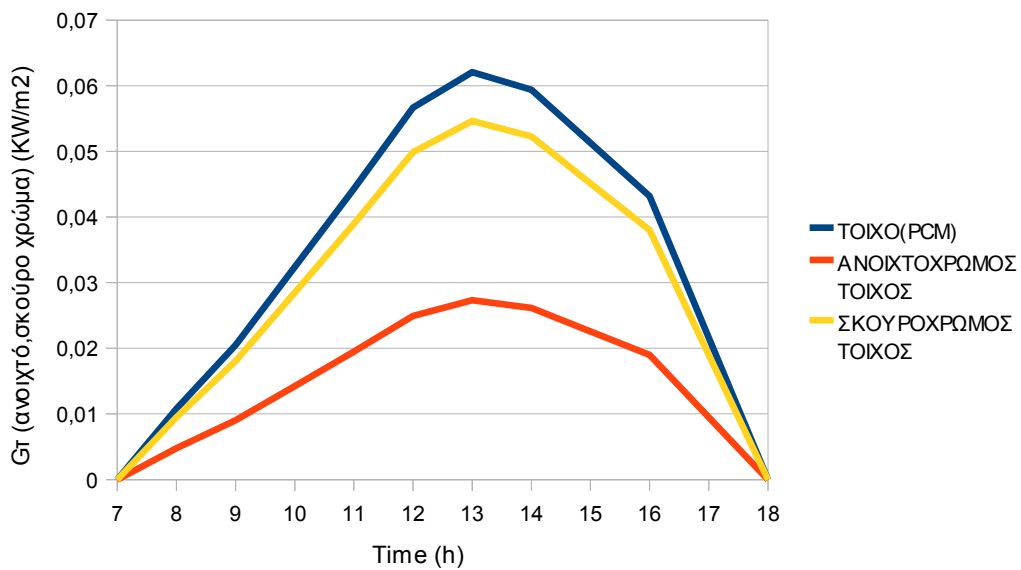
Time	G _τ	ΠΕΡΝΑΕΙ ΣΤΟ ΔΩΜΑΤΙΟ	ΑΝΑΚΛΑΣΗ-ΑΠΟΡΡΟΦΗΣΗ	ΑΠΟΡΡΟΦΑ Ο ΑΕΡΑΣ	ΤΟΙΧΟ(PCM)
7	0	0		0	0
8	0,07	0,06		0,01	0,05
9	0,13	0,11		0,01	0,1
10	0,2	0,18		0,02	0,16
11	0,27	0,25		0,03	0,22
12	0,35	0,32		0,04	0,28
13	0,38	0,35		0,04	0,31
14	0,37	0,33		0,04	0,3
15	0,32	0,29		0,03	0,26
16	0,27	0,24		0,02	0,22
17	0,13	0,12		0,01	0,11
18	0	0		0	0



ΕΙΚΟΝΑ 13.1.3.13: Η ΗΛΙΑΚΗ ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑ ΠΟΥ ΠΕΡΝΑΕΙ ΣΤΟ ΔΩΜΑΤΙΟ, ΠΟΥ ΑΝΑΚΛΑΤΑΙ-ΑΠΟΡΡΟΦΑΤΑΙ ΑΠΟ ΤΟΝ ΥΑΛΟΠΙΝΑΚΑ, ΠΟΥ ΑΠΟΡΡΟΦΑΤΑΙ ΑΠΟ ΤΟΝ ΑΕΡΑ ΚΑΙ ΠΟΥ ΠΡΟΣΠΙΠΤΕΙ ΣΤΟ ΤΟΙΧΟ ΣΥΝΑΡΤΗΣΗ ΤΗΣ ΩΡΑΣ ΓΙΑ ΤΗΝ 21 ΦΛΕΒΑΡΗ

ΠΙΝΑΚΑΣ 13.1.3.16: Η ΗΛΙΑΚΗ ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑ ΠΟΥ ΠΡΟΣΠΙΠΤΕΙ ΣΕ ΤΟΙΧΟ ΑΝΟΙΧΤΟΥ ΚΑΙ ΣΚΟΥΡΟΥ ΧΡΩΜΑΤΟΣ ΓΙΑ ΤΗΝ 21 ΦΕΒΡΑΡΗ

Time	ΤΟΙΧΟ(PCM)	ΑΝΟΙΧΤΟΧΡΩΜΟΣ ΤΟΙΧΟΣ	ΣΚΟΥΡΟΧΡΩΜΟΣ ΤΟΙΧΟΣ
7	0	0	0
8	0,05	0,02	0,05
9	0,1	0,05	0,09
10	0,16	0,07	0,14
11	0,22	0,1	0,19
12	0,28	0,12	0,25
13	0,31	0,14	0,27
14	0,3	0,13	0,26
15	0,26	0,11	0,23
16	0,22	0,1	0,19
17	0,11	0,05	0,1
18	0	0	0

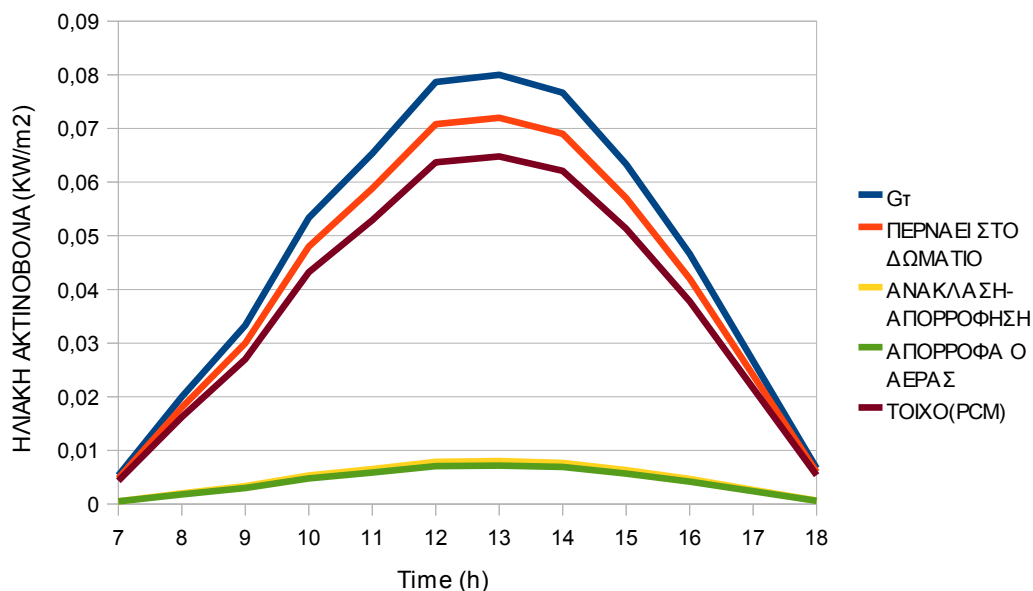


ΕΙΚΟΝΑ 13.1.3.14: Η ΗΛΙΑΚΗ ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑ ΠΟΥ ΠΡΟΣΠΙΠΤΕΙ ΣΕ ΤΟΙΧΟ ΑΝΟΙΧΤΟΥ ΚΑΙ ΣΚΟΥΡΟΥ ΧΡΩΜΑΤΟΣ ΓΙΑ ΤΗΝ 21 ΦΕΒΡΑΡΗ

ΜΑΡΤΗ

ΠΙΝΑΚΑΣ 13.1.3.17: Η ΗΛΙΑΚΗ ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑ ΠΟΥ ΠΕΡΝΑΕΙ ΣΤΟ ΔΩΜΑΤΙΟ, ΠΟΥ ΑΝΑΚΛΑΤΑΙ-ΑΠΟΡΡΟΦΑΤΑΙ ΑΠΟ ΤΟΝ ΥΑΛΟΠΙΝΑΚΑ, ΠΟΥ ΑΠΟΡΡΟΦΑΤΑΙ ΑΠΟ ΤΟΝ ΑΕΡΑ ΚΑΙ ΠΟΥ ΠΡΟΣΠΙΠΤΕΙ ΣΤΟ ΤΟΙΧΟ ΣΥΝΑΡΤΗΣΗ ΤΗΣ ΩΡΑΣ ΓΙΑ ΤΗΝ 21 ΜΑΡΤΗ

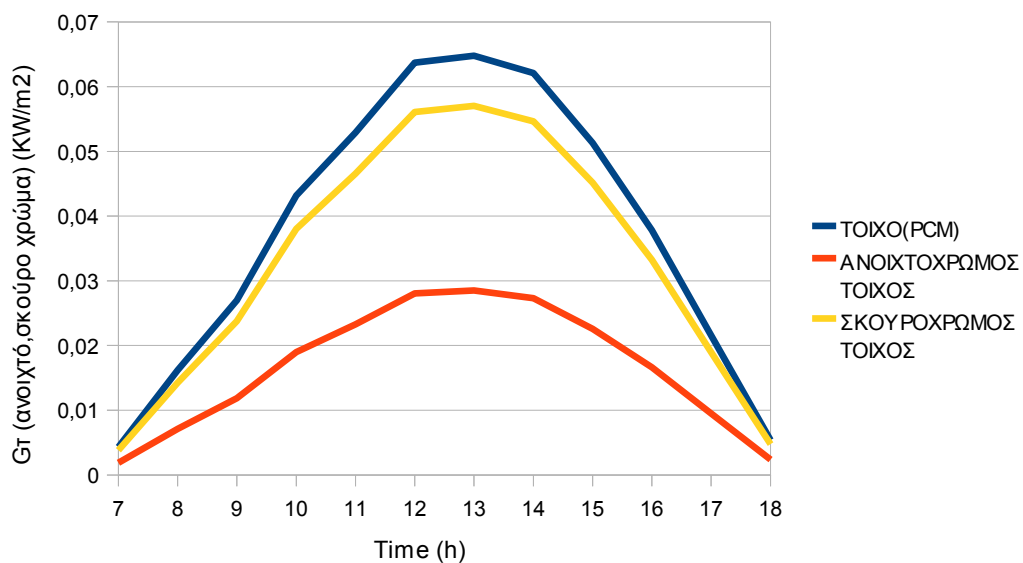
Time	G _τ	ΠΕΡΝΑΕΙ ΣΤΟ ΔΩΜΑΤΙΟ	ΑΝΑΚΛΑΣΗ-ΑΠΟΡΡΟΦΗΣΗ	ΑΠΟΡΡΟΦΑ Ο ΑΕΡΑΣ	ΤΟΙΧΟ(PCM)
7	0,03	0,02	0	0	0,02
8	0,1	0,09	0,01	0,01	0,08
9	0,17	0,15	0,02	0,02	0,14
10	0,27	0,24	0,03	0,02	0,22
11	0,33	0,29	0,03	0,03	0,26
12	0,39	0,35	0,04	0,04	0,32
13	0,4	0,36	0,04	0,04	0,32
14	0,38	0,35	0,04	0,03	0,31
15	0,32	0,29	0,03	0,03	0,26
16	0,23	0,21	0,02	0,02	0,19
17	0,13	0,12	0,01	0,01	0,11
18	0,03	0,03	0	0	0,03



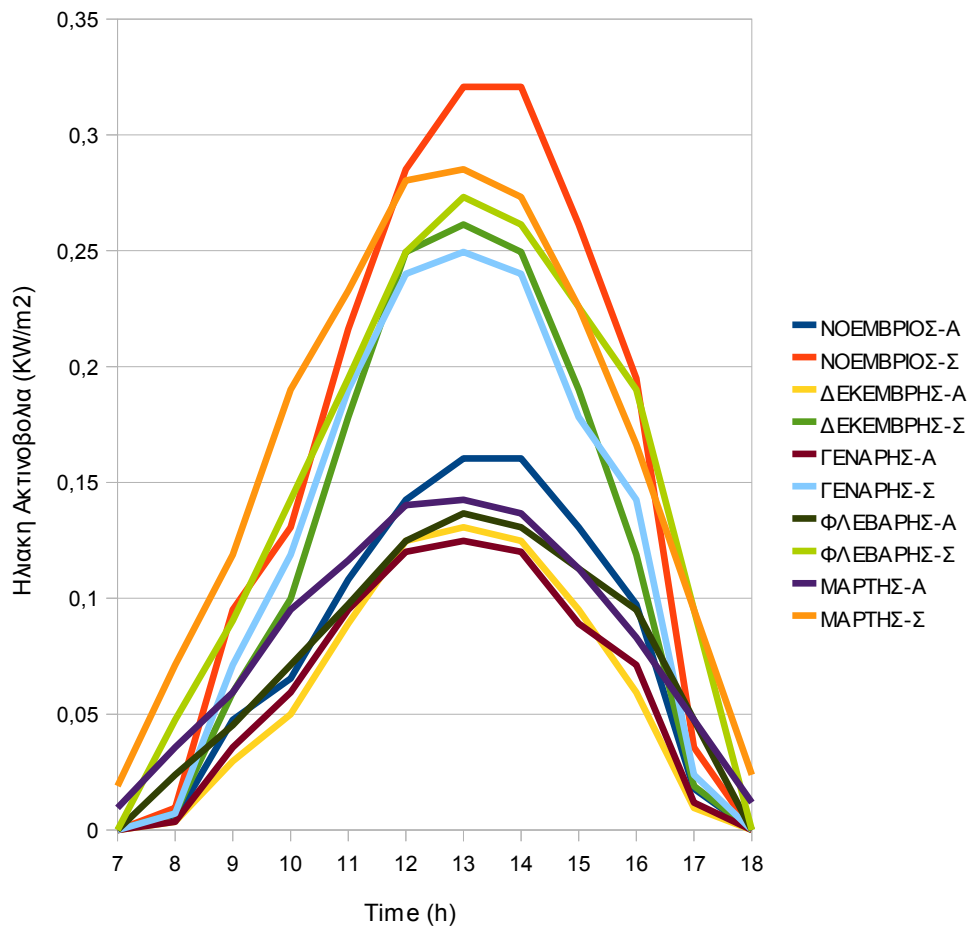
ΕΙΚΟΝΑ 13.1.3.15: Η ΗΛΙΑΚΗ ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑ ΠΟΥ ΠΕΡΝΑΕΙ ΣΤΟ ΔΩΜΑΤΙΟ, ΠΟΥ ΑΝΑΚΛΑΤΑΙ-ΑΠΟΡΡΟΦΑΤΑΙ ΑΠΟ ΤΟΝ ΥΑΛΟΠΙΝΑΚΑ, ΠΟΥ ΑΠΟΡΡΟΦΑΤΑΙ ΑΠΟ ΤΟΝ ΑΕΡΑ ΚΑΙ ΠΟΥ ΠΡΟΣΠΙΠΤΕΙ ΣΤΟ ΤΟΙΧΟ ΣΥΝΑΡΤΗΣΗ ΤΗΣ ΩΡΑΣ ΓΙΑ ΤΗΝ 21 ΜΑΡΤΗ

ΠΙΝΑΚΑΣ 13.1.3.18: Η ΗΛΙΑΚΗ ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑ ΠΟΥ ΠΡΟΣΠΙΠΤΕΙ ΣΕ ΤΟΙΧΟ ΑΝΟΙΧΤΟΥ ΚΑΙ ΣΚΟΥΡΟΥ ΧΡΩΜΑΤΟΣ ΓΙΑ ΤΗΝ 21 ΜΑΡΤΗ

<i>Time</i>	<i>ΤΟΙΧΟ(PCM)</i>	<i>ΑΝΟΙΧΤΟΧΡΩΜΟΣ ΤΟΙΧΟΣ</i>	<i>ΣΚΟΥΡΟΧΡΩΜΟΣ ΤΟΙΧΟΣ</i>
7	0,02	0,01	0,02
8	0,08	0,04	0,07
9	0,14	0,06	0,12
10	0,22	0,1	0,19
11	0,26	0,12	0,23
12	0,32	0,14	0,28
13	0,32	0,14	0,29
14	0,31	0,14	0,27
15	0,26	0,11	0,23
16	0,19	0,08	0,17
17	0,11	0,05	0,1
18	0,03	0,01	0,02



ΕΙΚΟΝΑ 13.1.3.16: Η ΗΛΙΑΚΗ ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑ ΠΟΥ ΠΡΟΣΠΙΠΤΕΙ ΣΕ ΤΟΙΧΟ ΑΝΟΙΧΤΟΥ ΚΑΙ ΣΚΟΥΡΟΥ ΧΡΩΜΑΤΟΣ ΓΙΑ ΤΗΝ 21 ΜΑΡΤΗ



ΕΙΚΟΝΑ 13.1.3.17: Η ΗΛΙΑΚΗ ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑ ΠΟΥ ΠΡΟΣΠΙΠΤΕΙ ΣΕ ΤΟΙΧΟ ΑΝΟΙΧΤΟΥ ΚΑΙ ΣΚΟΥΡΟΥ ΧΡΩΜΑΤΟΣ ΓΙΑ ΤΟΥΣ ΜΗΝΕΣ ΝΟΕΜΒΡΗ, ΔΕΚΕΜΒΡΗ, ΓΕΝΑΡΗ, ΦΛΕΒΑΡΗ ΚΑΙ ΜΑΡΤΗ

13.2. Υπολογισμός της θερμοκρασίας εξωτερικού περιβάλλοντος

Η ημερήσια μεταβολή της θερμοκρασίας εξωτερικού περιβάλλοντος, το ,[105]για μια περιοχή μπορεί να εκτιμηθεί σύμφωνα με το μοντέλο που προτείνει η ASHRAE,αν είναι γνωστή η μέγιστη θερμοκρασία ημέρας και η ημερήσια θερμοκρασιακή διακύμανση.Σύμφωνα με το μοντέλο αυτό ,η θερμοκρασία κάθε ώρας της ημέρας υπολογίζεται αφαιρώντας από την μέγιστη θερμοκρασία ημέρας το ποσοστό της ημερήσιας διακύμανσης που δίνει ο παρακάτω πίνακας για την ώρα αυτή.

ΠΙΝΑΚΑΣ 13.2.1:ΠΟΣΟΣΤΑ ΤΗΣ ΗΜΕΡΗΣΙΑΣ ΔΙΑΚΥΜΑΝΣΗΣ

<i>TIME,h</i>	<i>%</i>	<i>TIME,h</i>	<i>%</i>
1	87	13	11
2	92	14	3
3	96	15	0
4	99	16	3
5	100	17	10
6	98	18	21
7	93	19	34
8	84	20	47
9	71	21	58
10	56	22	68
11	39	23	76
12	23	24	82

Η ημερήσια μεταβολή της μέσης θερμοκρασίας ξηρής σφαίρας, το ,περιβάλλοντος στην περιοχή της Αθήνας προέκυψαν με στατιστική επεξεργασία σχετικών μετρήσεων της Εθνικής Μετεωρολογικής Υπηρεσίας ,στον τομέα θερμότητας Ε.Μ.Π. Η μέση καμπύλη προσεγγίζεται από την παρακάτω σχέση.[105]

$$t_o(H) = M + \sum_{i=1-3} C_i \cos[i 360*(H-0,5)/24] + \sum_{i=1-3} S_i \sin[i 360*(H-0,5)/24] \quad (13.2.1)$$

όπου:

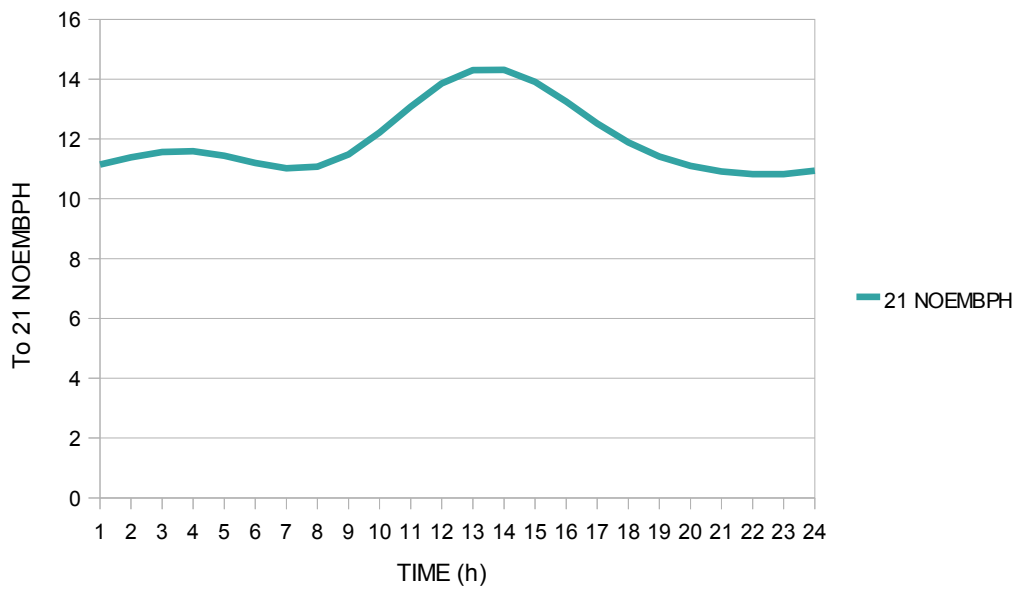
- H =η ώρα της ημέρας =1-24
- M, C_i, S_i =συντελεστές που δίνονται από τον παρακάτω πίνακα

ΠΙΝΑΚΑΣ 13.2.2: ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΕΣ M , C_i , S_i

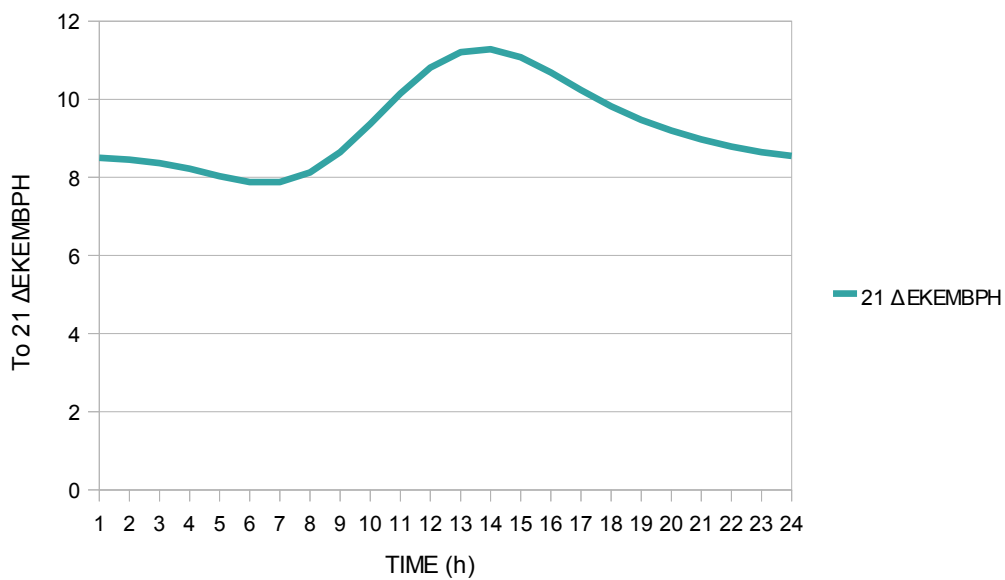
DAY	M	C1	C2	C3	S1	S2	S3
21 JANUARY	9,3840	-1,6730	0,7110	0,0085	-1,7230	0,5240	-0,2410
21 FEBRUARY	10,9840	-2,1500	0,7850	-0,1070	-1,7500	0,5780	-0,0724
21 MARCH	11,9550	-1,8980	0,6510	-0,0097	-1,0840	0,2550	-0,0093
21 APRIL	15,0720	-2,6680	0,7270	0,2690	-1,7630	0,2430	0,2120
21 MAY	20,7240	-2,7960	0,7590	0,0926	-1,3440	0,1190	0,3080
21 JUNE	26,1920	-3,3930	1,1150	0,1560	-2,1960	-0,1390	0,1570
21 JULY	28,0800	-3,3590	0,8110	0,2720	-2,0770	0,1340	0,1400
21 AUGUST	27,8800	-3,1130	0,8840	0,0670	-1,9780	0,4860	0,3610
21 SEPTEMBER	23,2360	-3,3100	1,0350	-0,0495	-1,6960	0,4770	0,2210
21 OCTOBER	18,1440	-2,6300	1,0850	-0,1440	-1,4270	0,6040	0,1380
21 NOVEMBER	11,9680	-1,3000	0,6160	-0,2520	-0,3170	0,6290	-0,0490
21 DECEMBER	9,2640	-1,1100	0,5210	-0,1520	-0,8810	0,3330	0,0080

ΠΙΝΑΚΑΣ 13.2.3: ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΤΗΣ ΕΞΩΤΕΡΙΚΗΣ ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑΣ

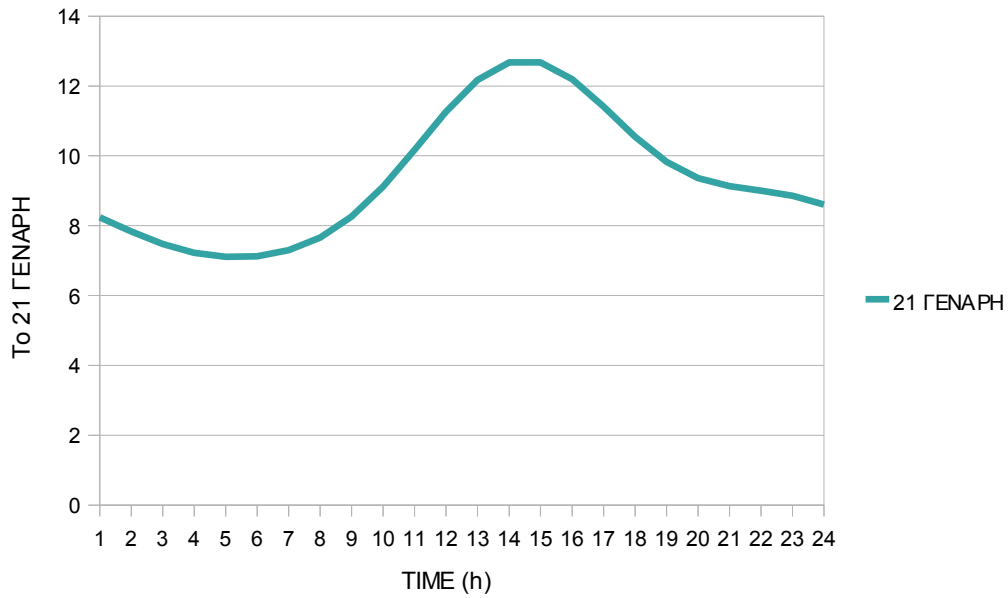
TIME	To				
	21 ΝΟΕΜΒΡΗ	21 ΔΕΚΕΜΒΡΗ	21 ΓΕΝΑΡΗ	21 ΦΕΒΒΑΡΗ	21 ΜΑΡΤΗ
1	11,14	8,5	8,24	9,41	10,61
2	11,38	8,45	7,83	9,18	10,42
3	11,56	8,37	7,47	8,95	10,2
4	11,59	8,22	7,22	8,71	10,02
5	11,44	8,03	7,1	8,52	9,96
6	11,19	7,88	7,13	8,47	10,08
7	11,01	7,88	7,3	8,65	10,44
8	11,08	8,13	7,66	9,15	11,03
9	11,49	8,64	8,26	10,01	11,82
10	12,21	9,37	9,12	11,16	12,71
11	13,09	10,15	10,17	12,41	13,56
12	13,86	10,81	11,26	13,56	14,26
13	14,31	11,2	12,17	14,37	14,68
14	14,31	11,28	12,68	14,71	14,78
15	13,91	11,07	12,68	14,55	14,54
16	13,25	10,69	12,2	13,97	14,05
17	12,52	10,24	11,41	13,16	13,4
18	11,88	9,82	10,55	12,29	12,71
19	11,41	9,47	9,83	11,51	12,09
20	11,1	9,2	9,37	10,89	11,6
21	10,91	8,97	9,13	10,43	11,26
22	10,82	8,79	9	10,1	11,05
23	10,83	8,64	8,86	9,84	10,9
24	10,94	8,55	8,61	9,62	10,77



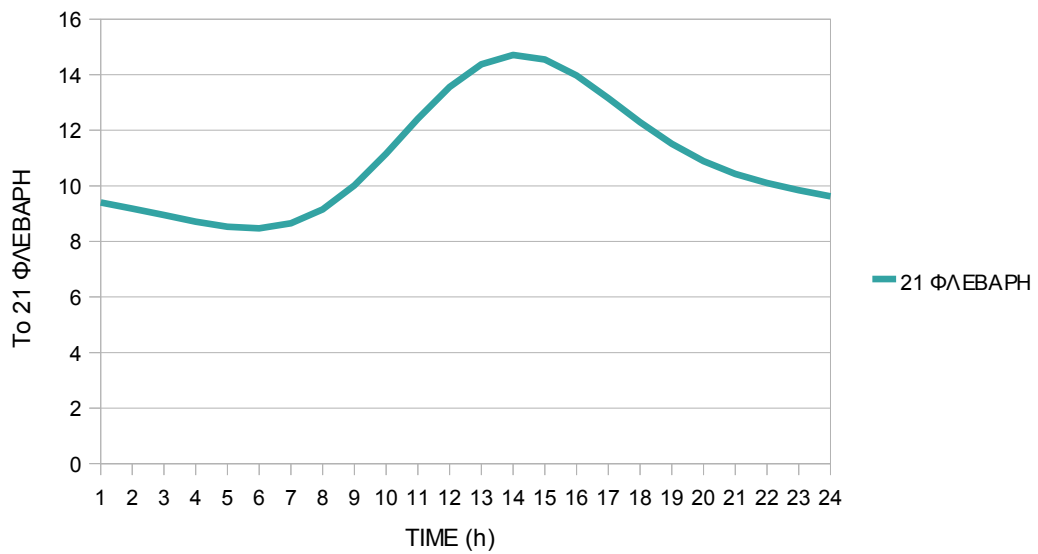
ΕΙΚΟΝΑ 13.2.1: Η ΕΞΩΤΕΡΙΚΗ ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ ΣΥΝΑΡΤΗΣΗ ΤΗΣ ΩΡΑΣ ΓΙΑ 21 ΝΟΕΜΒΡΗ



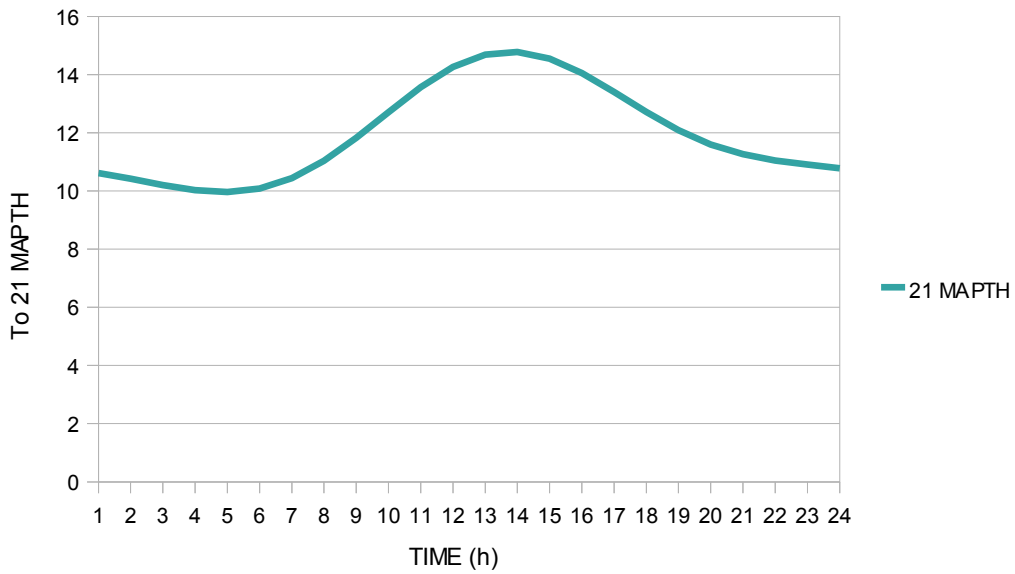
ΕΙΚΟΝΑ 13.2.2: Η ΕΞΩΤΕΡΙΚΗ ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ ΣΥΝΑΡΤΗΣΗ ΤΗΣ ΩΡΑΣ ΓΙΑ 21 ΔΕΚΕΜΒΡΗ



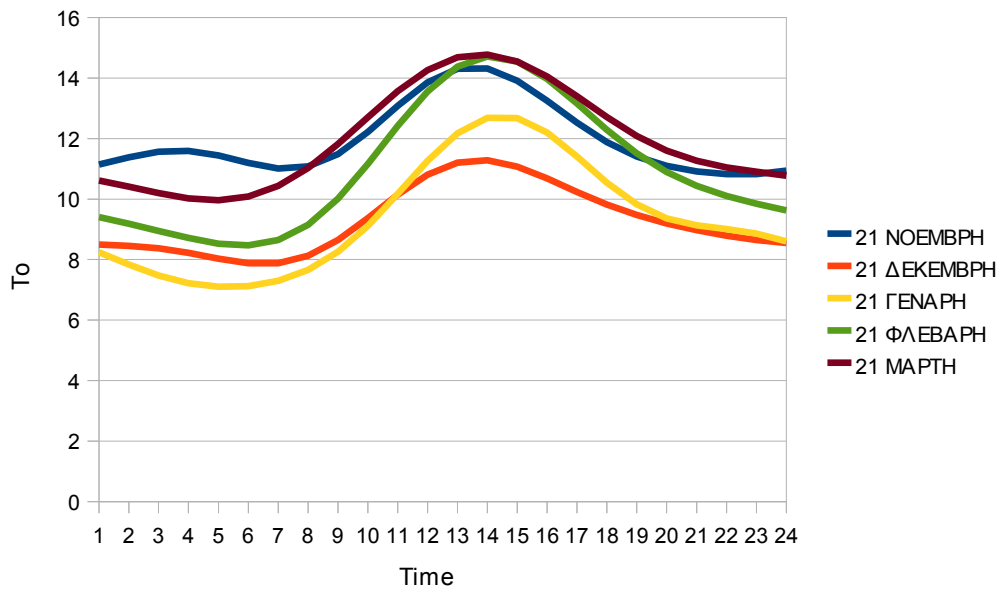
ΕΙΚΟΝΑ 13.2.3: Η ΕΞΩΤΕΡΙΚΗ ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ ΣΥΝΑΡΤΗΣΗ ΤΗΣ ΩΡΑΣ ΓΙΑ 21 ΓΕΝΑΡΗ



ΕΙΚΟΝΑ 13.2.4: Η ΕΞΩΤΕΡΙΚΗ ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ ΣΥΝΑΡΤΗΣΗ ΤΗΣ ΩΡΑΣ ΓΙΑ 21 ΦΕΒΡΑΡΗ



ΕΙΚΟΝΑ 13.2.5: Η ΕΞΩΤΕΡΙΚΗ ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ ΣΥΝΑΡΤΗΣΗ ΤΗΣ ΩΡΑΣ ΓΙΑ 21 ΜΑΡΤΗ



ΕΙΚΟΝΑ 13.2.6: Η ΕΞΩΤΕΡΙΚΗ ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ ΣΥΝΑΡΤΗΣΗ ΤΗΣ ΩΡΑΣ ΓΙΑ ΤΟΝ ΝΟΕΜΒΡΗ, ΔΕΚΕΜΒΡΗ, ΓΕΝΑΡΗ, ΦΛΕΒΑΡΗ ΚΑΙ ΜΑΡΤΗ

13.3.Εφαρμογή της συνάρτησης μεταφοράς στα ελληνικά κτίρια

Η ASHRAE παρέχει τιμές των συντελεστών μεταφοράς για 40 είδη ορόφων, 103 είδη εξωτερικών τοίχων και 47 είδη εσωτερικών χωρισμάτων. Η συνάρτηση μεταφοράς χρησιμοποιείται υπο την μορφή:

$$q_t = \sum b_n T_{e,t-n\Delta} - \sum d_n q_{t-n\Delta} - T_{in} \sum c_n \quad (13.3.1)$$

όπου :

q_t = ροή θερμότητας δια της εσωτερικής επιφάνειας τοίχου ή οροφής κατά την ώρα t , W/m^2

t = χρόνος, hr

Δ = χρονικό βήμα, hr (συνήθως $1 hr$)

n = δείκτης άθροισης (κάθε άθροισμα έχει τόσους όρους όσο το πλήθος των μη μηδενικών συντελεστών)

$T_{e,t-n\Delta}$ = ισοδύναμη θερμοκρασία εξωτερικού αέρα κατά την ώρα $t-n\Delta$, $^{\circ}C$

T_{in} = σταθερή θερμοκρασία εσωτερικού αέρα, $^{\circ}C$

b_n, C_n, d_n = συντελεστές συνάρτησης μεταφοράς, b_n και C_n σε W/m^2C , d_n αδιάστατος

Οι τιμές των συντελεστών b_n , C_n και d_n για τις συνηθέστερες ελληνικές κατασκευές τοίχων και οροφών υπολογίστηκαν με το πρόγραμμα H/Y των Mitalas και Arseneault. Εκτός από τους 18 ελληνικούς τύπους εξωτερικών τοίχων G1, G2...G18, συμπεριλαμβάνονται και 11 χαρακτηριστικές κατασκευές τοίχων από τον κατάλογο ASHRAE. Οι τιμές προκύπτουν με εσωτερικό συντελεστή συναγωγιμότητας $h_o = 17 W/m^2 ^{\circ}C$ και $h_i = 8.3 W/m^2 ^{\circ}C$.

Προσεγγιστικές τιμές των συντελεστών για νέες κατασκευές, μπορούν να ευρεθούν πολλαπλασιάζοντας τους συντελεστές b_n και c_n μιας παρόμοιας κατασκευής που διαθέτουμε στους πίνακες του βιβλίου "Κλιματισμός" του κ Αντωνόπουλου επί τον λόγο της ολικής θερμικής διαπερατότητας k της νέας κατασκευής διά της τιμής του k της παρόμοιας κατασκευής που περιέχεται στους πίνακες.

Η ισοδύναμη θερμοκρασία εξωτερικού αέρα T_e (sol-air-temperature), η οποία περιέχεται στην συνάρτηση μεταφοράς έχει λογιστική τιμή, η οποία προκύπτει από την υπέρθεση της προσπίπτουσας ηλιακής ακτινοβολίας στην εξωτερική επιφάνεια τοίχου, της συναλλαγής θερμότητας δι' ακτινοβολίας με τον ουρανό και τα πέριξ και της συναλλαγής διά συναγωγής μεταξύ της

επιφανείας και του εξωτερικού αέρος. Στους πίνακες του βιβλίου "Κλιματισμός" του κ. Αντωνόπουλου δίδονται οι τιμές της ισοδύναμης θερμοκρασίας εξωτερικού αέρος T_e κατά την 21η ημέρα κάθε μήνα στην περιοχή της Αθήνας. Ο υπολογισμός έγινε σύμφωνα με την εξίσωση:

$$T_e = T_o = (a/h_o) * I_t - (\epsilon * \Delta R)/h_o \quad (13.3.2)$$

Ο λόγος της ηλιακής απορροφητικότητας προς την συναγωγιμότητα a/h_o , ελήφθη ίσος προς $0,026 \text{ m}^2 \text{ }^\circ\text{C/W}$ για ανοιχτόχρωμες επιφάνειες και $0,052 \text{ m}^2 \text{ }^\circ\text{C/W}$ για σκούρες. Ο διορθωτικός όρος $\epsilon * \Delta R/h_o$ ελήφθη ίσος προς $1 \times (63 \text{ W/m}^2)/1603 \text{ W/m}^2\text{ }^\circ\text{C} = 3,9^\circ\text{C}$ για οριζόντιες επιφάνειες (οροφές) και 0 για κατακόρυφες (τοιχούς). Οι τιμές της θερμοκρασίας εξωτερικού αέρος T_o και της προσπίπτουσας στην επιφάνεια ολικής ηλιακής ακτινοβολίας I_t στην περιοχή της Αθήνας υπολογίστηκαν για κάθε ώρα της ημέρας.

Από την συνάρτηση της μεταφοράς φαίνεται ότι για τον υπολογισμό της ροής θερμότητας q_t κατά μία χρονική στιγμή t , πρέπει να είναι γνωστή η ισοδύναμη θερμοκρασία εξωτερικού αέρα κατά την ίδια αλλά και κατά τις προηγούμενες χρονικές στιγμές καθώς επίσης και η τιμή της ροής θερμότητας κατά τις προηγούμενες χρονικές στιγμές. Δηλαδή, απαιτείται γνώση της θερμικής ιστορίας του τοίχου. Κατά την ένατιξη των υπολογισμών, οι άγνωστες τιμές της θερμικής ροής κατά τις προηγούμενες χρονικές στιγμές λαμβάνονται ίσες προς το μηδές. Η επίδραση της υπόθεσης αυτής εξαλείφεται ύστερα από μερικούς 24ωρους διαδοχικούς κύκλους υπολογισμών (συνήθως 3 έως 4 κύκλοι είναι αρκετοί), οπότε επιτυγχάνεται σύγκλιση.

13.3.1. Ισοδύναμη θερμοκρασία 35 ελληνικών πόλεων

Η ισοδύναμη θερμοκρασία εξωτερικού αέρα για την Αθήνα δίνονται στους πίνακες του βιβλίου "Κλιματισμός" του κ. Αντωνόπουλου στο τέλος του κεφαλαίου Δ. Για άλλες περιοχές της Ελλάδος, η ισοδύναμη θερμοκρασία μπορεί να υπολογιστεί κατά προσέγγιση από την σχέση:

$$T_e' \approx T_e^{A\theta} + T_o' - T_o^{A\theta} \quad (13.3.1.1)$$

όπου:

$T_e^{A\theta}$ = ισοδύναμη θερμοκρασία Αθηνών, $^\circ\text{C}$

T_e' = ισοδύναμη θερμοκρασία άλλης περιοχής, $^\circ\text{C}$

$T_o^{A\theta}$ = μέση θερμοκρασία 24ώρου εξωτερικού αέρος Αθηνών, $^\circ\text{C}$

T_o' = μέση θερμοκρασία 24ώρου εξωτερικού αέρος άλλης περιοχής, $^\circ\text{C}$

Η παραπάνω εξίσωση προέκυψε υποθέτοντας ίδιο τρόπο ημερήσιας μεταβολής της θερμοκρασίας εξωτερικού αέρος και ίδιες τιμές ηλιακής ακτινοβολίας μεταξύ της Αθήνας και των άλλων Ελληνικών περιοχών.

Η μέση θερμοκρασία 24ώρου εξωτερικού αέρος, T_o , σε 35 ελληνικές πόλεις έχει υπολογιστεί στον τομέα θερμότητας Ε.Μ.Π. με στατιστική επεξεργασία πολυετών μετρήσεων της Εθνικής Μετεωρολογικής Υπηρεσίας. Τα αποτελέσματα δίνονται με την παρακάτω αλγεβρική έκφραση, η οποία μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τον υπολογισμό των T_o και $T_o^{A\theta}$ της εξίσωσης:

$$T_o = a + b * \sin [360 D / 365 - f] \quad (13.3.1.2)$$

όπου $D(= 1-365)$ είναι η ημέρα του έτους και a, b, f είναι συντελεστές οι οποίοι δίνονται για κάθε μία από τις 35 ελληνικές πόλεις .

ΠΙΝΑΚΑΣ 13.3.1.1: ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΕΣ a, b ΚΑΙ f ΤΗΣ ΕΞΙΣΩΣΗΣ

A/A	ΠΟΛΗ	a (°C)	b (°C)	f (μοίρες)
1	ΑΓΡΙΝΙΟ	17.196	- 8.920	- 64.484
2	ΑΘΗΝΑ	17.521	- 9.107	- 63.611
3	ΑΛΕΞ/ΠΟΛΗ	14.404	- 9.564	- 63.751
4	ΑΡΓΟΣΤΟΛΙ	18.178	- 7.544	- 59.009
5	ΑΡΤΑ	17.457	- 8.765	64.297
6	ΒΟΛΟΣ	16.872	- 8.696	- 64.778
7	ΖΑΚΥΝΘΟΣ	18.290	- 7.519	- 58.283
8	ΗΡΑΚΛΕΙΟ	18.406	- 6.746	- 57.732
9	ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗ	15.730	- 9.892	- 67.750
10	ΘΗΡΑ	17.590	- 7.163	- 58.907
11	ΙΕΡΑΠΕΤΡΑ	19.374	- 7.600	- 57.733
12	ΙΩΑΝΝΙΝΑ	13.859	- 8.960	- 67.092
13	ΚΑΒΑΛΑ	13.401	- 9.558	- 66.978
14	ΚΑΛΑΜΑΤΑ	17.842	- 7.221	- 57.686
15	ΚΑΡΠΑΘΟΣ	20.033	- 7.395	- 58.336
16	ΚΕΡΚΥΡΑ	16.722	- 7.853	- 60.469
17	ΚΟΖΑΝΗ	12.345	- 10.161	- 67.482
18	ΚΟΡΙΝΘΟΣ	18.133	- 8.540	- 63.054
19	ΚΥΘΗΡΑ	17.834	- 7.568	- 57.298
20	ΚΥΜΗ	16.547	- 8.194	- 62.451
21	ΛΑΡΙΣΑ	15.312	- 10.272	- 67.065
22	ΛΗΜΝΟΣ	16.636	- 8.509	- 62.030
23	ΜΕΘΩΝΗ	17.916	- 6.959	- 54.930
24	ΜΥΤΙΛΗΝΗ	17.507	- 8.464	- 63.164
25	ΝΑΞΟΣ	17.652	- 6.310	- 57.260
26	ΠΑΤΡΑ	17.339	- 7.470	- 59.691
27	ΡΟΔΟΣ	18.718	- 8.013	- 58.878
28	ΣΑΜΟΣ	18.162	- 7.530	- 60.976
29	ΣΕΡΡΕΣ	14.623	- 10.581	- 71.059
30	ΤΡΙΚΑΛΑ	15.881	- 10.290	- 69.518
31	ΤΡΙΠΟΛΗ	13.579	- 8.761	- 63.084
32	ΦΛΩΡΙΝΑ	11.785	- 10.412	- 69.337
33	ΧΑΛΚΙΔΑ	18.349	- 9.046	- 63.677
34	ΧΑΝΙΑ	18.763	- 7.021	- 60.030
35	ΧΙΟΣ	17.972	- 8.437	- 62.543

13.3.2. Απλοποίηση της διαδικασίας υπολογισμού θερμικής ροής δομικών στοιχείων

Ο υπολογισμός της ροής θερμότητας με τη μέθοδο της συνάρτησης μεταφοράς είναι πρακτικά αδύνατος χωρίς χρήση υπολογιστού, αλλά ακόμα και με τον υπολογιστή η διαδικασία είναι χρονοβόρος. Απλοποίηση της διαδικασίας αυτής και μείωση του χρόνου υπολογισμού επιτυγχάνεται με διαγράμματα, τα οποία αναπτύχθηκαν στον τομέα θερμότητας του Τμήματος Μηχανολόγων Ε.Μ.Π., όπως περιγράφεται παρακάτω.

Για τις 29 κατασκευές εξωτερικών τοίχων που περιέχονται στους πίνακες του βιβλίου "Κλιματισμός" υπολογίστηκε η ροή θερμότητας για ανοικτόχρωμες ($h_o/a=38\text{W/m}^2\text{ }^\circ\text{C}$) και σκούρες ($h_o/a = 19\text{ W/m}^2\text{ }^\circ\text{C}$) επιφάνειες 6 προσανατολισμών(N,E,SE,S,SW,W) κατά την 21η ημέρα κάθε μήνα στην Αθήνα, με θερμοκρασία εσωτερικού αέρα $T_{in}= 26\text{ }^\circ\text{C}$. Δηλαδή έγινε εφαρμογή της μεθόδου συνάρτησης μεταφοράς $29 \times 2 \times 6 \times 12 = 4176$ φορές και σχεδιάστηκαν ισάριθμες καμπύλες που παριστούν, υπό τις αντίστοιχες συνθήκες, την ροή θερμότητας συναρτήσει της ώρας του 24ώρου. Τα διαγράμματα που προέκυψαν περιέχονται σε εκδοθέν βιβλίο υπό τον τίτλο "Θερμική ροή δομικών στοιχείων για φορτία κλιματισμού στην Ελλάδα" (1991). Τα διαγράμματα που περιέχονται στο βιβλίο για τοίχο τύπου G1 ανοικτού και σκούρου χρώματος χαρακτηρίζονται από τον κωδικό και τον προσανατολισμό του τοίχου (π.χ. G1/N) και περιέχει 12 καμπύλες (μία για κάθε μήνα) κατανεμημένες σε δύο διαγράμματα.

Αντίστοιχοι υπολογισμοί έγιναν και για τα 10 είδη οροφών, δηλαδή εφαρμόστηκε η μέθοδος της συνάρτησης μεταφοράς για 10 οροφές ανοικτού και σκούρου χρώματος κατά την 21η ημέρα κάθε μήνα στην Αθήνα. Έτσι προέκυψαν $10 \times 2 \times 2 \times 12 = 240$ καμπύλες που παριστούν το θερμικό κέρδος στις αντίστοιχες περιπτώσεις, συναρτήσει της ώρας της ημέρας. Όσον αφορά τα διαγράμματα για οροφές ανοικτού χρώματος χαρακτηρίζονται από τον κωδικό της οροφής και περιέχει 12 καμπύλες (μία για κάθε μήνα) κατανεμημένες σε δύο διαγράμματα.

Σύμφωνα με τα παραπάνω, στα διαγράμματα μπορούν άμεσα να διαβαστούν οι τιμές της ροής θερμότητας των αντιστοιχών δομικών στοιχείων για οποιαδήποτε ώρα του 24ώρου και οποιονδήποτε μήνα του έτους, με θερμοκρασία εσωτερικού αέρα 26°C . Για άλλες θερμοκρασίες εσωτερικού αέρα, αρκεί να προστεθεί στις τιμές των διαγραμμάτων η ποσότητα $K(26-T_{in})$, όπου k (σε $\text{W/m}^2\text{ }^\circ\text{C}$) είναι η ολική θερμική διαπερατότητα του τοίχου ή της οροφής και T_{in} (σε $^\circ\text{C}$) η επιθυμητή θερμοκρασία εσωτερικού αέρα.

Για να είναι δυνατή η χρήση των διαγραμμάτων ως βάσεις δεδομένων σε ηλεκτρονικό υπολογιστή, οι καμπύλες προσεγγίστηκαν με την μέθοδο των ελαχίστων τετραγώνων από την παρακάτω αλγεβρική έκφραση:

$$qt = k (26 - Tin) + M + \Sigma [Aj \cos [(2\pi j (t-1)) / 25] + Bj \sin[(2\pi j(t-1))/25]]$$

(13.3.2.1)

όπου

- k είναι η ολική θερμική διαπερατότητα του τοίχου ή της οροφής σε W/m²°C,
- Tin η θερμοκρασία του εσωτερικού αέρα σε °C και
- M, Aj, Bj είναι συντελεστές σε W/m², οι οποίοι δίνονται στα σχήματα του βιβλίου "Κλιματισμός" κάτω από τα διαγράμματα.

Η παραπάνω εξίσωση προσεγγίζει άριστα τις τιμές που δίνει η μέθοδος της συνάρτησης μεταφοράς.

13.3.3. Διαστρωμάτωση των τοίχων και της οροφής

ΔΙΑΣΤΡΩΜΑΤΩΣΗ ΤΟΙΧΩΝ

Η διαστρωμάτωση των τοίχων του δωματίου, πλην αυτού που έχει τον νότιο προσανατολισμό και παρουσιάζεται παρακάτω είναι ο εξής:

- Σοβάς 20 mm
- Τούβλο 90 mm
- Μόνωση 40 mm
- Τούβλο 90 mm
- Σοβάς 20 mm

Η θερμική του αντίσταση προκύπτει ίση προς : k= 0.65 W/m² oC

ΔΙΑΣΤΡΩΜΑΤΩΣΗ ΟΡΟΦΗΣ

Η διαστρωμάτωση της οροφής του δωματίου είναι ο εξής:

- Γαρμπιλόδεμα 70 mm
- Στεγανοποίηση 10 mm
- Μόνωση 60 mm
- Μπετον κλισεως 70 mm
- Οπλ Σκυρόδεμα 140 mm
- Σοβάς 15 mm

Η θερμική του αντίσταση προκύπτει ίση προς : k= 0.448W/m² oC

ΔΙΑΣΤΡΩΜΑΤΩΣΗ ΒΟΡΕΙΟΥ ΤΟΙΧΟΥ

Η διαστρωμάτωση του νότιου τοίχου του δωματίου είναι η εξής:

- Σοβάς 20 mm
- PCM 30 mm
- Μόνωση 40 mm

Θεωρώ ότι ο τοίχος είναι αδιαβατικός

13.3.4. Φυσικά χαρακτηριστικά των υλικών

Τα φυσικά χαρακτηριστικά των υλικών παρουσιάζονται στον παρακάτω πίνακα:

ΠΙΝΑΚΑΣ 13.3.4.1: ΦΥΣΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΤΩΝ ΥΛΙΚΩΝ

<i>Υλικά</i>	<i>Ποκνότητα (kg/m³)</i>	<i>Θερμική αγωγιμότητα k (W/m oC)</i>	<i>Ειδική θερμοχωρητικότητα Cp (J/kg oC)</i>
Αέρας	1.2	-	1004
Τούβλο	1690	0.653	900
Μόνωση τοίχου	35	0.04	1210
Μόνωση οροφής	27	0.019	1210
Σοβάς	1860	1.2	835
Γυψοσανίδα	950	0.16	840

13.3.5. Επιλογή υλικού PCM

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

- Θερμοκρασιακό εύρος αλλαγής φάσης: 20-26°C
- $H=150000\text{J/kg}$
- Πυκνότητα $\rho=1019\text{ kg/m}^3$
- Ειδική θερμική αγωγιμότητα $k=0.6\text{ W/m }^\circ\text{C}$
- Ειδική θερμοχωρητικότητα στερεής φάσης =Ειδική θερμοχωρητικότητα υγρής φάσης: $C_{ps}=C_{pl}=5000\text{ J/kg }^\circ\text{C}$

13.3.6. Επιλογή των τιμών του συντελεστή θερμικής συναγωγής H ($\text{W/m}^2\text{ }^\circ\text{C}$)

13.3.6.1. Συντελεστής συναγωγής τοίχου-περιβάλλοντος

Η τιμή του συντελεστή συναγωγής ανάμεσα στον τοίχο και στο περιβάλλον επιλέγεται ίση προς $h_{out}=16\text{ W/m}^2\text{ }^\circ\text{C}$, η οποία αποτελεί και τυπική τιμή που χρησιμοποιείται συχνά στις εφαρμογές.

13.3.6.2. Συντελεστής συναγωγής τοίχου-δωματίου

Η τιμή του συντελεστή συναγωγής ανάμεσα στον τοίχο και στο εσωτερικό του δωματίου εξετάζεται εκτενέστερα. Η ASHRAE προτείνει τιμή του συντελεστή συναγωγής ίση προς: $h_{in}=8\text{ W/m}^2\text{ }^\circ\text{C}$

13.3.7. Θεωρητικός υπολογισμός ψυκτικού φορτίου

13.3.7.1. Θεωρητικός υπολογισμός ψυκτικού φορτίου υαλοπίνακα

Η στιγμιαία τιμή του συνολικού θερμικού κέρδους μέσω υαλοπίνακος μπορεί να εκφραστεί ως εξής:

$$\begin{array}{l} \text{Συνολικό} \\ \text{ό} \\ \text{θερμικό} \\ \text{κέρδος} \end{array} = \begin{array}{l} \text{Ροή} \\ \text{θερμότητας} \\ \text{λόγω διαφοράς} \\ \text{εξωτερικής-} \\ \text{εσωτερικής} \end{array} + \begin{array}{l} \text{Ακτινοβολία} \\ \text{διερχόμενη} \\ \text{μέσω του} \\ \text{υαλοπίνακος} \end{array} + \begin{array}{l} \text{Ροή} \\ \text{απορρόφησης} \\ \text{ηλ. Ακτινοβολίας} \\ \text{προς τον} \\ \text{εσωτερικό χώρο} \end{array}$$

Οι δύο τελευταίοι όροι του δεύτερου μέλους υφίστανται μόνον όταν ο υαλοπίνακας δέχεται ηλιακή ακτινοβολία, ενώ ο πρώτος, ο οποίος εκφράζει την διάγωγη μετάδοση θερμότητας, υφίσταται ανεξάρτητα από την πρόσπτωση ηλιακής ακτινοβολίας. Έτσι, η παραπάνω εξίσωση γράφεται:

$$\begin{array}{l} \text{Συνολικό} \\ \text{θερμικό} \\ \text{κέρδος} \end{array} = \begin{array}{l} \text{Θερμικό} \\ \text{κέρδος δι'} \\ \text{αγωγής} \end{array} + \begin{array}{l} \text{Ηλιακό} \\ \text{θερμικό} \\ \text{κέρδος} \end{array}$$

Το θερμικό κέρδος υαλοπίνακος διάγωγη, HG σε W, υπολογίζεται από την εξίσωση:

$$HG = U * A * (t_o - t_i) \quad (13.3.7.1.1)$$

όπου: U = ολική θερμική διαπερατότης υαλοπίνακος, $W/m^2 \text{ } ^\circ C$

A = επιφάνεια υαλοπίνακος, m^2

$(t_o - t_i)$ = εξωτερική και εσωτερική θερμοκρασία αντιστοίχως, $^\circ C$

Εφαρμόζοντας την μέθοδο θερμοκρασιακής διαφοράς ψυκτικού φορτίου, το ψυκτικό φορτίο που αντιστοιχεί στο θερμικό κέρδος διάγωγη, HG, υπολογίζεται από την σχέση:

$$q = U * A * (CLTD)_{corr} \quad (13.3.7.1.2)$$

όπου q = ψυκτικό φορτίο, W

$CLTD_{corr}$ = θερμοκρασιακή διαφορά ψυκτικού φορτίου $^\circ C$

Οι τιμές της CLTD δίνονται από τον πίνακα που ακολουθεί για κάθε ώρα του 24ωρου. Οι τιμές αυτές έχουν υπολογιστεί για εσωτερική θερμοκρασία 25,5 °C και μέγιστη εξωτερική θερμοκρασία 35°C με ημερήσια διακύμανση 11,6°C. Ο πίνακας μπορεί να χρησιμοποιηθεί με ικανοποιητική ακρίβεια για εξωτερικές θερμοκρασίες 34-39 °C, και ημερήσιες διακυμάνσεις 9-19 °C , υπό τον όρο ότι η μέση ημερήσια θερμοκρασία παραμένει περίπου ίση προς 29,4°C. Εάν η εσωτερική θερμοκρασία είναι διάφορος των 25,5 °C και/ή η εξωτερική μέση ημερήσια θερμοκρασία είναι διάφορος των 29,4°C, τότε γίνεται χρήση της διορθωτικής εξίσωσης:

$$(CLTD)_{corr} = CLTD + (25,5 - TR) + (T_o - 29,4) \quad (13.3.7.1.3)$$

όπου $(CLTD)_{corr}$ = η ορθή τιμή, °C

$CLTD$ = η τιμή του πίνακα, °C

TR = εσωτερική θερμοκρασία, °C

T_o = εξωτερική μέση ημερήσια θερμοκρασία, °C

ΠΙΝΑΚΑΣ 13.3.7.1.1: ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑΚΕΣ ΔΙΑΦΟΡΕΣ ΨΥΚΤΙΚΟΥ ΦΟΡΤΙΟΥ ΓΙΑ ΘΕΡΜΙΚΗ ΑΓΩΓΗ ΜΕΣΩ ΥΑΛΟΠΙΝΑΚΩΝ

Solar-time, h	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
CLTD °C	1	0	-1	-1	-1	-1	0	1	2	4	5	7	7	8	8	7	7	6	4	3	2	2	1	1

Το ηλιακό θερμικό κέρδος υαλοπίνακος οφείλεται στην διερχόμενη και την απορροφούμενη ηλιακή ενέργεια και συνεχώς λαμβάνεται υπ'όψιν στους υπολογισμούς εφόσον ο υαλοπίνακας δέχεται ηλιακή ακτινοβολία.

Η ASHRAE ανέπτυξε μία μέθοδο υπολογισμού του SHG, η οποία κάνει χρήση ενός υαλοπίνακος πάχους 3mm με καθορισμένες ιδιότητες. Το SHG του υαλοπίνακος αυτού ονομάζεται παράγων ηλιακού θερμικού κέρδους. Η μέγιστη τιμή του SHGF για κάθε μήνα δίνεται στους παρακάτω πίνακες συναρτήσεως του γεωγραφικού πλάτους και του προσανατολισμού του υαλοπίνακος.

Για να ληφθούν υπ'όψιν οι διάφοροι τύποι υαλοπινάκων με τις αντίστοιχες συσκευές σκίασης, ορίσθει ο συντελεστής σκίασης ως εξής:

SC= ηλιακό θερμικό κέρδος υαλοπίνακος / ηλιακό θερμικό κέρδος υαλοπίνακος αναφοράς=>

$$SH = SHG / SHGF \quad (13.3.7.1.4)$$

έτσι ώστε όταν είναι γνωστή η τιμή του SC, το SHG υπολογίζεται από την παραπάνω σχέση.

Για τον υπολογισμό του ψυκτικού φορτίου υαλοπίνακος που οφείλεται στο SHG γίνεται χρήση του παράγοντος ψυκτικού φορτίου, ο οποίος λαμβάνει υπ'όψιν την συσσώρευση της θερμότητας στα δομικά υλικά και την επίπλωση του δωματίου. Η μέθοδος υπολογισμού των CLF, οι οποίοι δίνονται στους παρακάτω πίνακες, θα περιγραφεί αργότερα.

Σύμφωνα με τα παραπάνω το ψυκτικό φορτίο που αντιστοιχεί στην ηλιακή ακτινοβολία μέσω υαλοπίνακος υπολογίζεται από την σχέση:

$$q = A * (SC) * (SHGF)_{max} * (CLF) \quad (13.3.7.1.5)$$

όπου: q = ψυκτικό φορτίο, W

A = καθαρή επιφάνεια υαλοπίνακος, m^2

SC = συντελεστής σκίασης που αντιστοιχεί στον συνδυασμό τύπου υαλοπίνακος με τον τύπο σκίασης

$(SHGF)_{max}$ = μέγιστος παράγων ηλιακού θερμικού κέρδους για τον προσανατολισμό του υαλοπίνακος, τον μήνα και το γεωγραφικό πλάτος. Εάν ο υαλοπίνακος σκιάζεται εξωτερικά, τότε για γεωγραφ. Πλάτη 0° - 24° γίνεται χρήση από τον αντίστοιχο παρακάτω πίνακα, ενώ για γεωγρ. πλάτη μεγαλύτερα των 24° λαμβάνονται οι τιμές βορείου προσανατολισμού του αντίστοιχου πίνακα. Για οριζόντιο υαλοπίνακα υπό σκιά, λαμβάνονται οι τιμές του αντίστοιχου πίνακα, ανεξαρτήτων γεωγραφικού πλάτους.

CLF = παράγων ψυκτικού φορτίου. Για υαλοπίνακα χωρίς εσωτερική σκίαση, οι τιμές του CLF δίνονται στον παρακάτω πίνακα, ο οποίος λαμβάνει υπ'όψιν και τον τύπο της εσωτερικής κατασκευής του χώρου (L = ελαφρά κατασκευή, M = μέση, H = βαρεία). Για υαλοπίνακα με εσωτερική σκίαση ο CLF λαμβάνεται από τον αντίστοιχο πίνακα.

Το συνολικό ψυκτικό φορτίο υαλοπίνακος, $q_{\text{υαλ}}$ σε W , είναι το άθροισμα του ψυκτικού φορτίου λόγω θερμικού κέρδους δι'αγωγής και του ψυκτικού φορτίου λόγω ηλιακού θερμικού κέρδους, δηλαδή:

$$q_{\text{αλ}} = U * A * (CLTD) + A * (SC) * (SHGF)_{\text{max}} * (CLF) \quad (13.3.7.1.6)$$

Θεωρούμε νότιο υαλοπίνακα εμβαδού 15m^2 , $\Phi=38^\circ$, $(SHGF)_{\text{max}}=(795+801)/2=798\text{W/m}^2$, $SC=0,2$ και $U= 2\text{W/m}^2\text{C}$

13.3.7.2. Θεωρητικός υπολογισμός ψυκτικού φορτίου λόγω φωτισμού

Η ακτινοβολία που προέρχεται από τον ηλεκτροφωτισμό ενός χώρου απορροφάται από τους τοίχους, το δάπεδο και την επίπλωση με αποτέλεσμα την θέρμανση αυτών. Όταν η θερμοκρασία των γίνει μεγαλύτερη από την θερμοκρασία αέρος του χώρου, τότε μέρος της θερμότητας αυτών μεταφέρεται διά συναγωγής στον αέρα. Συνεπώς η απορροφηθείσα ενέργεια, η οποία αποθηκεύεται στα δομικά στοιχεία, επιδρά στο ψυκτικό φορτίο αφού περάσει κάποιο χρονικό διάστημα και μάλιστα η επίδραση αυτή υφίσταται και μετά την διακοπή του φωτισμού.

Το στιγμιαίο θερμικό κέρδος, HG σε W , λόγω ηλεκτροφωτισμού υπολογίζεται από τη σχέση:

$$HG = P * f_u * f_s \quad (13.3.7.2.1)$$

όπου : $P =$ ηλεκτρική ισχύς όλων των εγκατεστημένων φωτιστικών στον χώρο, W

$f_u =$ συντελεστής χρήσης, δηλαδή το κλάσμα των εγκατεστημένων φωτιστικών που είναι εν λειτουργία υπό τις συνθήκες του υπολογισμού

$f_s =$ ειδικός συντελεστής, ο οποίος έχει εισαχθεί για τους λαμπτήρες φθορισμού και για ειδικούς τύπους φωτιστικών που απαιτούν περισσότερη ενέργεια από την ονομαστική. Συνήθεις τιμές: $f_s=1$ για λαμπτήρες πυρακτώσεως και $f_s=1,2$ για λαμπτήρες φθορισμού.

Ύστερα από πειραματική και αναλυτική μελέτη της επίδρασης επί του ψυκτικού φορτίου των διαφόρων παραμέτρων (π.χ. Του είδους και θέσης φωτιστικού, του αερισμού του χώρου, του είδους επίπλωσης και των θερμικών χαρακτηριστικών των υλικών του χώρου) εισήχθει ο παράγων ψυκτικού φορτίου. Έτσι το ψυκτικό φορτίο υπολογίζεται από την σχέση:

$$q = (HG) * (CLF) \quad (13.3.7.2.2)$$

όπου: q = ψυκτικό φορτίο λόγω ηλεκτροφωτισμού, W
 HG = θερμικό κέρδος λόγω ηλεκτροφωτισμού, W

CLF = παράγων ψυκτικού φορτίου. Λαμβάνεται από τον παρακάτω πίνακα αφού πρώτα καθορισθούν οι τιμές των παραμέτρων a και b από τους αντίστοιχους πίνακες. Αν η κλιματιστική εγκατάσταση λειτουργεί μόνο κατά τις ώρες λειτουργίας του κτηρίου, πρέπει να ληφθεί $CLF=1$. Αν ο φωτισμός λειτουργεί επί 24ώρου βάσης, τότε $CLF=1$.

Θεωρούμε ότι η ηλεκτρική ισχύς όλων των εγκατεστημένων φωτιστικών στον χώρο είναι $P=2500W$, $f_u=1$, $f_s=1,2$ (έχουμε λάμπες φθορισμού), $a=0,65$, $b=C$ και τέλος θεωρούμε ότι ο φωτισμός λειτουργεί για 8 ώρες από τις 07:00 έως τις 15:00

13.3.7.3. Θεωρητικός υπολογισμός ψυκτικού φορτίου από ανθρώπους

Ο ρυθμός με τον οποίο το ανθρώπινο σώμα αποδίδει θερμότητα και υγρασία, εξαρτάται από τον βαθμό δραστηριότητας (είδος εργασίας), το είδος της ενδυμασίας και τις συνθήκες του περιβάλλοντος. Στον παρακάτω πίνακα δίνεται το αισθητό και το λανθάνον θερμικό κέρδος ανά άτομο, για διάφορες συνθήκες περιπτώσεις.

Το λανθάνον θερμικό κέρδος θεωρείται ως στιγμιαίο ψυκτικό φορτίο. Αντίθετα το αισθητό θερμικό κέρδος δεν μετατρέπεται ολόκληρο, αμέσως σε ψυκτικό φορτίο διότι το μεγαλύτερο μέρος αυτού (σχεδόν το 70%) που αποδίδεται υπό μορφή ακτινοβολίας, απορροφάται πρώτα από το περίβλημα του χώρου και μεταφέρεται διά συναγωγής στον χώρο ύστερα από κάποιο χρονικό διάστημα. Συνεπώς για την μετατροπή του αισθητού θερμικού κέρδους σε ψυκτικό φορτίο, γίνεται χρήση του παράγοντος ψυκτικού φορτίου, όπως και σε προηγούμενες περιπτώσεις

Σύμφωνα με τα παραπάνω, το λανθάνον και το αισθητό ψυκτικό φορτίο υπολογίζονται από τις σχέσεις:

$$q_l = N * (HG)l \quad (13.3.7.3.1)$$

$$q_s = N * (HG)s * (CLF) \quad (13.3.7.3.2)$$

όπου: q_l , q_s = λανθάνον και αισθητό ψυκτικό φορτίο, αντιστοίχως, W

$(HG)l$, $(HG)s$ = λανθάνον και αισθητό θερμικό κέρδος, αντιστοίχως, ανά άτομο, W . Λαμβάνεται από τους παρακάτω πίνακες ανάλογο με τον βαθμό δραστηριότητας.

$N = \text{πλήθος ατόμων στον χώρο, } N=10$

$CLF = \text{παράγων ψυκτικού φορτίου. Λαμβάνεται από τον παρακάτω πίνακα. Αν η ψυκτική εγκατάσταση δεν λειτουργεί επί 24ώρου βάσης(π.χ. Νυχτερινή διακοπή), τότε λαμβάνεται } CLF= 1 \text{ σε περιπτώσεις χώρων με μεγάλη πυκνότητα ατόμων (π.χ. Θέατρα).}$

13.3.7.4. Θεωρητικός υπολογισμός ψυκτικού φορτίου λόγω ανανέωσης και διείσδυσης αέρος

Ανανέωση του αέρος χώρου είναι η ηθελημένη προσαγωγή αέρος εξωτερικού περιβάλλοντος στον κλιματιζόμενο χώρο, αμέσως ή μέσω της κλιματιστικής συσκευής, ενώ διείσδυση είναι η είσοδος του εξωτερικού αέρα από τα διάκενα θυρών και παραθύρων ή κατά το άνοιγμα των θυρών. Εάν η επικρατούσα υπερπίεση στον κλιματιζόμενο χώρο είναι επαρκής ώστε να αντισταθμίσει την πίεση του εξωτερικού ανέμου στα διάκενα των κουφωμάτων, τότε η διείσδυση αέρος μηδενίζεται.

Μέθοδος υπολογισμού της ποσότητας αέρος ποικίλουν, ανάλογα με την περίπτωση. Συνήθεις τιμές ανά άτομο είναι:

- 2,5 – 3,5 (L/s)/άτομο, για χώρους χωρίς κάπνισμα
- 12-20(L/s)/άτομο, για χώρους με κάπνισμα

ενώ ακραίες τιμές που συναντώνται σε ειδικές περιπτώσεις είναι:

- 0,5(L/s)/άτομο, π.χ. Σε υποβρύχιο
- 6-20 αλλαγές αέρος ανά ώρα, π.χ. Σε αίθουσα χειρουργείου

Κατά την πρόσδοση θερμότητας σε ένα χώρο λόγω ανανέωσης ή διείσδυσης αέρος, το ψυκτικό φορτίο ταυτίζεται με το θερμικό κέρδος διότι η προσδιδόμενη θερμότης παραλαμβάνεται αμέσως από τον αέρα του χώρου.

Για υπολογισμούς υπό συνήθεις συνθήκες και κανονική ατμοσφαιρική πίεση (101,325kPa, υψόμετρο 0) γίνεται χρήση των παρακάτω προσεγγιστικών σχέσεων:

$$qs = 1,23 * Q * (\Delta t) \quad (13.3.7.4.1)$$

$$ql = 3010 * Q * (\Delta W) \quad (13.3.7.4.2)$$

όπου : qs , $ql = \text{αισθητό, λανθάνον ψυκτικό φορτίο, } W$

$Q = \text{παροχή εξωτερικού αέρος, } L/s$

$\Delta t =$ διαφορά θερμοκρασίας μεταξύ εισερχόμενου και εξερχόμενου αέρος, °C

$\Delta W =$ διαφορά λόγου υγρασίας μεταξύ του εισερχόμενου και του εξερχόμενου αέρος, kg υγρασίας / kg ξ.α.

Οι παραπάνω σχέσεις χρησιμοποιούνται για τον υπολογισμό του ψυκτικού φορτίου λόγω διείσδυσης εξωτερικού αέρος καθώς επίσης και λόγω ανανέωσης, υπό τον όρο ότι ο εξωτερικός αέρας προσάγεται κατ'ευθείαν στον χώρο. Αν η προσαγωγή γίνεται μέσω της κλιματιστικής συσκευής, τότε το φορτίο λαμβάνεται υπόψη σαν φορτίο ψυκτικού στοιχείου.

Θεωρούμε ότι στο νοσοκομείο βρίσκονται 10 άτομα. Η παροχή του εξωτερικού αέρα είναι $Q = 10 \text{lt/s} \cdot \text{άτομα} = 10 \cdot 10 = 100 \text{lt/s}$. Τέλος η επικρατούσα θερμοκρασία στο νοσοκομείο είναι $T_{in} = 20^\circ\text{C}$.

13.4. Πειραματικό μέρος υπολογισμού θερμότητας

13.4.1. Υπολογισμός του ψυκτικού φορτίου του ναλοπίνακα

ΠΙΝΑΚΑΣ 13.4.1.1: ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΤΟΥ ΨΥΚΤΙΚΟΥ ΦΟΡΤΙΟΥ ΠΟΥ ΑΝΤΙΣΤΟΙΧΕΙ ΣΤΟ ΘΕΡΜΙΚΟ ΚΕΡΔΟΣ ΔΙ'ΑΓΩΓΗΣ

H	CLTD	T _R	T _O	CLTD _{CORR}	q θερμικο(W)	q total (W/m2)
1	1	20	8,24	-14,66	-439,84	-29,32
2	0	20	7,83	-16,07	-482,01	-32,13
3	-1	20	7,47	-17,43	-522,83	-34,86
4	-1	20	7,22	-17,68	-530,37	-35,36
5	-1	20	7,1	-17,8	-533,87	-35,59
6	-1	20	7,13	-17,77	-533,24	-35,55
7	-1	20	7,3	-17,6	-528,1	-35,21
8	0	20	7,66	-16,24	-487,28	-32,49
9	1	20	8,26	-14,64	-439,27	-29,28
10	2	20	9,12	-12,78	-383,52	-25,57
11	4	20	10,17	-9,73	-291,88	-19,46
12	5	20	11,26	-7,64	-229,12	-15,27
13	7	20	12,17	-4,73	-141,91	-9,46
14	7	20	12,68	-4,22	-126,6	-8,44
15	8	20	12,68	-3,22	-96,65	-6,44
16	8	20	12,2	-3,7	-111,09	-7,41
17	7	20	11,41	-5,49	-164,8	-10,99
18	7	20	10,55	-6,35	-190,58	-12,71
19	6	20	9,83	-8,07	-242,06	-16,14
20	4	20	9,37	-10,53	-316,03	-21,07
21	3	20	9,13	-11,77	-353,15	-23,54
22	2	20	9	-12,9	-386,88	-25,79
23	2	20	8,86	-13,04	-391,26	-26,08
24	1	20	8,61	-14,29	-428,84	-28,59

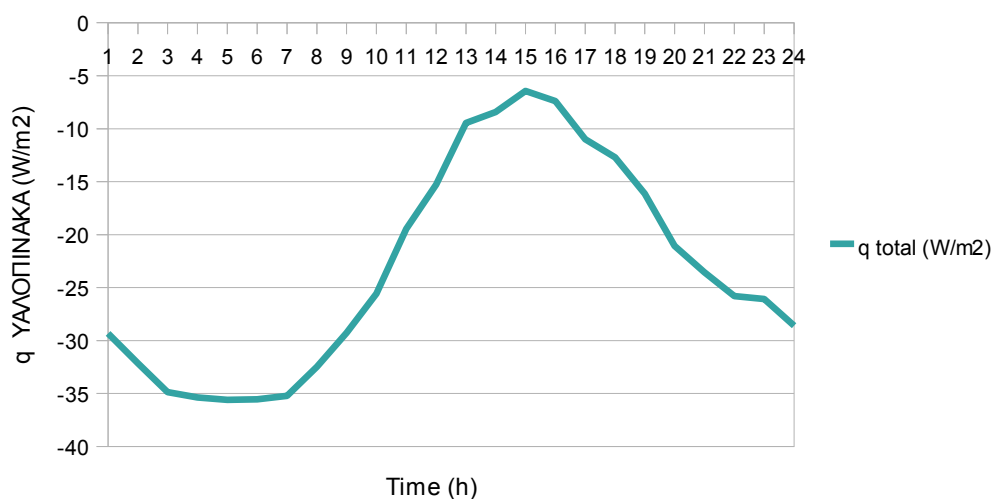
ΠΙΝΑΚΑΣ 13.4.1.2.: ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΤΟΥ ΨΥΚΤΙΚΟΥ ΦΟΡΤΙΟΥ ΠΟΥ ΑΝΤΙΣΤΟΙΧΕΙ ΣΤΗΝ ΗΛΙΑΚΗ ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑ

H	SC	CLF	(SHGF)_{max}	q ηλιακή ακτινοβ
1	0,2	0,04	798	95,76
2	0,2	0,04	798	95,76
3	0,2	0,03	798	71,82
4	0,2	0,03	798	71,82
5	0,2	0,03	798	71,82
6	0,2	0,09	798	215,46
7	0,2	0,16	798	383,04
8	0,2	0,23	798	550,62
9	0,2	0,38	798	909,72
10	0,2	0,58	798	1388,52
11	0,2	0,75	798	1795,5
12	0,2	0,83	798	1987,02
13	0,2	0,8	798	1915,2
14	0,2	0,68	798	1627,92
15	0,2	0,5	798	1197
16	0,2	0,35	798	837,9
17	0,2	0,27	798	646,38
18	0,2	0,19	798	454,86
19	0,2	0,11	798	263,34
20	0,2	0,09	798	215,46
21	0,2	0,08	798	191,52
22	0,2	0,07	798	167,58
23	0,2	0,06	798	143,64
24	0,2	0,05	798	119,7

Στο υπολογιστικό τμήμα έγινε μια προσέγγιση του ψυκτικού φορτίου του υαλοπίνακα που αντιστοιχεί στην ηλιακή ακτινοβολία. Παρ'όλα αυτά για τον υπολογισμό του συνολικού ψυκτικού φορτίου του υαλοπίνακα και κατ'επέκταση του συνολικού ψυκτικού φορτίου θα θεωρήσουμε αμεληταία την τιμή του ψυκτικού φορτίου του υαλοπίνακα που αντιστοιχεί στην ηλιακή ακτινοβολία

ΠΙΝΑΚΑΣ 13.4.1.3: ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΤΟΥ ΣΥΝΟΛΙΚΟΥ ΨΥΚΤΙΚΟΥ ΦΟΡΤΙΟΥ ΤΟΥ ΥΑΛΟΠΙΝΑΚΑ

q θερμικο(W)	q total (W/m2)
-439,84	-29,32
-482,01	-32,13
-522,83	-34,86
-530,37	-35,36
-533,87	-35,59
-533,24	-35,55
-528,1	-35,21
-487,28	-32,49
-439,27	-29,28
-383,52	-25,57
-291,88	-19,46
-229,12	-15,27
-141,91	-9,46
-126,6	-8,44
-96,65	-6,44
-111,09	-7,41
-164,8	-10,99
-190,58	-12,71
-242,06	-16,14
-316,03	-21,07
-353,15	-23,54
-386,88	-25,79
-391,26	-26,08
-428,84	-28,59

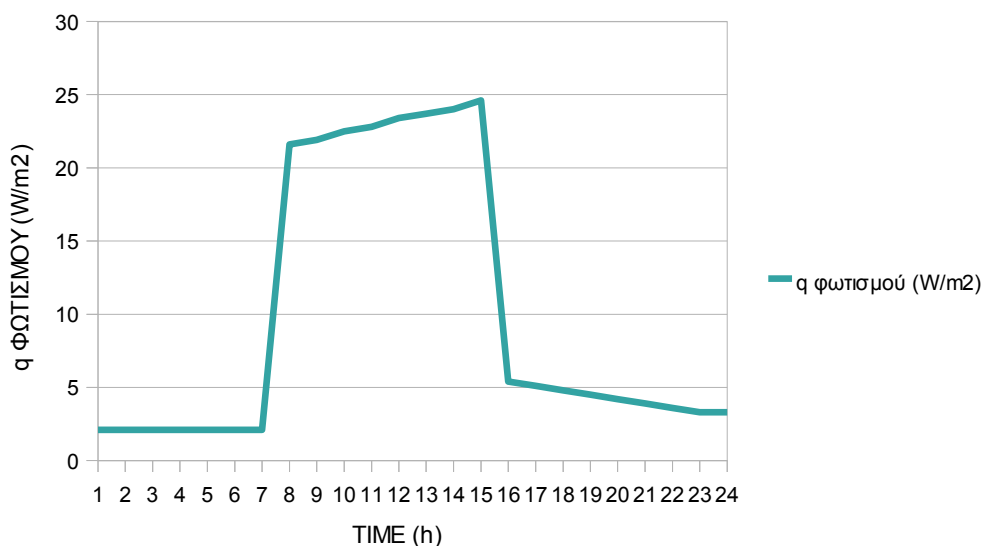


ΕΙΚΟΝΑ 13.4.1.1: ΨΥΚΤΙΚΟ ΦΟΡΤΙΟ ΥΑΛΟΠΙΝΑΚΑ

13.4.2. Υπολογισμός του ψυκτικού φορτίου του φωτισμού

ΠΙΝΑΚΑΣ 13.4.2.1: ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΤΟΥ ΨΥΚΤΙΚΟΥ ΦΟΡΤΙΟΥ ΦΩΤΙΣΜΟΥ

H	HG	ωρες που είναι ανοιχτά τα φώτα	CLF	q φωτισμού (W)	q φωτισμού (W/m ²)
1	3000	0	0,07	210	2,1
2	3000	0	0,07	210	2,1
3	3000	0	0,07	210	2,1
4	3000	0	0,07	210	2,1
5	3000	0	0,07	210	2,1
6	3000	0	0,07	210	2,1
7	3000	0	0,07	210	2,1
8	3000	1	0,72	2160	21,6
9	3000	2	0,73	2190	21,9
10	3000	3	0,75	2250	22,5
11	3000	4	0,76	2280	22,8
12	3000	5	0,78	2340	23,4
13	3000	6	0,79	2370	23,7
14	3000	7	0,8	2400	24
15	3000	8	0,82	2460	24,6
16	3000	9	0,18	540	5,4
17	3000	10	0,17	510	5,1
18	3000	11	0,16	480	4,8
19	3000	12	0,15	450	4,5
20	3000	13	0,14	420	4,2
21	3000	14	0,13	390	3,9
22	3000	15	0,12	360	3,6
23	3000	16	0,11	330	3,3
24	3000	17	0,11	330	3,3



ΕΙΚΟΝΑ 13.4.2.1: ΨΥΚΤΙΚΟ ΦΟΡΤΙΟ ΦΩΤΙΣΜΟΥ

13.4.3. Υπολογισμός του ψυκτικού φορτίου της ανανέωσης αέρα

ΠΙΝΑΚΑΣ 13.4.3.1: ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΤΟΥ ΑΙΣΘΗΤΟΥ ΨΥΚΤΙΚΟΥ ΦΟΡΤΙΟΥ

H	T _o	ΔT	qs(W)	qs(W/m ²)
1	8,24	11,76	1446,66	14,47
2	7,83	12,17	1496,52	14,97
3	7,47	12,53	1540,89	15,41
4	7,22	12,78	1571,82	15,72
5	7,1	12,9	1586,19	15,86
6	7,13	12,87	1583,58	15,84
7	7,3	12,7	1562,5	15,62
8	7,66	12,34	1518,14	15,18
9	8,26	11,74	1444,29	14,44
10	9,12	10,88	1338,71	13,39
11	10,17	9,83	1209	12,09
12	11,26	8,74	1074,67	10,75
13	12,17	7,83	963,13	9,63
14	12,68	7,32	900,37	9
15	12,68	7,32	900,58	9,01
16	12,2	7,8	959,78	9,6
17	11,41	8,59	1056,97	10,57
18	10,55	9,45	1162,68	11,63
19	9,83	10,17	1250,76	12,51
20	9,37	10,63	1308,03	13,08
21	9,13	10,87	1337,22	13,37
22	9	11	1352,49	13,52
23	8,86	11,14	1370,46	13,7
24	8,61	11,39	1401,56	14,02

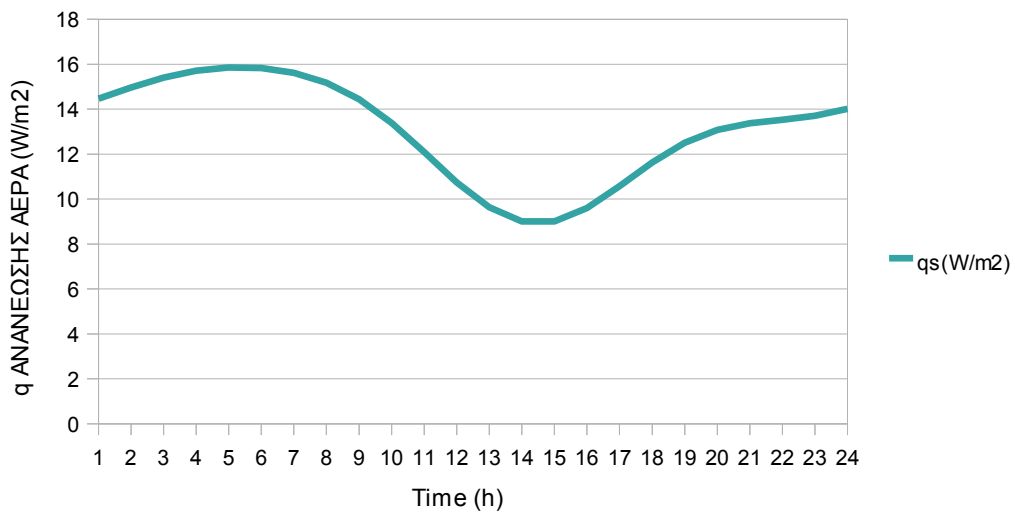
Παρακάτω θα υπολογίσουμε το λανθάνον ψυκτικό φορτίο λόγω της ανανέωσης του αέρα. Παρ'όλα αυτά για τον υπολογισμό του συνολικού ψυκτικού φορτίου θα θεωρήσουμε αμεληταία την τιμή που προκύπτει από το λανθάνον ψυκτικό φορτίο.

ΠΙΝΑΚΑΣ 13.4.3.2.: ΥΠΟΛΟΓΙΖΟΥΜΕ ΤΟ ΛΑΝΘΑΝΟΝ ΨΥΚΤΙΚΟ ΦΟΡΤΙΟ

H	Δw	Q	qI(W)
1	0,02	100	6020
2	0,02	100	6020
3	0,02	100	6020
4	0,02	100	6020
5	0,02	100	6020
6	0,02	100	6020
7	0,02	100	6020
8	0,02	100	6020
9	0,02	100	6020
10	0,02	100	6020
11	0,02	100	6020
12	0,02	100	6020
13	0,02	100	6020
14	0,02	100	6020
15	0,02	100	6020
16	0,02	100	6020
17	0,02	100	6020
18	0,02	100	6020
19	0,02	100	6020
20	0,02	100	6020
21	0,02	100	6020
22	0,02	100	6020
23	0,02	100	6020
24	0,02	100	6020

ΠΙΝΑΚΑΣ 13.4.3.3: ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΤΟΥ ΟΛΙΚΟΥ ΨΥΚΤΙΚΟΥ ΦΟΡΤΙΟΥ ΑΠΟ ΑΝΑΝΕΩΣΗ ΑΕΡΑ

H	qs(W/m2)= q total
1	14,47
2	14,97
3	15,41
4	15,72
5	15,86
6	15,84
7	15,62
8	15,18
9	14,44
10	13,39
11	12,09
12	10,75
13	9,63
14	9
15	9,01
16	9,6
17	10,57
18	11,63
19	12,51
20	13,08
21	13,37
22	13,52
23	13,7
24	14,02



ΕΙΚΟΝΑ 13.4.3.1: ΨΥΚΤΙΚΟ ΦΟΡΤΙΟ ΑΠΟ ΑΝΑΝΕΩΣΗ ΑΕΡΑ

13.4.4. Υπολογισμός του ψυκτικού φορτίου από ανθρώπους

ΠΙΝΑΚΑΣ 13.4.4.1: ΥΠΟΛΟΓΙΖΟΥΜΕ ΤΟ ΛΑΝΘΑΝΟΝ ΨΥΚΤΙΚΟ ΦΟΡΤΙΟ ΑΠΟ ΑΝΘΡΩΠΟΥΣ

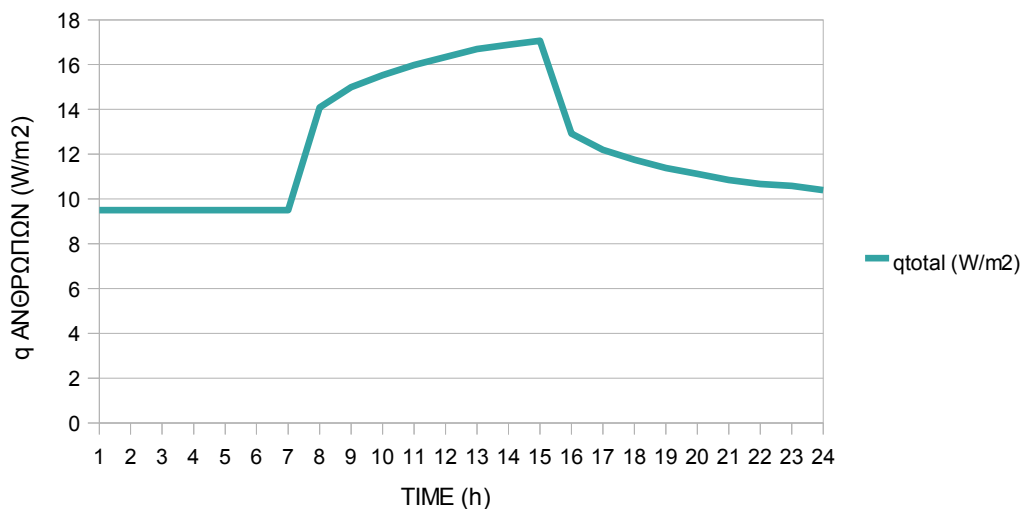
H	N	(HG)I	qI (W)
1	10	95	950
2	10	95	950
3	10	95	950
4	10	95	950
5	10	95	950
6	10	95	950
7	10	95	950
8	10	95	950
9	10	95	950
10	10	95	950
11	10	95	950
12	10	95	950
13	10	95	950
14	10	95	950
15	10	95	950
16	10	95	950
17	10	95	950
18	10	95	950
19	10	95	950
20	10	95	950
21	10	95	950
22	10	95	950
23	10	95	950
24	10	95	950

ΠΙΝΑΚΑΣ 13.4.4.2: ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΤΟΥ ΑΙΣΘΗΤΟΥ ΨΥΚΤΙΚΟΥ ΦΟΡΤΙΟΥ

H	N	(HG)s	ωρες	μετα την εισοδο	CLF	qs (W)
1	10	90		0	0	0
2	10	90		0	0	0
3	10	90		0	0	0
4	10	90		0	0	0
5	10	90		0	0	0
6	10	90		0	0	0
7	10	90		0	0	0
8	10	90		1	0,51	459
9	10	90		2	0,61	549
10	10	90		3	0,67	603
11	10	90		4	0,72	648
12	10	90		5	0,76	684
13	10	90		6	0,8	720
14	10	90		7	0,82	738
15	10	90		8	0,84	756
16	10	90		9	0,38	342
17	10	90		10	0,3	270
18	10	90		11	0,25	225
19	10	90		12	0,21	189
20	10	90		13	0,18	162
21	10	90		14	0,15	135
22	10	90		15	0,13	117
23	10	90		16	0,12	108
24	10	90		17	0,1	90

ΠΙΝΑΚΑΣ 13.4.4.3: ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΤΟΥ ΟΛΙΚΟΥ ΨΥΚΤΙΚΟΥ ΦΟΡΤΙΟΥ ΑΠΟ ΑΝΘΡΩΠΟΥΣ

qtotal (W)	qtotal (W/m2)
950	9,5
950	9,5
950	9,5
950	9,5
950	9,5
950	9,5
950	9,5
1409	14,09
1499	14,99
1553	15,53
1598	15,98
1634	16,34
1670	16,7
1688	16,88
1706	17,06
1292	12,92
1220	12,2
1175	11,75
1139	11,39
1112	11,12
1085	10,85
1067	10,67
1058	10,58
1040	10,4

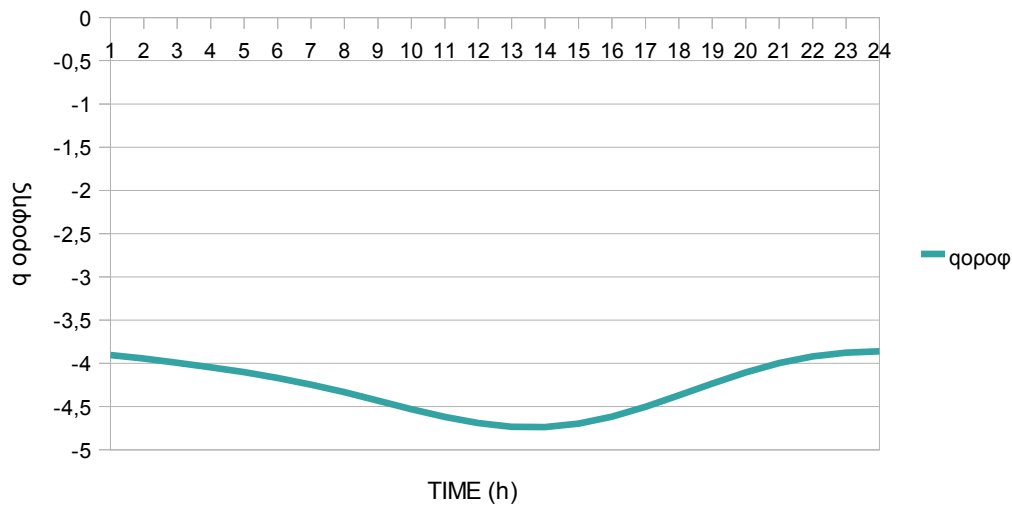


ΕΙΚΟΝΑ 13.4.4.1: ΟΛΙΚΟ ΨΥΚΤΙΚΟ ΦΟΡΤΙΟ ΑΠΟ ΑΝΘΡΩΠΟΥΣ

13.4.5. Υπολογισμός ψυκτικού φορτίου από την οροφή

ΠΙΝΑΚΑΣ 13.4.5.1: ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΤΟΥ ΨΥΚΤΙΚΟΥ ΦΟΡΤΙΟΥ ΑΠΟ ΟΡΟΦΗ

H	$A1\cos[2\pi(t-1)/25]$	$A2\cos[4\pi(t-1)/25]$	$B1\sin[2\pi(t-1)/25]$	$B2\sin[4\pi(t-1)/25]$	M	$K(26-T_{in})$	qοροφ
1	0,42	-0,06	0	0	-6,937	2,68	-3,9
2	0,4	-0,05	-0,02	-0,02	-6,937	2,68	-3,95
3	0,37	-0,03	-0,03	-0,03	-6,937	2,68	-3,99
4	0,3	0	-0,05	-0,04	-6,937	2,68	-4,04
5	0,22	0,03	-0,06	-0,04	-6,937	2,68	-4,1
6	0,13	0,05	-0,06	-0,02	-6,937	2,68	-4,17
7	0,03	0,06	-0,07	0	-6,937	2,68	-4,25
8	-0,08	0,06	-0,07	0,01	-6,937	2,68	-4,33
9	-0,18	0,04	-0,06	0,03	-6,937	2,68	-4,43
10	-0,27	0,01	-0,05	0,04	-6,937	2,68	-4,53
11	-0,34	-0,02	-0,04	0,04	-6,937	2,68	-4,62
12	-0,39	-0,04	-0,02	0,03	-6,937	2,68	-4,69
13	-0,41	-0,06	-0,01	0,01	-6,937	2,68	-4,73
14	-0,41	-0,06	0,01	-0,01	-6,937	2,68	-4,74
15	-0,39	-0,04	0,02	-0,03	-6,937	2,68	-4,7
16	-0,34	-0,02	0,04	-0,04	-6,937	2,68	-4,62
17	-0,27	0,01	0,05	-0,04	-6,937	2,68	-4,5
18	-0,18	0,04	0,06	-0,03	-6,937	2,68	-4,37
19	-0,08	0,06	0,07	-0,01	-6,937	2,68	-4,23
20	0,03	0,06	0,07	0	-6,937	2,68	-4,1
21	0,13	0,05	0,06	0,02	-6,937	2,68	-4
22	0,22	0,03	0,06	0,04	-6,937	2,68	-3,92
23	0,3	0	0,05	0,04	-6,937	2,68	-3,88
24	0,37	-0,03	0,03	0,03	-6,937	2,68	-3,86

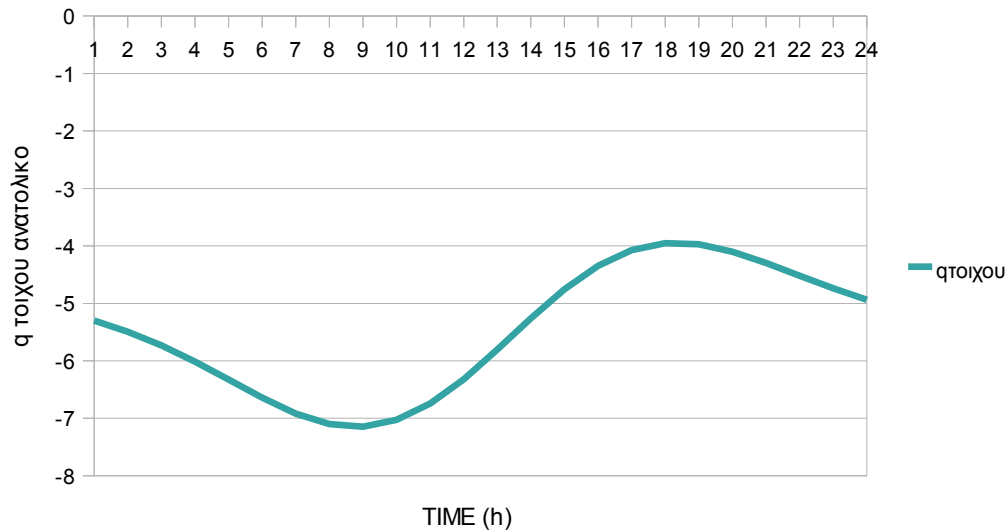


ΕΙΚΟΝΑ 13.4.5.1: ΨΥΚΤΙΚΟ ΦΟΡΤΙΟ ΟΡΟΦΗΣ

13.4.6. Υπολογισμός ψυκτικού φορτίου από τον ανατολικό τοίχο

ΠΙΝΑΚΑΣ 13.4.6.1.: ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΤΟΥ ΨΥΚΤΙΚΟΥ ΦΟΡΤΙΟΥ ΑΠΟ ΤΟΝ ΑΝΑΤΟΛΙΚΟ ΤΟΙΧΟ

H	$A1\cos[2\pi(t-1)/25]$	$A2\cos[4\pi(t-1)/25]$	$B1\sin[2\pi(t-1)/25]$	$B2\sin[4\pi(t-1)/25]$	M	K(26-Tin)	qροίχου
1	0,12	0,05	0	0	-09,366	3,9	-5,3
2	0,11	0,05	-0,36	0,17	-09,366	3,9	-5,5
3	0,1	0,03	-0,7	0,31	-09,366	3,9	-5,73
4	0,08	0	-1	0,36	-09,366	3,9	-6,01
5	0,06	-0,02	-1,23	0,33	-09,366	3,9	-6,33
6	0,04	-0,04	-1,38	0,21	-09,366	3,9	-6,64
7	0,01	-0,05	-1,45	0,05	-09,366	3,9	-6,92
8	-0,02	-0,05	-1,43	-0,13	-09,366	3,9	-7,1
9	-0,05	-0,03	-1,32	-0,28	-09,366	3,9	-7,15
10	-0,07	-0,01	-1,12	-0,36	-09,366	3,9	-7,03
11	-0,09	0,02	-0,86	-0,34	-09,366	3,9	-6,75
12	-0,11	0,04	-0,54	-0,25	-09,366	3,9	-6,32
13	-0,12	0,05	-0,18	-0,09	-09,366	3,9	-5,81
14	-0,12	0,05	0,18	0,09	-09,366	3,9	-5,26
15	-0,11	0,04	0,53	0,25	-09,366	3,9	-4,76
16	-0,09	0,02	0,85	0,34	-09,366	3,9	-4,35
17	-0,07	-0,01	1,12	0,36	-09,366	3,9	-4,07
18	-0,05	-0,03	1,32	0,28	-09,366	3,9	-3,95
19	-0,02	-0,05	1,43	0,13	-09,366	3,9	-3,97
20	0,01	-0,05	1,45	-0,04	-09,366	3,9	-4,1
21	0,04	-0,04	1,39	-0,21	-09,366	3,9	-4,3
22	0,06	-0,02	1,23	-0,33	-09,366	3,9	-4,52
23	0,08	0	1	-0,36	-09,366	3,9	-4,74
24	0,1	0,03	0,71	-0,31	-09,366	3,9	-4,94

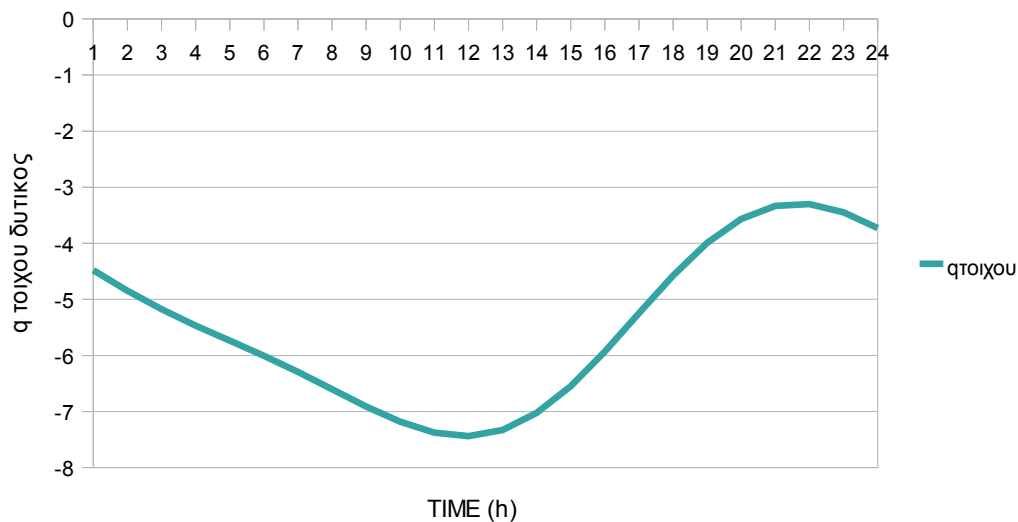


ΕΙΚΟΝΑ 13.4.6.1: ΨΥΚΤΙΚΟ ΦΟΡΤΙΟ ΑΠΟ ΤΟΝ ΑΝΑΤΟΛΙΚΟ ΤΟΙΧΟ

13.4.7. Υπολογισμός ψυκτικού φορτίου από τον δυτικό τοίχο

ΠΙΝΑΚΑΣ 13.4.7.1: ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΤΟΥ ΨΥΚΤΙΚΟΥ ΦΟΡΤΙΟΥ ΑΠΟ ΤΟΝ ΔΥΤΙΚΟ ΤΟΙΧΟ

H	$A1\cos[2\pi(t-1)/25]$	$A2\cos[4\pi(t-1)/25]$	$B1\sin[2\pi(t-1)/25]$	$B2\sin[4\pi(t-1)/25]$	M	$K(26-T_{in})$	q τοίχου
1	1,36	-0,41	0	0	-09,325	3,9	-4,48
2	1,32	-0,36	-0,34	-0,04	-09,325	3,9	-4,85
3	1,19	-0,22	-0,65	-0,07	-09,325	3,9	-5,18
4	0,99	-0,03	-0,93	-0,08	-09,325	3,9	-5,47
5	0,73	0,18	-1,15	-0,07	-09,325	3,9	-5,74
6	0,42	0,33	-1,29	-0,05	-09,325	3,9	-6,01
7	0,09	0,41	-1,36	-0,01	-09,325	3,9	-6,3
8	-0,25	0,39	-1,34	0,03	-09,325	3,9	-6,6
9	-0,58	0,26	-1,23	0,06	-09,325	3,9	-6,91
10	-0,87	0,08	-1,05	0,08	-09,325	3,9	-7,18
11	-1,1	-0,13	-0,8	0,07	-09,325	3,9	-7,38
12	-1,26	-0,3	-0,5	0,05	-09,325	3,9	-7,44
13	-1,35	-0,4	-0,17	0,02	-09,325	3,9	-7,33
14	-1,35	-0,4	0,17	-0,02	-09,325	3,9	-7,03
15	-1,27	-0,3	0,5	-0,05	-09,325	3,9	-6,55
16	-1,1	-0,13	0,8	-0,07	-09,325	3,9	-5,93
17	-0,87	0,08	1,05	-0,08	-09,325	3,9	-5,25
18	-0,58	0,26	1,23	-0,06	-09,325	3,9	-4,58
19	-0,26	0,38	1,34	-0,03	-09,325	3,9	-3,99
20	0,08	0,41	1,36	0,01	-09,325	3,9	-3,56
21	0,42	0,34	1,29	0,05	-09,325	3,9	-3,33
22	0,73	0,18	1,15	0,07	-09,325	3,9	-3,3
23	0,99	-0,02	0,93	0,08	-09,325	3,9	-3,45
24	1,19	-0,22	0,66	0,07	-09,325	3,9	-3,73

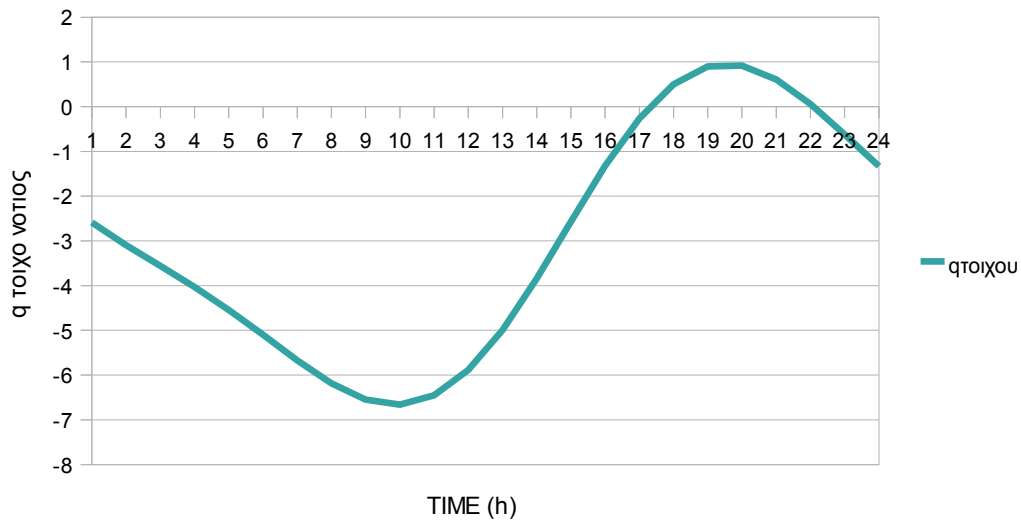


ΕΙΚΟΝΑ 13.4.7.1: ΨΥΚΤΙΚΟ ΦΟΡΤΙΟ ΑΠΟ ΤΟΝ ΔΥΤΙΚΟ ΤΟΙΧΟ

13.4.8. Υπολογισμός ψυκτικού φορτίου από τον νότιο τοίχο

ΠΙΝΑΚΑΣ 13.4.8.1: ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΤΟΥ ΨΥΚΤΙΚΟΥ ΦΟΡΤΙΟΥ ΑΠΟ ΤΟΝ ΝΟΤΙΟ ΤΟΙΧΟ

H	$A1\cos[2\pi(t-1)/25]$	$A2\cos[4\pi(t-1)/25]$	$B1\sin[2\pi(t-1)/25]$	$B2\sin[4\pi(t-1)/25]$	M	$K(26-T_{in})$	q τοίχου
1	0,92	-0,54	0	0	-06,870	3,9	-2,59
2	0,89	-0,47	-0,84	0,29	-06,870	3,9	-3,09
3	0,81	-0,29	-1,63	0,52	-06,870	3,9	-3,56
4	0,67	-0,03	-2,31	0,61	-06,870	3,9	-4,03
5	0,49	0,23	-2,85	0,55	-06,870	3,9	-4,54
6	0,29	0,44	-3,21	0,36	-06,870	3,9	-5,1
7	0,06	0,53	-3,37	0,08	-06,870	3,9	-5,67
8	-0,17	0,5	-3,32	-0,22	-06,870	3,9	-6,18
9	-0,39	0,34	-3,06	-0,47	-06,870	3,9	-6,54
10	-0,59	0,1	-2,6	-0,6	-06,870	3,9	-6,66
11	-0,75	-0,17	-1,99	-0,58	-06,870	3,9	-6,45
12	-0,86	-0,39	-1,25	-0,42	-06,870	3,9	-5,89
13	-0,91	-0,52	-0,43	-0,15	-06,870	3,9	-4,99
14	-0,91	-0,52	0,42	0,15	-06,870	3,9	-3,84
15	-0,86	-0,39	1,24	0,42	-06,870	3,9	-2,57
16	-0,75	-0,17	1,98	0,58	-06,870	3,9	-1,33
17	-0,59	0,1	2,6	0,6	-06,870	3,9	-0,26
18	-0,39	0,34	3,05	0,47	-06,870	3,9	0,5
19	-0,17	0,5	3,31	0,23	-06,870	3,9	0,9
20	0,06	0,54	3,37	-0,07	-06,870	3,9	0,92
21	0,28	0,44	3,21	-0,36	-06,870	3,9	0,61
22	0,49	0,23	2,86	-0,55	-06,870	3,9	0,06
23	0,67	-0,03	2,32	-0,61	-06,870	3,9	-0,62
24	0,81	-0,29	1,64	-0,52	-06,870	3,9	-1,33

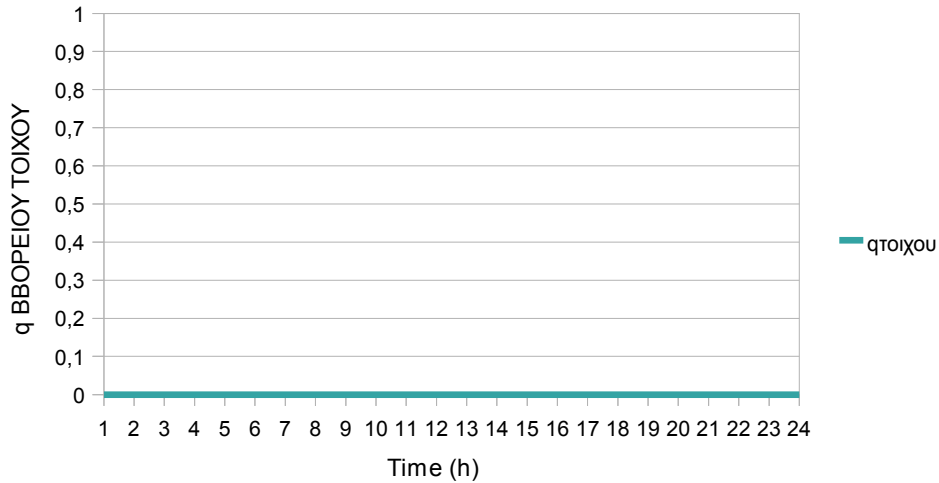


ΕΙΚΟΝΑ.13.4.8.1: ΨΥΚΤΙΚΟ ΦΟΡΤΙΟ ΑΠΟ ΤΟΝ ΝΟΤΙΟ ΤΟΙΧΟ

13.4.9. Υπολογισμός ψυκτικού φορτίου από τον βόρειο τοίχο (τοίχος με PCM)

ΠΙΝΑΚΑΣ 13.4.9.1: ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΤΟΥ ΨΥΚΤΙΚΟΥ ΦΟΡΤΙΟΥ ΑΠΟ ΤΟΝ ΒΟΡΕΙΟ ΤΟΙΧΟ (ΑΛΙΑΒΑΤΙΚΟΣ ΤΟΙΧΟΣ)

H	q τοίχου
1	0
2	0
3	0
4	0
5	0
6	0
7	0
8	0
9	0
10	0
11	0
12	0
13	0
14	0
15	0
16	0
17	0
18	0
19	0
20	0
21	0
22	0
23	0
24	0

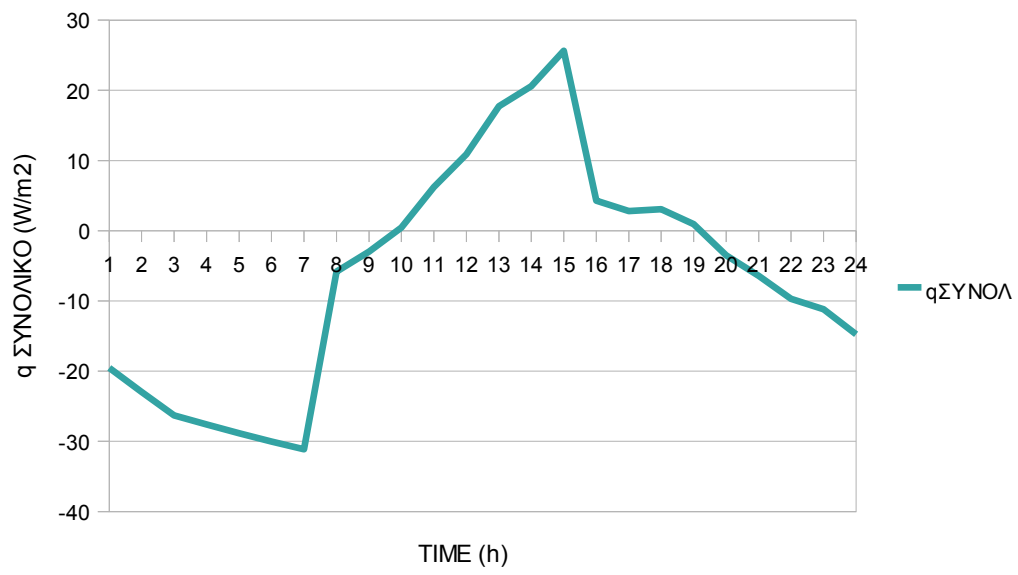


ΕΙΚΟΝΑ 13.4.9.1: ΨΥΚΤΙΚΟ ΦΟΡΤΙΟ ΑΠΟ ΤΟΝ ΝΟΤΙΟ ΤΟΙΧΟ ΜΕ PCM

13.4.10. Υπολογισμός συνολικού ψυκτικού φορτίου

ΠΙΝΑΚΑΣ 13.4.10.1: ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΤΟΥ ΣΥΝΟΛΙΚΟΥ ΨΥΚΤΙΚΟΥ ΦΟΡΤΙΟΥ

H	qααλοπ	qφωτισ	qανανεω	qανθρ	qτοιχ βορ	qτοιχ(ανατ)	qτοιχ(δυτ)	qτοιχ(νοτ)	qοροφ	qΣΥΝΟΛ
1	-29,32	2,1	14,47	9,5	0	-5,3	-4,48	-2,59	-3,9	-19,52
2	-32,13	2,1	14,97	9,5	0	-5,5	-4,85	-3,09	-3,95	-22,95
3	-34,86	2,1	15,41	9,5	0	-5,73	-5,18	-3,56	-3,99	-26,31
4	-35,36	2,1	15,72	9,5	0	-6,01	-5,47	-4,03	-4,04	-27,6
5	-35,59	2,1	15,86	9,5	0	-6,33	-5,74	-4,54	-4,1	-28,84
6	-35,55	2,1	15,84	9,5	0	-6,64	-6,01	-5,1	-4,17	-30,03
7	-35,21	2,1	15,62	9,5	0	-6,92	-6,3	-5,67	-4,25	-31,11
8	-32,49	21,6	15,18	14,09	0	-7,1	-6,6	-6,18	-4,33	-5,83
9	-29,28	21,9	14,44	14,99	0	-7,15	-6,91	-6,54	-4,43	-2,98
10	-25,57	22,5	13,39	15,53	0	-7,03	-7,18	-6,66	-4,53	0,45
11	-19,46	22,8	12,09	15,98	0	-6,75	-7,38	-6,45	-4,62	6,22
12	-15,27	23,4	10,75	16,34	0	-6,32	-7,44	-5,89	-4,69	10,87
13	-9,46	23,7	9,63	16,7	0	-5,81	-7,33	-4,99	-4,73	17,71
14	-8,44	24	9	16,88	0	-5,26	-7,03	-3,84	-4,74	20,58
15	-6,44	24,6	9,01	17,06	0	-4,76	-6,55	-2,57	-4,7	25,65
16	-7,41	5,4	9,6	12,92	0	-4,35	-5,93	-1,33	-4,62	4,29
17	-10,99	5,1	10,57	12,2	0	-4,07	-5,25	-0,26	-4,5	2,79
18	-12,71	4,8	11,63	11,75	0	-3,95	-4,58	0,5	-4,37	3,07
19	-16,14	4,5	12,51	11,39	0	-3,97	-3,99	0,9	-4,23	0,96
20	-21,07	4,2	13,08	11,12	0	-4,1	-3,56	0,92	-4,1	-3,52
21	-23,54	3,9	13,37	10,85	0	-4,3	-3,33	0,61	-4	-6,44
22	-25,79	3,6	13,52	10,67	0	-4,52	-3,3	0,06	-3,92	-9,68
23	-26,08	3,3	13,7	10,58	0	-4,74	-3,45	-0,62	-3,88	-11,19
24	-28,59	3,3	14,02	10,4	0	-4,94	-3,73	-1,33	-3,86	-14,74



ΕΙΚΟΝΑ 13.4.10.1: ΣΥΝΟΛΙΚΟ ΨΥΚΤΙΚΟ ΦΟΡΤΙΟ

13.5. Εξέταση του παραπάνω προβλήματος - Τοποθέτηση PCM στο βόρειο τοίχο

Η ηλιακή ακτινοβολία που προσπίπτει πάνω σε τοίχο σκούρου χρώματος είναι $0,88*0,9*0,9*G\tau$. Επομένως η θερμότητα που απορροφά το PCM είναι:

$$q_s=0,88*0,9*0,9*G\tau*A \quad (13.5.1)$$

Επιπλέον το PCM δίνει θερμότητα σύμφωνα με τον παρακάτω τύπο:

$$q_r=h(T_1'-20) \quad \text{ή} \\ q_r=(1/(1/h+d/k))*(T_1-20)*A \quad (13.5.2)$$

όπου $h = 8W/m^2\text{ }^\circ C$

T_1' = θερμοκρασία του σοβά

T_1 = θερμοκρασία του PCM

k =Θερμική αγωγιμότητα του σοβά ($W/m \text{ }^\circ C$)

d = πάχος του σοβά

A =εμβαδό υαλοπίνακα, $15 m^2$

Άρα το PCM παίρνει θερμότητα q_s-q_r η οποία αυξάνει την θερμοκρασία του PCM και του αλλάζει φάση και στη συνέχεια αυξάνει την θερμοκρασία του υγρού. Θα υπολογίσουμε την θερμοκρασία του PCM ανα 10 λεπτά για ένα εικοσιτετράωρο σύμφωνα με τον τύπο:

$$(q_s-q_r) = m_{pcm}Cp (T_2-T_1)/\Delta t \quad (13.5.3)$$

όπου: (q_s-q_r) =η θερμότητα του PCM

m_{pcm} = η μάζα του PCM , $10*3*0,03*\rho$

ρ = η πυκνότητα του PCM , $1019 Kg/m^3$

$Cp = 5000 J/Kg \text{ }^\circ C$

$T_{αρχ} = 20^\circ C$

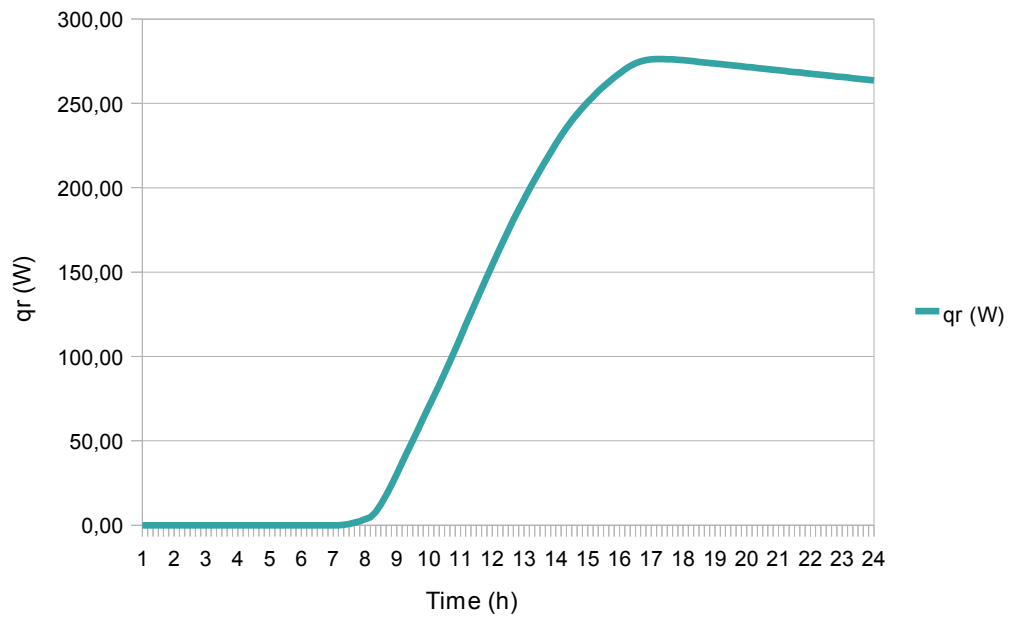
$\Delta t = 10min \text{ ή } 600sec$

ΠΙΝΑΚΑΣ 13.5.1 : Q_r , q_s , q_{rcm} , C_{peff} , T , G_t ΚΑΙ $q_{συνολικό}$ ΩΣ
ΣΥΝΑΡΤΗΣΗΙ ΤΗΣ ΩΡΑΣ

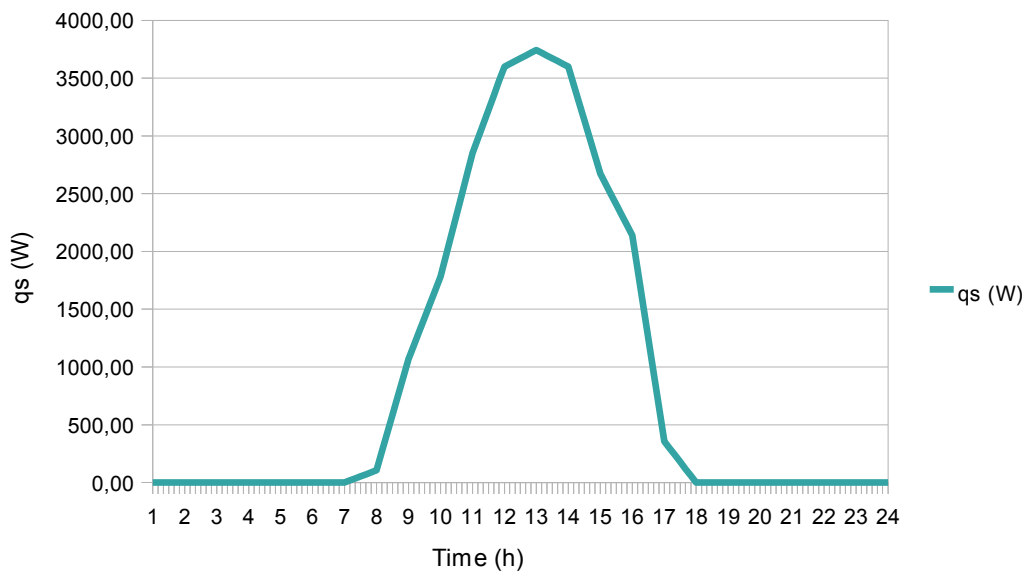
time	Ταρχικο (°C)	q_r (W)	G_t (W/m ²)	C_{peff} (J/Kg °C)	q_s (W)	q_{rcm} (W)	T_2 (°C)	$q_{συνολ}$ (W)
01:00:00	20,00	0,00	0,00	5000,00	0,00	0,00	20,00	-292,80
01:10:00	20,00	0,00	0,00	5000,00	0,00	0,00	20,00	-301,38
01:20:00	20,00	0,00	0,00	5000,00	0,00	0,00	20,00	-309,96
01:30:00	20,00	0,00	0,00	5000,00	0,00	0,00	20,00	-318,54
01:40:00	20,00	0,00	0,00	5000,00	0,00	0,00	20,00	-327,12
01:50:00	20,00	0,00	0,00	5000,00	0,00	0,00	20,00	-335,70
02:00:00	20,00	0,00	0,00	5000,00	0,00	0,00	20,00	-344,24
02:10:00	20,00	0,00	0,00	5000,00	0,00	0,00	20,00	-352,64
02:20:00	20,00	0,00	0,00	5000,00	0,00	0,00	20,00	-361,04
02:30:00	20,00	0,00	0,00	5000,00	0,00	0,00	20,00	-369,44
02:40:00	20,00	0,00	0,00	5000,00	0,00	0,00	20,00	-377,84
02:50:00	20,00	0,00	0,00	5000,00	0,00	0,00	20,00	-386,24
03:00:00	20,00	0,00	0,00	5000,00	0,00	0,00	20,00	-394,61
03:10:00	20,00	0,00	0,00	5000,00	0,00	0,00	20,00	-397,91
03:20:00	20,00	0,00	0,00	5000,00	0,00	0,00	20,00	-401,21
03:30:00	20,00	0,00	0,00	5000,00	0,00	0,00	20,00	-404,51
03:40:00	20,00	0,00	0,00	5000,00	0,00	0,00	20,00	-407,81
03:50:00	20,00	0,00	0,00	5000,00	0,00	0,00	20,00	-411,11
04:00:00	20,00	0,00	0,00	5000,00	0,00	0,00	20,00	-413,97
04:10:00	20,00	0,00	0,00	5000,00	0,00	0,00	20,00	-417,08
04:20:00	20,00	0,00	0,00	5000,00	0,00	0,00	20,00	-420,18
04:30:00	20,00	0,00	0,00	5000,00	0,00	0,00	20,00	-423,29
04:40:00	20,00	0,00	0,00	5000,00	0,00	0,00	20,00	-426,39
04:50:00	20,00	0,00	0,00	5000,00	0,00	0,00	20,00	-429,50
05:00:00	20,00	0,00	0,00	5000,00	0,00	0,00	20,00	-432,62
05:10:00	20,00	0,00	0,00	5000,00	0,00	0,00	20,00	-435,60
05:20:00	20,00	0,00	0,00	5000,00	0,00	0,00	20,00	-438,59
05:30:00	20,00	0,00	0,00	5000,00	0,00	0,00	20,00	-441,57
05:40:00	20,00	0,00	0,00	5000,00	0,00	0,00	20,00	-444,56
05:50:00	20,00	0,00	0,00	5000,00	0,00	0,00	20,00	-447,54
06:00:00	20,00	0,00	0,00	5000,00	0,00	0,00	20,00	-450,50
06:10:00	20,00	0,00	0,00	5000,00	0,00	0,00	20,00	-453,19
06:20:00	20,00	0,00	0,00	5000,00	0,00	0,00	20,00	-455,87
06:30:00	20,00	0,00	0,00	5000,00	0,00	0,00	20,00	-458,56
06:40:00	20,00	0,00	0,00	5000,00	0,00	0,00	20,00	-461,24
06:50:00	20,00	0,00	0,00	5000,00	0,00	0,00	20,00	-463,93
07:00:00	20,00	0,00	0,00	5000,00	0,00	0,00	20,00	-466,62
07:10:00	20,00	0,00	1,67	5000,00	17,82	17,82	20,00	-403,47
07:20:00	20,00	0,25	3,33	5046,63	35,64	35,39	20,01	-340,32
07:30:00	20,01	0,73	5,00	5138,40	53,46	52,73	20,01	-277,17
07:40:00	20,01	1,44	6,67	5272,67	71,28	69,84	20,02	-214,02
07:50:00	20,02	2,36	8,33	5445,97	89,10	86,74	20,03	-150,87
08:00:00	20,03	3,46	10,00	5654,38	106,92	103,46	20,04	-87,43
08:10:00	20,04	4,73	25,00	5893,78	267,30	262,57	20,07	-80,31
08:20:00	20,07	7,82	40,00	6476,71	427,68	419,86	20,12	-73,18
08:30:00	20,12	12,31	55,00	7324,94	588,06	575,75	20,17	-66,06
08:40:00	20,17	17,75	70,00	8353,42	748,44	730,69	20,22	-58,93
08:50:00	20,22	23,81	85,00	9497,96	908,82	885,01	20,29	-51,81

09:00:00	20,29	30,27	100,00	10717,18	1069,20	1038,93	20,35	-44,69
09:10:00	20,35	36,98	111,11	11985,62	1188,00	1151,02	20,41	-36,11
09:20:00	20,41	43,64	122,22	13242,19	1306,80	1263,16	20,47	-27,53
09:30:00	20,47	50,24	133,33	14490,34	1425,60	1375,36	20,54	-18,95
09:40:00	20,54	56,82	144,44	15732,28	1544,40	1487,58	20,60	-10,37
09:50:00	20,60	63,37	155,56	16969,52	1663,20	1599,83	20,66	-1,79
10:00:00	20,66	69,90	166,67	18203,10	1782,00	1712,10	20,72	6,75
10:10:00	20,72	76,41	183,33	19433,79	1960,20	1883,79	20,79	21,15
10:20:00	20,79	83,13	200,00	20702,14	2138,40	2055,27	20,85	35,55
10:30:00	20,85	90,01	216,67	22001,17	2316,60	2226,59	20,92	49,95
10:40:00	20,92	97,02	233,33	23325,39	2494,80	2397,78	20,98	64,35
10:50:00	20,98	104,14	250,00	24670,46	2673,00	2568,86	21,05	78,75
11:00:00	21,05	111,35	266,67	26032,93	2851,20	2739,85	21,12	93,27
11:10:00	21,12	118,64	278,33	27410,04	2975,94	2857,30	21,19	104,91
11:20:00	21,19	125,86	290,00	28774,03	3100,68	2974,82	21,26	116,55
11:30:00	21,26	133,02	301,67	30126,80	3225,42	3092,40	21,32	128,19
11:40:00	21,32	140,13	313,33	31469,90	3350,16	3210,03	21,39	139,83
11:50:00	21,39	147,20	325,00	32804,58	3474,90	3327,70	21,46	151,47
12:00:00	21,46	154,23	336,67	34131,89	3599,64	3445,41	21,52	163,11
12:10:00	21,52	161,22	338,89	35452,72	3623,40	3462,18	21,59	180,21
12:20:00	21,59	167,99	341,11	36730,52	3647,16	3479,17	21,65	197,31
12:30:00	21,65	174,55	343,33	37969,93	3670,92	3496,37	21,71	214,41
12:40:00	21,71	180,93	345,56	39174,81	3694,68	3513,75	21,77	231,51
12:50:00	21,77	187,14	347,78	40348,43	3718,44	3531,30	21,82	248,61
13:00:00	21,82	193,20	350,00	41493,61	3742,20	3549,00	21,88	265,72
13:10:00	21,88	199,13	347,78	42612,76	3718,44	3519,31	21,93	272,88
13:20:00	21,93	204,85	345,56	43693,40	3694,68	3489,83	21,99	280,03
13:30:00	21,99	210,38	343,33	44738,49	3670,92	3460,54	22,04	287,19
13:40:00	22,04	215,74	341,11	45750,60	3647,16	3431,42	22,09	294,34
13:50:00	22,09	220,93	338,89	46731,99	3623,40	3402,47	22,13	301,50
14:00:00	22,13	225,98	336,67	47684,67	3599,64	3373,66	22,18	308,68
14:10:00	22,18	230,88	322,22	48610,40	3445,20	3214,32	22,22	321,43
14:20:00	22,22	235,46	307,78	49475,62	3290,76	3055,30	22,26	334,18
14:30:00	22,26	239,74	293,33	50283,65	3136,32	2896,58	22,30	346,93
14:40:00	22,30	243,73	278,89	51037,39	2981,88	2738,15	22,34	359,68
14:50:00	22,34	247,44	264,44	51739,39	2827,44	2580,00	22,37	372,43
15:00:00	22,37	250,90	250,00	52391,86	2673,00	2422,10	22,40	384,81
15:10:00	22,40	254,10	241,67	52996,77	2583,90	2329,80	22,43	330,66
15:20:00	22,43	257,15	233,33	53571,99	2494,80	2237,65	22,46	276,51
15:30:00	22,46	260,04	225,00	54118,53	2405,70	2145,66	22,48	222,36
15:40:00	22,48	262,79	216,67	54637,30	2316,60	2053,81	22,51	168,21
15:50:00	22,51	265,39	208,33	55129,16	2227,50	1962,11	22,53	114,06
16:00:00	22,53	267,86	200,00	55594,86	2138,40	1870,54	22,55	64,35
16:10:00	22,55	270,19	172,22	56035,11	1841,40	1571,21	22,57	60,60
16:20:00	22,57	272,13	144,44	56402,00	1544,40	1272,27	22,58	56,85
16:30:00	22,58	273,69	116,67	56697,16	1247,40	973,71	22,60	53,10
16:40:00	22,60	274,88	88,89	56921,87	950,40	675,52	22,60	49,35
16:50:00	22,60	275,70	61,11	57077,15	653,40	377,70	22,61	45,60

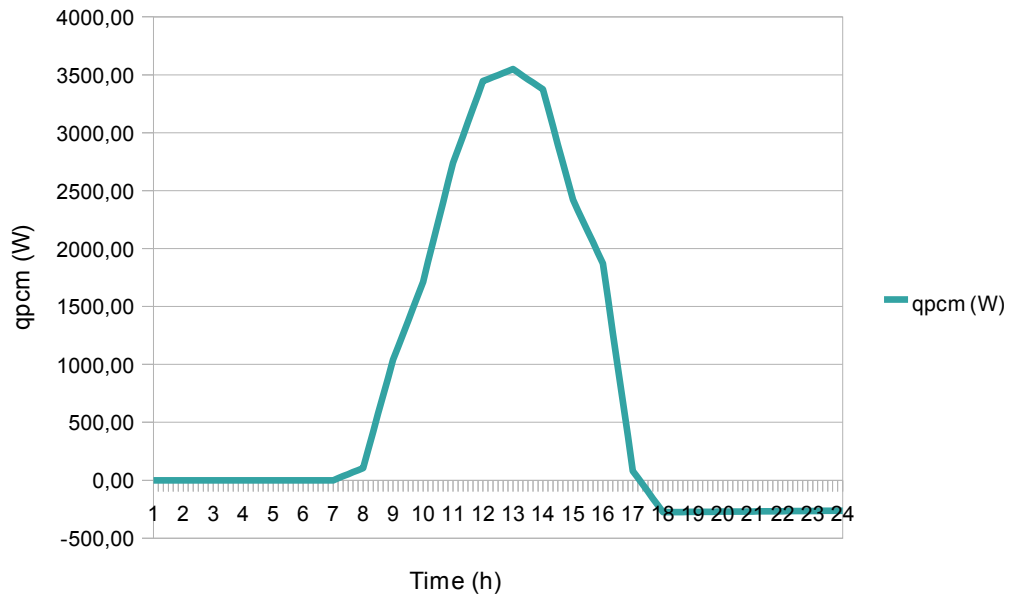
17:00:00	22,61	276,16	33,33	57163,74	356,40	80,24	22,61	41,91
17:10:00	22,61	276,26	27,78	57182,11	297,00	20,74	22,61	42,62
17:20:00	22,61	276,28	22,22	57186,85	237,60	-38,68	22,61	43,32
17:30:00	22,61	276,24	16,67	57178,00	178,20	-98,04	22,61	44,03
17:40:00	22,61	276,12	11,11	57155,57	118,80	-157,32	22,61	44,73
17:50:00	22,61	275,93	5,56	57119,55	59,40	-216,53	22,60	45,44
18:00:00	22,60	275,66	0,00	57069,95	0,00	-275,66	22,60	46,12
18:10:00	22,60	275,33	0,00	57006,75	0,00	-275,33	22,60	40,84
18:20:00	22,60	275,00	0,00	56943,55	0,00	-275,00	22,59	35,56
18:30:00	22,59	274,66	0,00	56880,36	0,00	-274,66	22,59	30,28
18:40:00	22,59	274,33	0,00	56817,18	0,00	-274,33	22,59	25,00
18:50:00	22,59	273,99	0,00	56754,00	0,00	-273,99	22,58	19,72
19:00:00	22,58	273,66	0,00	56690,83	0,00	-273,66	22,58	14,42
19:10:00	22,58	273,32	0,00	56627,67	0,00	-273,32	22,58	3,21
19:20:00	22,58	272,99	0,00	56564,52	0,00	-272,99	22,58	-7,99
19:30:00	22,58	272,65	0,00	56501,37	0,00	-272,65	22,57	-19,20
19:40:00	22,57	272,32	0,00	56438,23	0,00	-272,32	22,57	-30,40
19:50:00	22,57	271,99	0,00	56375,09	0,00	-271,99	22,57	-41,61
20:00:00	22,57	271,65	0,00	56311,96	0,00	-271,65	22,56	-52,82
20:10:00	22,56	271,32	0,00	56248,84	0,00	-271,32	22,56	-60,12
20:20:00	22,56	270,98	0,00	56185,73	0,00	-270,98	22,56	-67,43
20:30:00	22,56	270,65	0,00	56122,62	0,00	-270,65	22,55	-74,73
20:40:00	22,55	270,32	0,00	56059,52	0,00	-270,32	22,55	-82,04
20:50:00	22,55	269,98	0,00	55996,42	0,00	-269,98	22,55	-89,34
21:00:00	22,55	269,65	0,00	55933,34	0,00	-269,65	22,54	-96,61
21:10:00	22,54	269,31	0,00	55870,26	0,00	-269,31	22,54	-104,71
21:20:00	22,54	268,98	0,00	55807,19	0,00	-268,98	22,54	-112,81
21:30:00	22,54	268,65	0,00	55744,12	0,00	-268,65	22,53	-120,91
21:40:00	22,53	268,31	0,00	55681,06	0,00	-268,31	22,53	-129,01
21:50:00	22,53	267,98	0,00	55618,01	0,00	-267,98	22,53	-137,11
22:00:00	22,53	267,64	0,00	55554,96	0,00	-267,64	22,52	-145,22
22:10:00	22,52	267,31	0,00	55491,93	0,00	-267,31	22,52	-148,98
22:20:00	22,52	266,98	0,00	55428,90	0,00	-266,98	22,52	-152,75
22:30:00	22,52	266,64	0,00	55365,87	0,00	-266,64	22,52	-156,51
22:40:00	22,52	266,31	0,00	55302,86	0,00	-266,31	22,51	-160,28
22:50:00	22,51	265,98	0,00	55239,85	0,00	-265,98	22,51	-164,04
23:00:00	22,51	265,64	0,00	55176,85	0,00	-265,64	22,51	-167,79
23:10:00	22,51	265,31	0,00	55113,85	0,00	-265,31	22,50	-176,67
23:20:00	22,50	264,98	0,00	55050,86	0,00	-264,98	22,50	-185,55
23:30:00	22,50	264,64	0,00	54987,88	0,00	-264,64	22,50	-194,43
23:40:00	22,50	264,31	0,00	54924,91	0,00	-264,31	22,49	-203,31
23:50:00	22,49	263,97	0,00	54861,94	0,00	-263,97	22,49	-212,19
00:00:00	22,49	263,64	0,00	54798,99	0,00	-263,64	22,49	-221,06



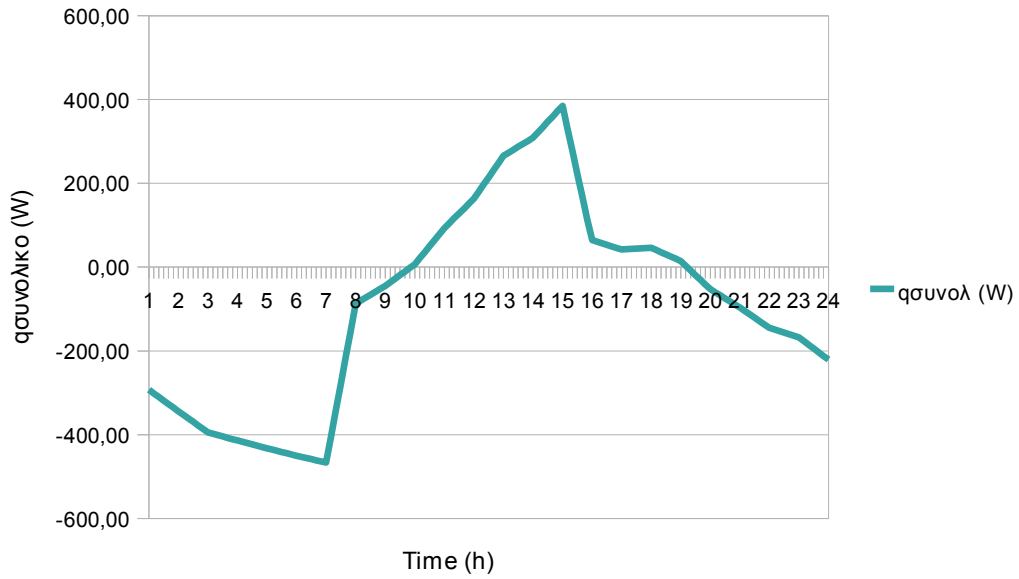
EIKONA 13.5.1: TO q_r ΩΣ ΣΥΝΑΡΤΗΣΗ ΤΗΣ ΩΡΑΣ



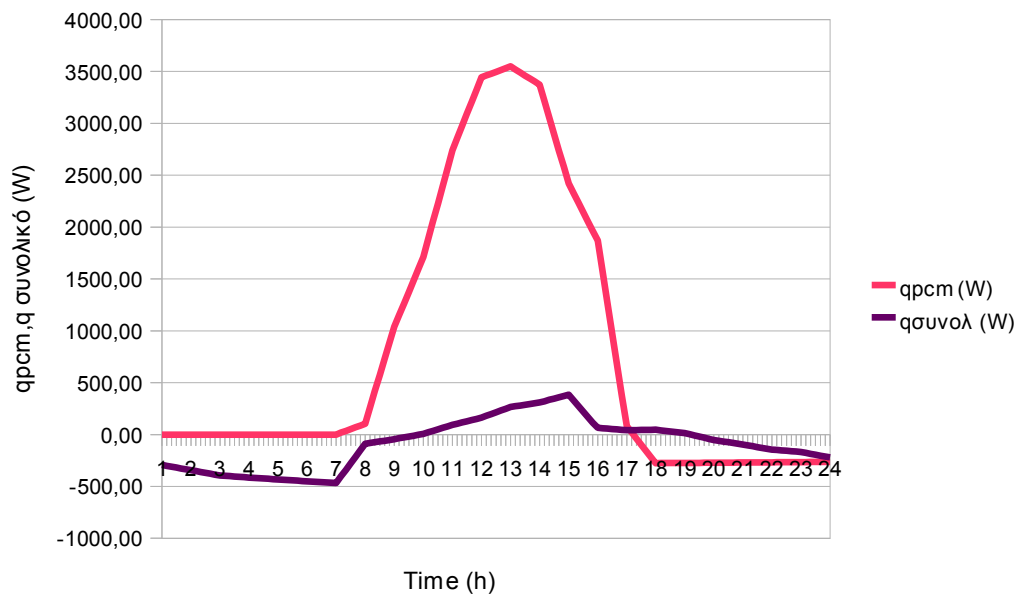
EIKONA 13.5.2: TO q_s ΩΣ ΣΥΝΑΡΤΗΣΗ ΤΗΣ ΩΡΑΣ



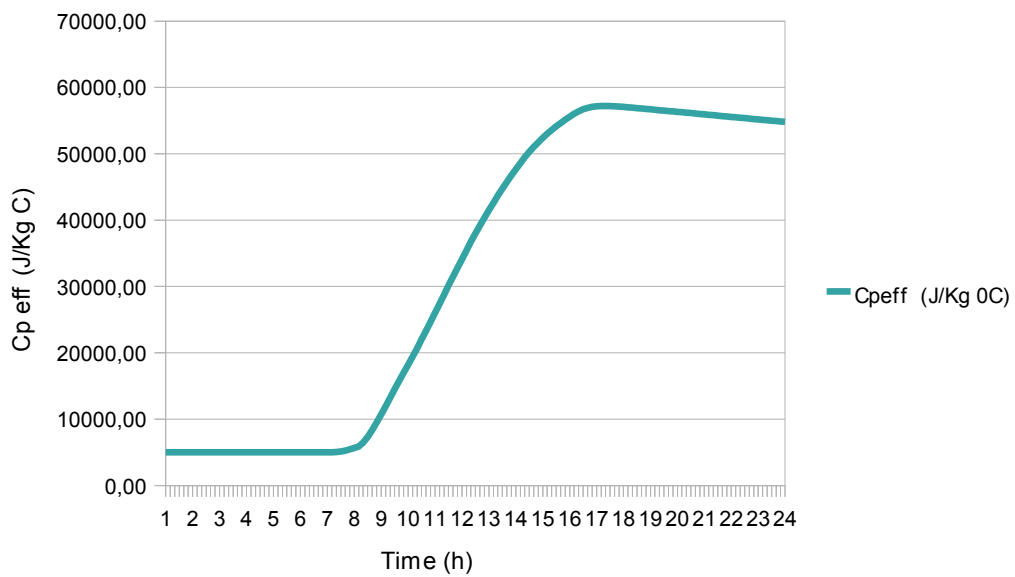
EIKONA 13.5.3: TO qpcm ΩΣ ΣΥΝΑΡΤΗΣΗ ΤΗΣ ΩΡΑΣ



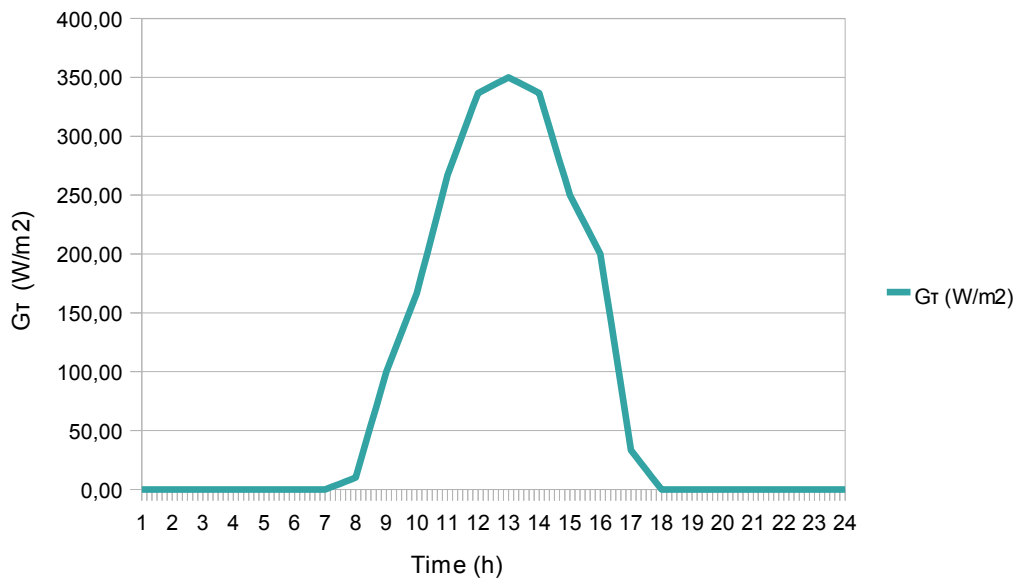
EIKONA 13.5.4: TO qσυνολικό ΩΣ ΣΥΝΑΡΤΗΣΗ ΤΗΣ ΩΡΑΣ



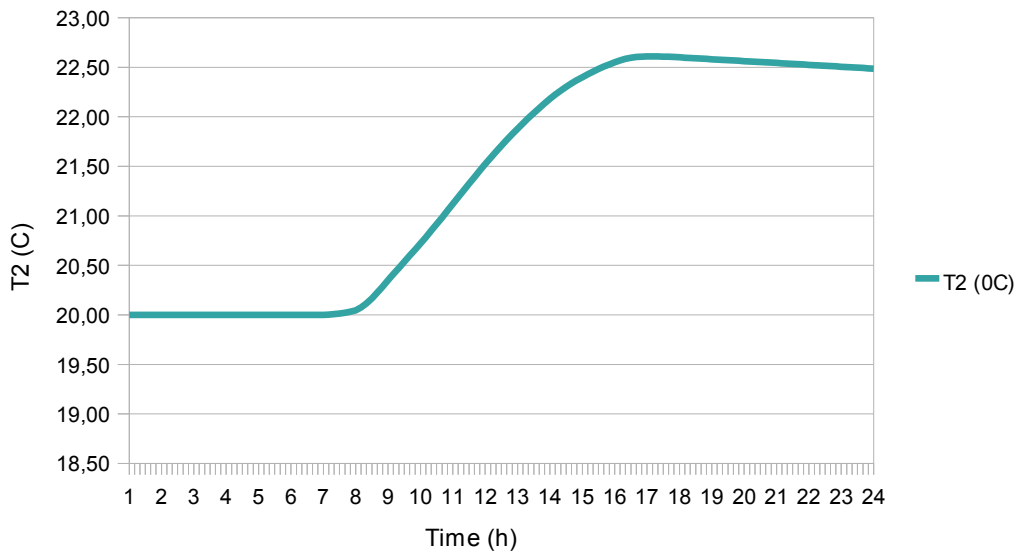
EIKONA 13.5.5:ΤΟ q_{cm}, q συνολικό ΩΣ ΣΥΝΑΡΤΗΣΗ ΤΗΣ ΩΡΑΣ



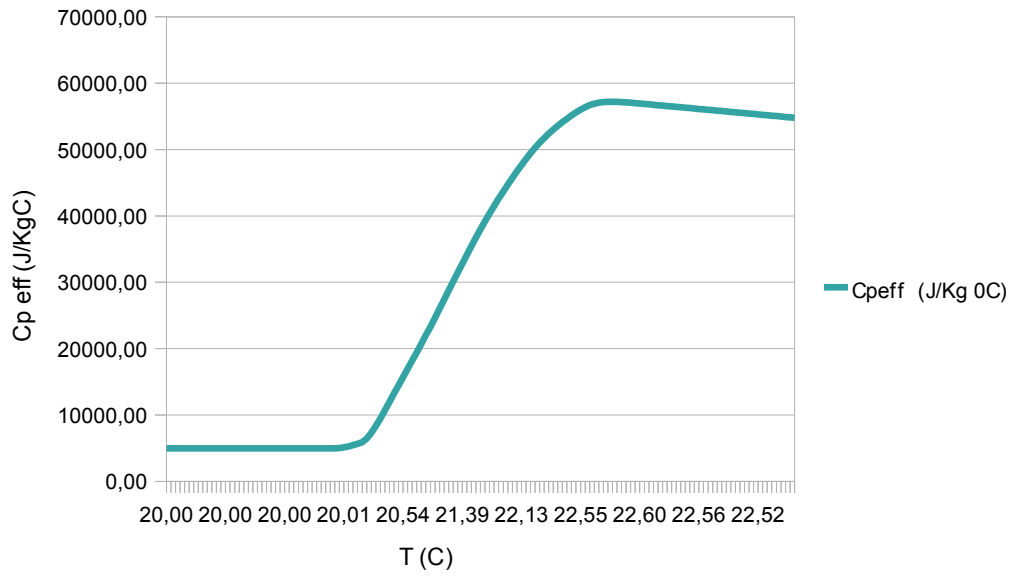
EIKONA 13.5.6:ΤΟ $C_{p,eff}$ ΩΣ ΣΥΝΑΡΤΗΣΗ ΤΗΣ ΩΡΑΣ



EIKONA 13.5.7: TO $G\tau$ ΩΣ ΣΥΝΑΡΤΗΣΗ ΤΗΣ ΩΡΑΣ



EIKONA 13.5.8: Η T_2 ΩΣ ΣΥΝΑΡΤΗΣΗ ΤΗΣ ΩΡΑΣ



EIKONA 13.5.9: TO $C_{p\text{eff}}$ ΩΣ ΣΥΝΑΡΤΗΣΗ ΤΗΣ ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑΣ

13.6. Παραλλαγή του παραπάνω προβλήματος – Αντικατάσταση του PCM με μπετόν στο βόρειο τοίχο

Η ηλιακή ακτινοβολία που προσπίπτει πάνω σε τοίχο σκούρου χρώματος είναι $0,88*0,9*0,9*G\tau$. Επομένως η θερμότητα που απορροφά το μπετόν είναι:

$$q_s=0,88*0,9*0,9*G\tau*A \quad (13.6.1)$$

Επιπλέον το μπετόν δίνει θερμότητα σύμφωνα με τον παρακάτω τύπο:

$$q_r=h(T_1'-20) \text{ ή } q_r=(1/(1/h+d/k))*(T_1-20)*A \quad (13.6.2)$$

όπου $h = 8W/m^2\text{ }^\circ C$

T_1' = θερμοκρασία του σοβά

T_1 = θερμοκρασία του μπετόν

k =Θερμική αγωγιμότητα του σοβά ($W/m\text{ }^\circ C$)

d = πάχος του σοβά

A =εμβαδό υαλοπίνακα, $15 m^2$

Άρα το μπετόν παίρνει θερμότητα q_s-q_r η οποία αυξάνει την θερμοκρασία του . Θα υπολογίσουμε την θερμοκρασία του, ανά 10 λεπτά για ένα εικοσιτετράωρο σύμφωνα με τον τύπο:

$$(q_s-q_r) = m_{\mu\beta\epsilon\tau\omicron\nu}C_p (T_2-T_1)/\Delta t \quad (13.6.3)$$

όπου: $(q_s-q_r) = \eta$ θερμότητα του μπετόν

$m_{\mu\beta\epsilon\tau\omicron\nu} = \eta$ μάζα του μπετου , $10*3*0,03*\rho$

$\rho = \eta$ πυκνότητα του μπετου , $2300 Kg/m^3$

$C_p = 8800J /Kg\text{ }^\circ C$

$T_{\text{αρχ}} = 20\text{ }^\circ C$

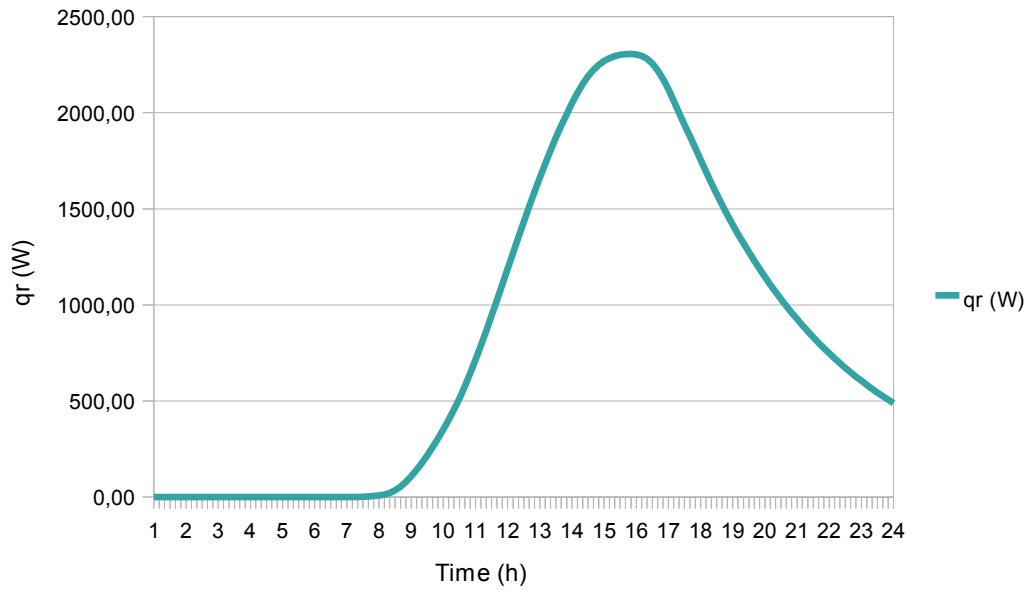
$\Delta t = 10\text{min ή } 600\text{sec}$

ΠΙΝΑΚΑΣ 13.6.1: Q_r , q_s , $q_{\text{ρετ}}$, $C_{\text{ρεff}}$, T , G_{τ} ΚΑΙ $q_{\text{συνολικό}}$ ΩΣ
ΣΥΝΑΡΗΣΗ ΤΗΣ ΩΡΑΣ

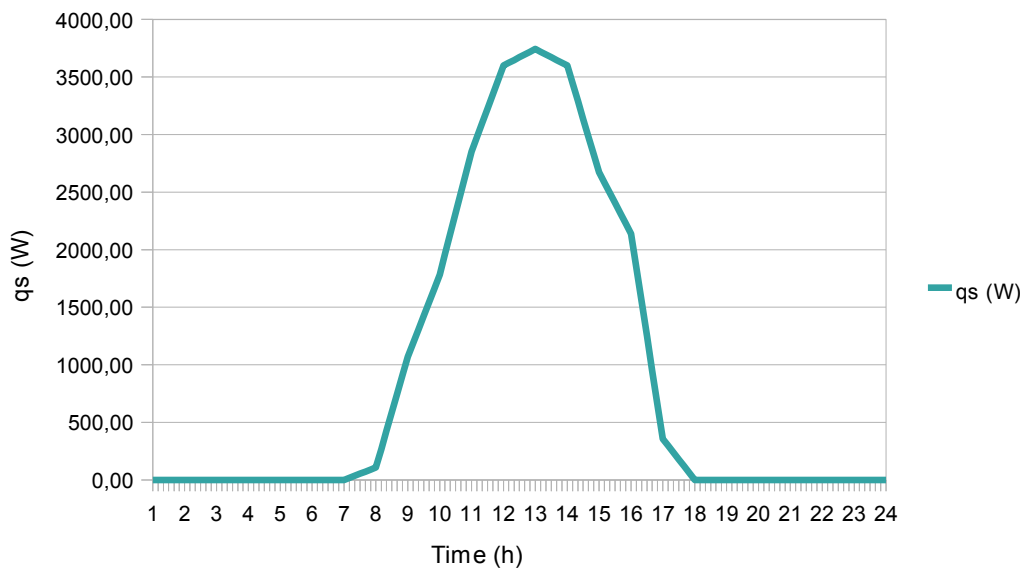
time	Ταρχικό (°C)	q_r (W)	G_{τ} (W/m ²)	$C_{\text{ρεff}}$ (J/Kg °C)	q_s (W)	$q_{\text{μπετον}}$ (W)	T_2 (°C)	$q_{\text{συνολ}}$ (W)
01:00:00	20,00	0,00	0,00	880,00	0,00	0,00	20,00	-292,80
01:10:00	20,00	0,00	0,00	880,00	0,00	0,00	20,00	-301,38
01:20:00	20,00	0,00	0,00	880,00	0,00	0,00	20,00	-309,96
01:30:00	20,00	0,00	0,00	880,00	0,00	0,00	20,00	-318,54
01:40:00	20,00	0,00	0,00	880,00	0,00	0,00	20,00	-327,12
01:50:00	20,00	0,00	0,00	880,00	0,00	0,00	20,00	-335,70
02:00:00	20,00	0,00	0,00	880,00	0,00	0,00	20,00	-344,24
02:10:00	20,00	0,00	0,00	880,00	0,00	0,00	20,00	-352,64
02:20:00	20,00	0,00	0,00	880,00	0,00	0,00	20,00	-361,04
02:30:00	20,00	0,00	0,00	880,00	0,00	0,00	20,00	-369,44
02:40:00	20,00	0,00	0,00	880,00	0,00	0,00	20,00	-377,84
02:50:00	20,00	0,00	0,00	880,00	0,00	0,00	20,00	-386,24
03:00:00	20,00	0,00	0,00	880,00	0,00	0,00	20,00	-394,61
03:10:00	20,00	0,00	0,00	880,00	0,00	0,00	20,00	-397,91
03:20:00	20,00	0,00	0,00	880,00	0,00	0,00	20,00	-401,21
03:30:00	20,00	0,00	0,00	880,00	0,00	0,00	20,00	-404,51
03:40:00	20,00	0,00	0,00	880,00	0,00	0,00	20,00	-407,81
03:50:00	20,00	0,00	0,00	880,00	0,00	0,00	20,00	-411,11
04:00:00	20,00	0,00	0,00	880,00	0,00	0,00	20,00	-413,97
04:10:00	20,00	0,00	0,00	880,00	0,00	0,00	20,00	-417,08
04:20:00	20,00	0,00	0,00	880,00	0,00	0,00	20,00	-420,18
04:30:00	20,00	0,00	0,00	880,00	0,00	0,00	20,00	-423,29
04:40:00	20,00	0,00	0,00	880,00	0,00	0,00	20,00	-426,39
04:50:00	20,00	0,00	0,00	880,00	0,00	0,00	20,00	-429,50
05:00:00	20,00	0,00	0,00	880,00	0,00	0,00	20,00	-432,62
05:10:00	20,00	0,00	0,00	880,00	0,00	0,00	20,00	-435,60
05:20:00	20,00	0,00	0,00	880,00	0,00	0,00	20,00	-438,59
05:30:00	20,00	0,00	0,00	880,00	0,00	0,00	20,00	-441,57
05:40:00	20,00	0,00	0,00	880,00	0,00	0,00	20,00	-444,56
05:50:00	20,00	0,00	0,00	880,00	0,00	0,00	20,00	-447,54
06:00:00	20,00	0,00	0,00	880,00	0,00	0,00	20,00	-450,50
06:10:00	20,00	0,00	0,00	880,00	0,00	0,00	20,00	-453,19
06:20:00	20,00	0,00	0,00	880,00	0,00	0,00	20,00	-455,87
06:30:00	20,00	0,00	0,00	880,00	0,00	0,00	20,00	-458,56
06:40:00	20,00	0,00	0,00	880,00	0,00	0,00	20,00	-461,24
06:50:00	20,00	0,00	0,00	880,00	0,00	0,00	20,00	-463,93
07:00:00	20,00	0,00	0,00	880,00	0,00	0,00	20,00	-466,62
07:10:00	20,00	0,00	1,67	880,00	17,82	17,82	20,01	-403,47
07:20:00	20,01	0,62	3,33	880,00	35,64	35,02	20,02	-340,32
07:30:00	20,02	1,84	5,00	880,00	53,46	51,62	20,03	-277,17
07:40:00	20,03	3,64	6,67	880,00	71,28	67,64	20,06	-214,02
07:50:00	20,06	6,00	8,33	880,00	89,10	83,10	20,08	-150,87
08:00:00	20,08	8,90	10,00	880,00	106,92	98,02	20,12	-87,43
08:10:00	20,12	12,32	25,00	880,00	267,30	254,98	20,20	-80,31
08:20:00	20,20	21,21	40,00	880,00	427,68	406,47	20,33	-73,18
08:30:00	20,33	35,39	55,00	880,00	588,06	552,67	20,52	-66,06
08:40:00	20,52	54,66	70,00	880,00	748,44	693,78	20,74	-58,93
08:50:00	20,74	78,86	85,00	880,00	908,82	829,96	21,02	-51,81

09:00:00	21,02	107,80	100,00	880,00	1069,20	961,40	21,33	-44,69
09:10:00	21,33	141,33	111,11	880,00	1188,00	1046,67	21,68	-36,11
09:20:00	21,68	177,84	122,22	880,00	1306,80	1128,96	22,05	-27,53
09:30:00	22,05	217,21	133,33	880,00	1425,60	1208,39	22,45	-18,95
09:40:00	22,45	259,35	144,44	880,00	1544,40	1285,05	22,87	-10,37
09:50:00	22,87	304,17	155,56	880,00	1663,20	1359,03	23,32	-1,79
10:00:00	23,32	351,57	166,67	880,00	1782,00	1430,43	23,79	6,75
10:10:00	23,79	401,45	183,33	880,00	1960,20	1558,75	24,30	21,15
10:20:00	24,30	455,82	200,00	880,00	2138,40	1682,58	24,86	35,55
10:30:00	24,86	514,50	216,67	880,00	2316,60	1802,10	25,45	49,95
10:40:00	25,45	577,35	233,33	880,00	2494,80	1917,45	26,08	64,35
10:50:00	26,08	644,22	250,00	880,00	2673,00	2028,78	26,75	78,75
11:00:00	26,75	714,97	266,67	880,00	2851,20	2136,23	27,46	93,27
11:10:00	27,46	789,48	278,33	880,00	2975,94	2186,46	28,18	104,91
11:20:00	28,18	865,73	290,00	880,00	3100,68	2234,95	28,91	116,55
11:30:00	28,91	943,68	301,67	880,00	3225,42	2281,74	29,66	128,19
11:40:00	29,66	1023,25	313,33	880,00	3350,16	2326,91	30,43	139,83
11:50:00	30,43	1104,40	325,00	880,00	3474,90	2370,50	31,21	151,47
12:00:00	31,21	1187,08	336,67	880,00	3599,64	2412,56	32,01	163,11
12:10:00	32,01	1271,22	338,89	880,00	3623,40	2352,18	32,78	180,21
12:20:00	32,78	1353,25	341,11	880,00	3647,16	2293,91	33,54	197,31
12:30:00	33,54	1433,25	343,33	880,00	3670,92	2237,67	34,27	214,41
12:40:00	34,27	1511,29	345,56	880,00	3694,68	2183,39	34,99	231,51
12:50:00	34,99	1587,44	347,78	880,00	3718,44	2131,00	35,69	248,61
13:00:00	35,69	1661,76	350,00	880,00	3742,20	2080,44	36,38	265,72
13:10:00	36,38	1734,32	347,78	880,00	3718,44	1984,12	37,03	272,88
13:20:00	37,03	1803,51	345,56	880,00	3694,68	1891,17	37,66	280,03
13:30:00	37,66	1869,47	343,33	880,00	3670,92	1801,45	38,25	287,19
13:40:00	38,25	1932,30	341,11	880,00	3647,16	1714,86	38,81	294,34
13:50:00	38,81	1992,10	338,89	880,00	3623,40	1631,30	39,35	301,50
14:00:00	39,35	2049,00	336,67	880,00	3599,64	1550,64	39,86	308,68
14:10:00	39,86	2103,07	322,22	880,00	3445,20	1342,13	40,30	321,43
14:20:00	40,30	2149,88	307,78	880,00	3290,76	1140,88	40,68	334,18
14:30:00	40,68	2189,67	293,33	880,00	3136,32	946,65	40,99	346,93
14:40:00	40,99	2222,69	278,89	880,00	2981,88	759,19	41,24	359,68
14:50:00	41,24	2249,16	264,44	880,00	2827,44	578,28	41,43	372,43
15:00:00	41,43	2269,33	250,00	880,00	2673,00	403,67	41,57	384,81
15:10:00	41,57	2283,41	241,67	880,00	2583,90	300,49	41,66	330,66
15:20:00	41,66	2293,89	233,33	880,00	2494,80	200,91	41,73	276,51
15:30:00	41,73	2300,90	225,00	880,00	2405,70	104,80	41,77	222,36
15:40:00	41,77	2304,55	216,67	880,00	2316,60	12,05	41,77	168,21
15:50:00	41,77	2304,97	208,33	880,00	2227,50	-77,47	41,74	114,06
16:00:00	41,74	2302,27	200,00	880,00	2138,40	-163,87	41,69	64,35
16:10:00	41,69	2296,55	172,22	880,00	1841,40	-455,15	41,54	60,60
16:20:00	41,54	2280,68	144,44	880,00	1544,40	-736,28	41,30	56,85
16:30:00	41,30	2255,00	116,67	880,00	1247,40	-1007,60	40,97	53,10
16:40:00	40,97	2219,86	88,89	880,00	950,40	-1269,46	40,55	49,35
16:50:00	40,55	2175,59	61,11	880,00	653,40	-1522,19	40,05	45,60

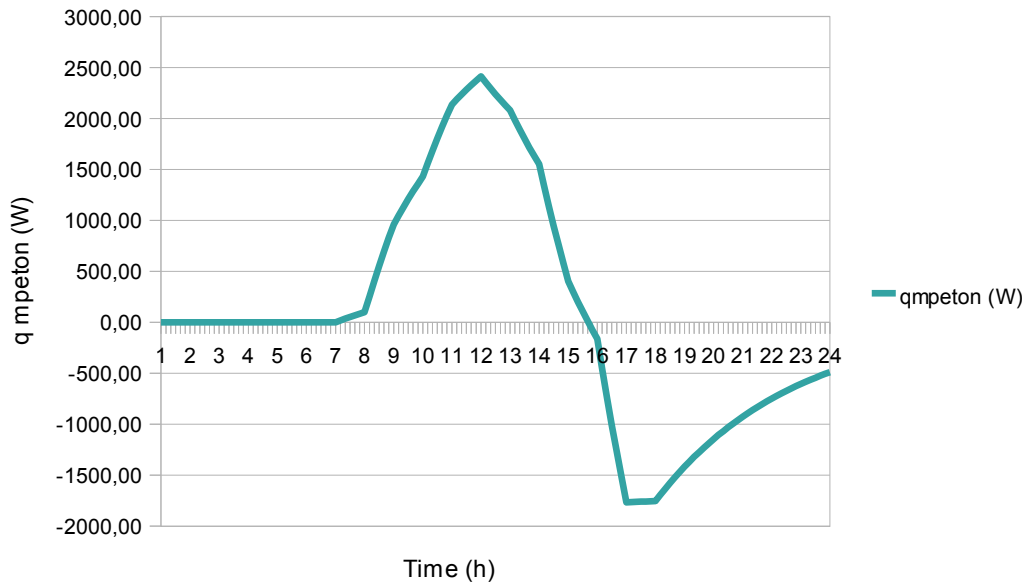
17:00:00	40,05	2122,50	33,33	880,00	356,40	-1766,10	39,46	41,91
17:10:00	39,46	2060,91	27,78	880,00	297,00	-1763,91	38,88	42,62
17:20:00	38,88	1999,39	22,22	880,00	237,60	-1761,79	38,30	43,32
17:30:00	38,30	1937,95	16,67	880,00	178,20	-1759,75	37,72	44,03
17:40:00	37,72	1876,57	11,11	880,00	118,80	-1757,77	37,14	44,73
17:50:00	37,14	1815,27	5,56	880,00	59,40	-1755,87	36,57	45,44
18:00:00	36,57	1754,03	0,00	880,00	0,00	-1754,03	35,99	46,12
18:10:00	35,99	1692,86	0,00	880,00	0,00	-1692,86	35,43	40,84
18:20:00	35,43	1633,82	0,00	880,00	0,00	-1633,82	34,89	35,56
18:30:00	34,89	1576,84	0,00	880,00	0,00	-1576,84	34,37	30,28
18:40:00	34,37	1521,85	0,00	880,00	0,00	-1521,85	33,87	25,00
18:50:00	33,87	1468,77	0,00	880,00	0,00	-1468,77	33,39	19,72
19:00:00	33,39	1417,55	0,00	880,00	0,00	-1417,55	32,92	14,42
19:10:00	32,92	1368,11	0,00	880,00	0,00	-1368,11	32,47	3,21
19:20:00	32,47	1320,40	0,00	880,00	0,00	-1320,40	32,04	-7,99
19:30:00	32,04	1274,35	0,00	880,00	0,00	-1274,35	31,62	-19,20
19:40:00	31,62	1229,90	0,00	880,00	0,00	-1229,90	31,21	-30,40
19:50:00	31,21	1187,01	0,00	880,00	0,00	-1187,01	30,82	-41,61
20:00:00	30,82	1145,61	0,00	880,00	0,00	-1145,61	30,44	-52,82
20:10:00	30,44	1105,66	0,00	880,00	0,00	-1105,66	30,08	-60,12
20:20:00	30,08	1067,10	0,00	880,00	0,00	-1067,10	29,73	-67,43
20:30:00	29,73	1029,88	0,00	880,00	0,00	-1029,88	29,39	-74,73
20:40:00	29,39	993,96	0,00	880,00	0,00	-993,96	29,06	-82,04
20:50:00	29,06	959,30	0,00	880,00	0,00	-959,30	28,74	-89,34
21:00:00	28,74	925,84	0,00	880,00	0,00	-925,84	28,44	-96,61
21:10:00	28,44	893,55	0,00	880,00	0,00	-893,55	28,14	-104,71
21:20:00	28,14	862,39	0,00	880,00	0,00	-862,39	27,86	-112,81
21:30:00	27,86	832,31	0,00	880,00	0,00	-832,31	27,59	-120,91
21:40:00	27,59	803,29	0,00	880,00	0,00	-803,29	27,32	-129,01
21:50:00	27,32	775,27	0,00	880,00	0,00	-775,27	27,07	-137,11
22:00:00	27,07	748,23	0,00	880,00	0,00	-748,23	26,82	-145,22
22:10:00	26,82	722,14	0,00	880,00	0,00	-722,14	26,58	-148,98
22:20:00	26,58	696,95	0,00	880,00	0,00	-696,95	26,35	-152,75
22:30:00	26,35	672,65	0,00	880,00	0,00	-672,65	26,13	-156,51
22:40:00	26,13	649,19	0,00	880,00	0,00	-649,19	25,92	-160,28
22:50:00	25,92	626,55	0,00	880,00	0,00	-626,55	25,71	-164,04
23:00:00	25,71	604,70	0,00	880,00	0,00	-604,70	25,51	-167,79
23:10:00	25,51	583,61	0,00	880,00	0,00	-583,61	25,32	-176,67
23:20:00	25,32	563,25	0,00	880,00	0,00	-563,25	25,13	-185,55
23:30:00	25,13	543,61	0,00	880,00	0,00	-543,61	24,96	-194,43
23:40:00	24,96	524,65	0,00	880,00	0,00	-524,65	24,78	-203,31
23:50:00	24,78	506,35	0,00	880,00	0,00	-506,35	24,62	-212,19
00:00:00	24,62	488,69	0,00	880,00	0,00	-488,69	24,45	-221,06



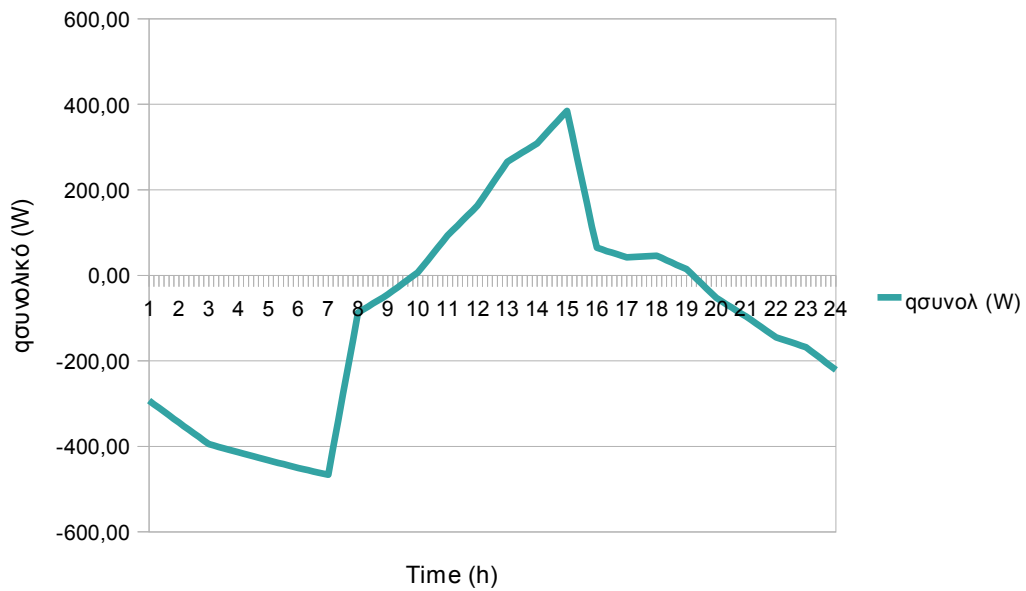
EIKONA 13.6.1: TO q_r ΩΣ ΣΥΝΑΡΤΗΣΗ ΤΗΣ ΩΡΑΣ



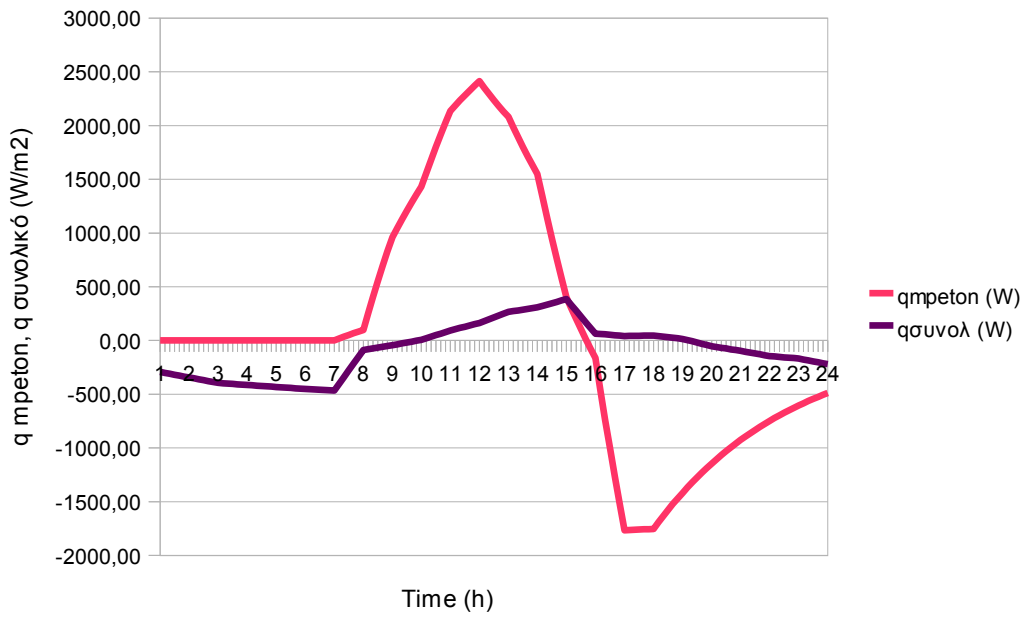
EIKONA 13.6.2: TO q_s ΩΣ ΣΥΝΑΡΤΗΣΗ ΤΗΣ ΩΡΑΣ



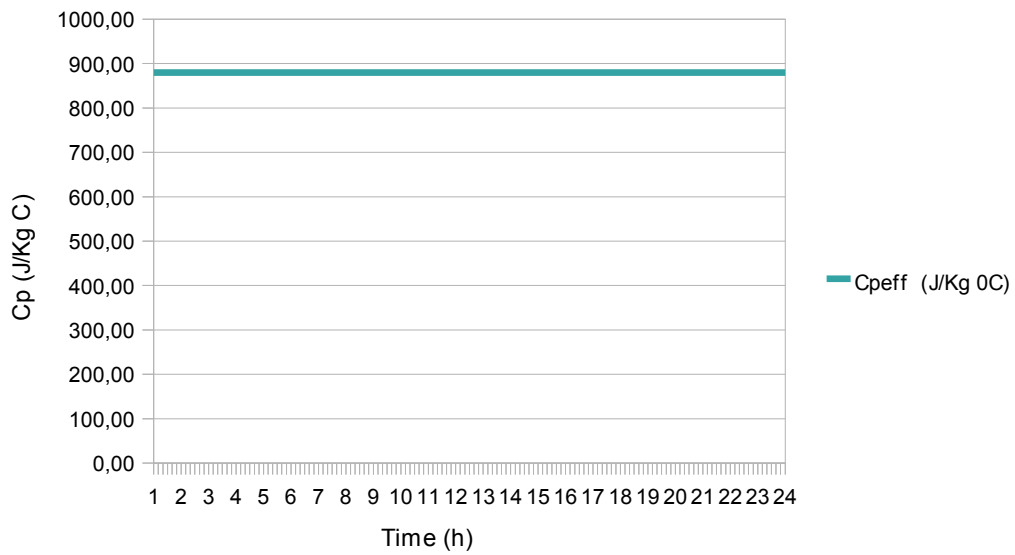
EIKONA 13.6.3: TO qmpeton ΩΣ ΣΥΝΑΡΤΗΣΗ ΤΗΣ ΩΡΑΣ



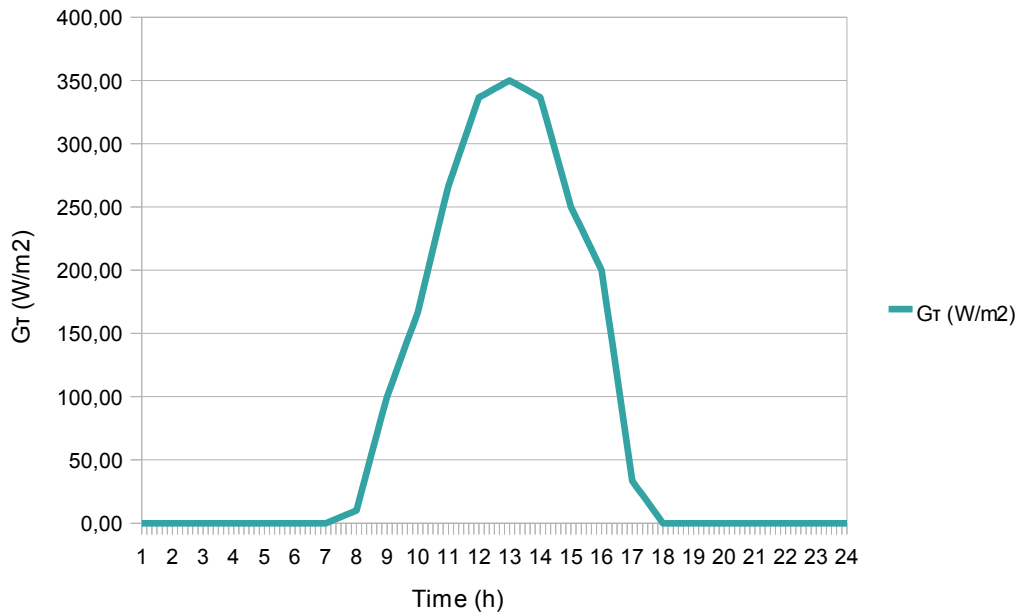
EIKONA 13.6.4: TO qsunolikó ΩΣ ΣΥΝΑΡΤΗΣΗ ΤΗΣ ΩΡΑΣ



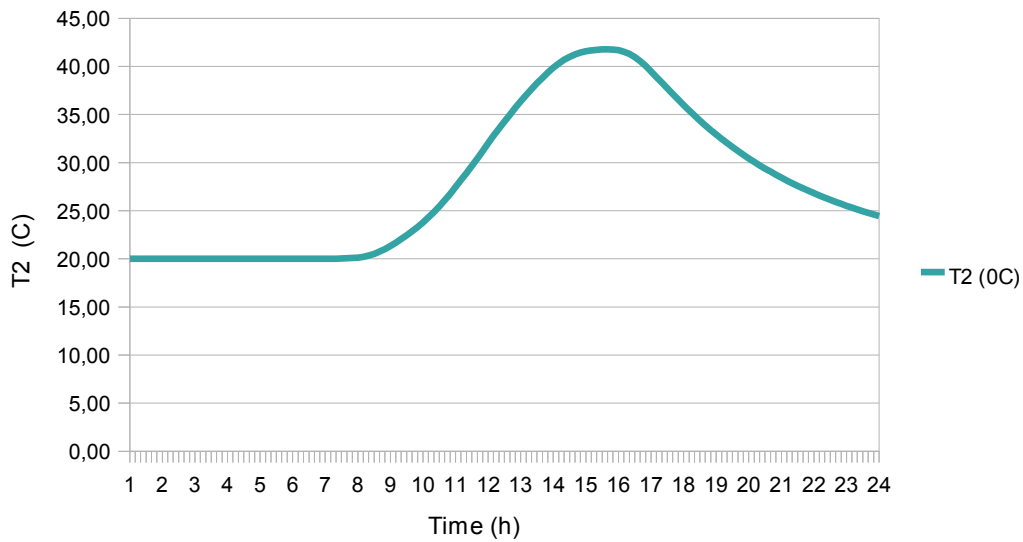
EIKONA 13.6.5: TO qmpeton, qσυνολικό ΩΣ ΣΥΝΑΡΤΗΣΗ ΤΗΣ ΩΡΑΣ



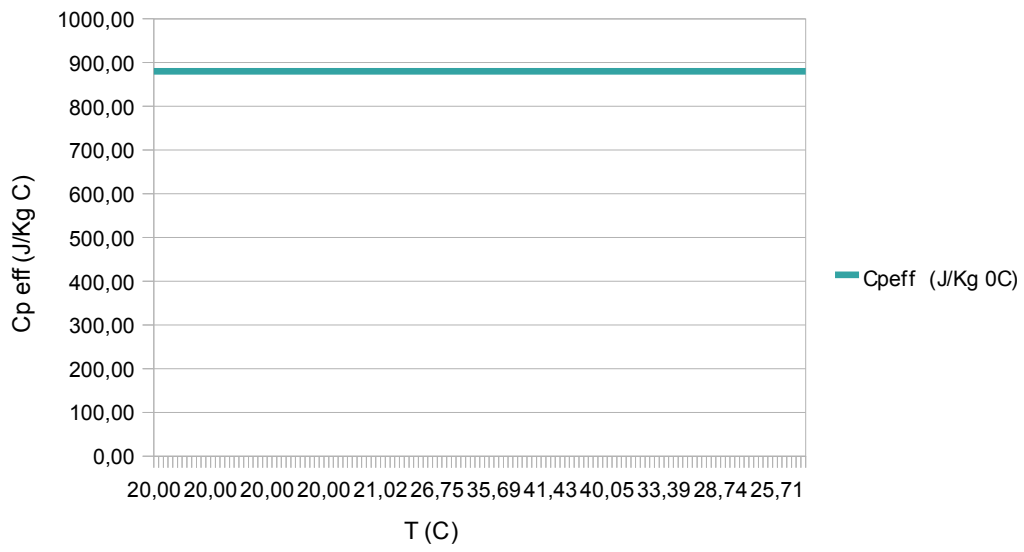
EIKONA 13.6.6: TO Cp ΩΣ ΣΥΝΑΡΤΗΣΗ ΤΗΣ ΩΡΑΣ



EIKONA 13.6.7: TO G_{τ} ΩΣ ΣΥΝΑΡΤΗΣΗ ΤΗΣ ΩΡΑΣ



EIKONA 13.6.8: Η T2 ΩΣ ΣΥΝΑΡΤΗΣΗ ΤΗΣ ΩΡΑΣ



ΕΙΚΟΝΑ 13.6.9: ΤΟ $C_{p\text{eff}}$ ΩΣ ΣΥΝΑΡΤΗΣΗ ΤΗΣ ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑΣ

13.7. Παραλλαγή του προβλήματος (13.5) – Μείωση των διαστάσεων του υαλοπίνακα

Το πρόβλημα που εξετάζουμε είναι παρόμοιο με το πρόβλημα (13.5) με τη διαφορά ότι μειώνουμε το μέγεθος του υαλοπίνακα από 15m^2 σε 5m^2 . Αυτό έχει ως αποτέλεσμα να μεταβάλλεται το ψυκτικό φορτίο του υαλοπίνακα (W). Στο στάδιο αυτό θα ακολουθήσουμε την ίδια διαδικασία που περιγράψαμε στο κεφάλαιο (13.5). Άρα:

$$q_s = 0,88 * 0,9 * 0,9 * G\tau * A \quad (13.7.1)$$

Επιπλέον ισχύει:

$$q_r = h(T_1' - 20) \quad \text{ή} \\ q_r = (1/(1/h + d/k)) * (T_1 - 20) * A \quad (13.7.2)$$

όπου $h = 8\text{W/m}^2\text{°C}$

$T_1' =$ θερμοκρασία του σοβά

$T_1 =$ θερμοκρασία του *room*

$k =$ Θερμική αγωγιμότητα του σοβά ($\text{W/m}^{\circ}\text{C}$)

$d =$ πάχος του σοβά

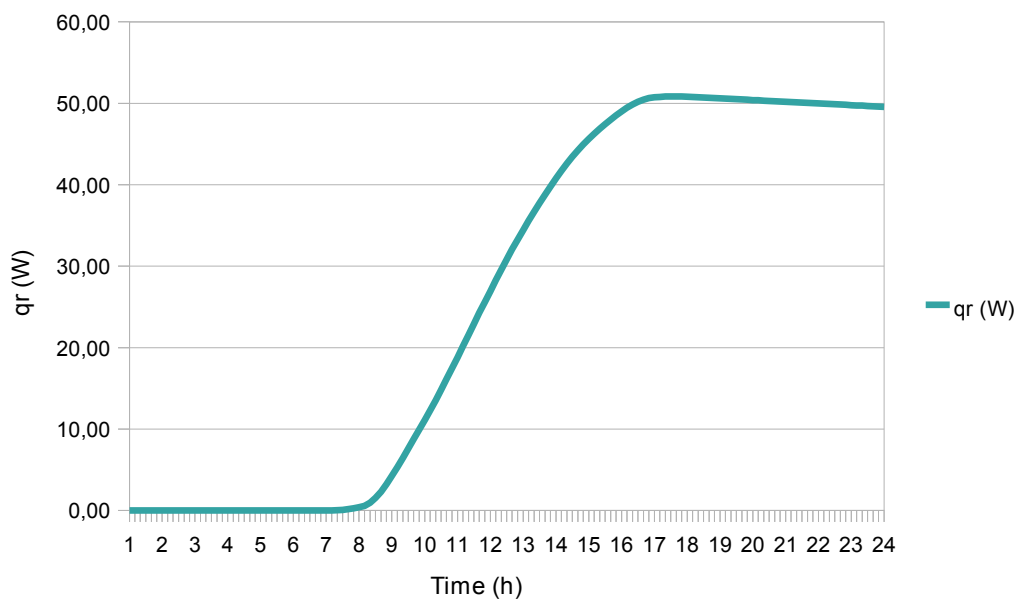
$A =$ εμβαδό υαλοπίνακα, 5m^2

ΠΙΝΑΚΑΣ 13.7.1: Q_r , q_s , q_{rct} , C_{peff} , T , G_t ΚΑΙ $q_{συνολικό}$ ΩΣ ΣΥΝΑΡΤΗΣΗ ΤΗΣ ΩΡΑΣ

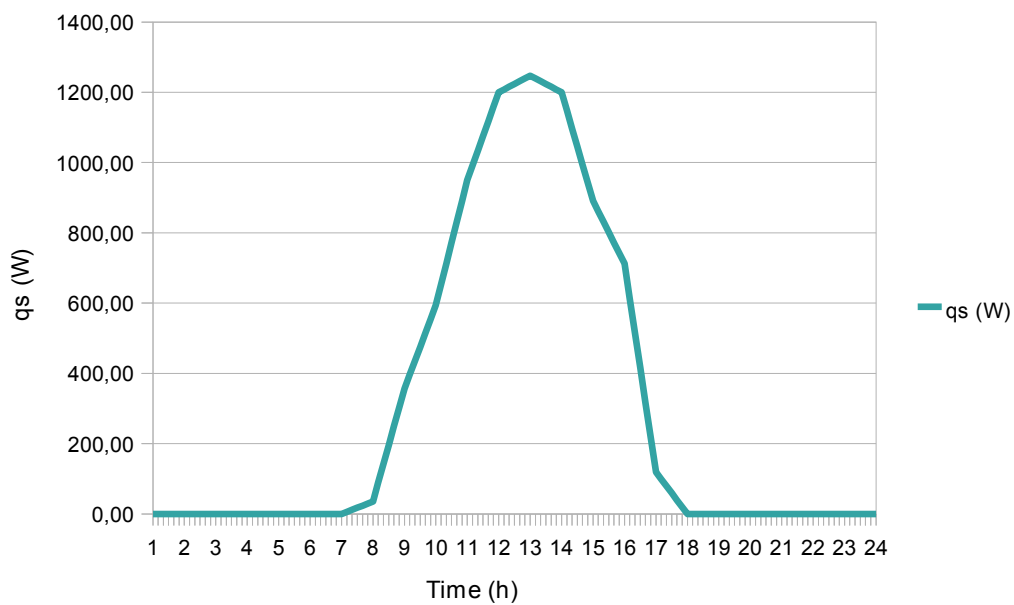
time	Ταρχικό (°C)	q_r (W)	G_t (W/m ²)	C_{peff} (J/Kg °C)	q_s (W)	q_{rct} (W)	T2 (°C)	$q_{συνολ}$ (W)
01:00:00	20,00	0,00	0,00	5000,00	0,00	0,00	20,00	-97,60
01:10:00	20,00	0,00	0,00	5000,00	0,00	0,00	20,00	-100,46
01:20:00	20,00	0,00	0,00	5000,00	0,00	0,00	20,00	-103,32
01:30:00	20,00	0,00	0,00	5000,00	0,00	0,00	20,00	-106,18
01:40:00	20,00	0,00	0,00	5000,00	0,00	0,00	20,00	-109,04
01:50:00	20,00	0,00	0,00	5000,00	0,00	0,00	20,00	-111,90
02:00:00	20,00	0,00	0,00	5000,00	0,00	0,00	20,00	-114,75
02:10:00	20,00	0,00	0,00	5000,00	0,00	0,00	20,00	-117,55
02:20:00	20,00	0,00	0,00	5000,00	0,00	0,00	20,00	-120,35
02:30:00	20,00	0,00	0,00	5000,00	0,00	0,00	20,00	-123,15
02:40:00	20,00	0,00	0,00	5000,00	0,00	0,00	20,00	-125,95
02:50:00	20,00	0,00	0,00	5000,00	0,00	0,00	20,00	-128,75
03:00:00	20,00	0,00	0,00	5000,00	0,00	0,00	20,00	-131,54
03:10:00	20,00	0,00	0,00	5000,00	0,00	0,00	20,00	-132,64
03:20:00	20,00	0,00	0,00	5000,00	0,00	0,00	20,00	-133,74
03:30:00	20,00	0,00	0,00	5000,00	0,00	0,00	20,00	-134,84
03:40:00	20,00	0,00	0,00	5000,00	0,00	0,00	20,00	-135,94
03:50:00	20,00	0,00	0,00	5000,00	0,00	0,00	20,00	-137,04
04:00:00	20,00	0,00	0,00	5000,00	0,00	0,00	20,00	-137,99
04:10:00	20,00	0,00	0,00	5000,00	0,00	0,00	20,00	-139,03
04:20:00	20,00	0,00	0,00	5000,00	0,00	0,00	20,00	-140,06
04:30:00	20,00	0,00	0,00	5000,00	0,00	0,00	20,00	-141,10
04:40:00	20,00	0,00	0,00	5000,00	0,00	0,00	20,00	-142,13
04:50:00	20,00	0,00	0,00	5000,00	0,00	0,00	20,00	-143,17
05:00:00	20,00	0,00	0,00	5000,00	0,00	0,00	20,00	-144,21
05:10:00	20,00	0,00	0,00	5000,00	0,00	0,00	20,00	-145,20
05:20:00	20,00	0,00	0,00	5000,00	0,00	0,00	20,00	-146,20
05:30:00	20,00	0,00	0,00	5000,00	0,00	0,00	20,00	-147,19
05:40:00	20,00	0,00	0,00	5000,00	0,00	0,00	20,00	-148,19
05:50:00	20,00	0,00	0,00	5000,00	0,00	0,00	20,00	-149,18
06:00:00	20,00	0,00	0,00	5000,00	0,00	0,00	20,00	-150,17
06:10:00	20,00	0,00	0,00	5000,00	0,00	0,00	20,00	-151,06
06:20:00	20,00	0,00	0,00	5000,00	0,00	0,00	20,00	-151,96
06:30:00	20,00	0,00	0,00	5000,00	0,00	0,00	20,00	-152,85
06:40:00	20,00	0,00	0,00	5000,00	0,00	0,00	20,00	-153,75
06:50:00	20,00	0,00	0,00	5000,00	0,00	0,00	20,00	-154,64
07:00:00	20,00	0,00	0,00	5000,00	0,00	0,00	20,00	-155,54
07:10:00	20,00	0,00	1,67	5000,00	5,94	5,94	20,00	-134,49
07:20:00	20,00	0,03	3,33	5015,54	11,88	11,85	20,00	-113,44
07:30:00	20,00	0,08	5,00	5046,47	17,82	17,74	20,00	-92,39
07:40:00	20,00	0,16	6,67	5092,46	23,76	23,60	20,01	-71,34
07:50:00	20,01	0,27	8,33	5153,09	29,70	29,43	20,01	-50,29
08:00:00	20,01	0,40	10,00	5227,82	35,64	35,24	20,02	-29,14
08:10:00	20,02	0,56	25,00	5316,01	89,10	88,54	20,03	-26,77
08:20:00	20,03	0,94	40,00	5533,95	142,56	141,62	20,04	-24,39
08:30:00	20,04	1,53	55,00	5868,80	196,02	194,49	20,07	-22,02
08:40:00	20,07	2,30	70,00	6302,41	249,48	247,18	20,09	-19,64
08:50:00	20,09	3,20	85,00	6815,60	302,94	299,74	20,12	-17,27

09:00:00	20,12	4,22	100,00	7391,04	356,40	352,18	20,15	-14,90
09:10:00	20,15	5,32	111,11	8014,52	396,00	390,68	20,18	-12,04
09:20:00	20,18	6,45	122,22	8652,36	435,60	429,15	20,22	-9,18
09:30:00	20,22	7,59	133,33	9301,35	475,20	467,61	20,25	-6,32
09:40:00	20,25	8,75	144,44	9959,17	514,80	506,05	20,28	-3,46
09:50:00	20,28	9,92	155,56	10624,03	554,40	544,48	20,31	-0,60
10:00:00	20,31	11,11	166,67	11294,62	594,00	582,89	20,35	2,25
10:10:00	20,35	12,30	183,33	11969,89	653,40	641,10	20,38	7,05
10:20:00	20,38	13,54	200,00	12670,70	712,80	699,26	20,42	11,85
10:30:00	20,42	14,81	216,67	13392,81	772,20	757,39	20,46	16,65
10:40:00	20,46	16,12	233,33	14132,78	831,60	815,48	20,49	21,45
10:50:00	20,49	17,45	250,00	14887,79	891,00	873,55	20,53	26,25
11:00:00	20,53	18,80	266,67	15655,54	950,40	931,60	20,57	31,09
11:10:00	20,57	20,18	278,33	16434,16	991,98	971,80	20,61	34,97
11:20:00	20,61	21,54	290,00	17207,90	1033,56	1012,02	20,65	38,85
11:30:00	20,65	22,90	301,67	17977,43	1075,14	1052,24	20,69	42,73
11:40:00	20,69	24,25	313,33	18743,29	1116,72	1092,47	20,73	46,61
11:50:00	20,73	25,60	325,00	19505,94	1158,30	1132,70	20,76	50,49
12:00:00	20,76	26,94	336,67	20265,77	1199,88	1172,94	20,80	54,37
12:10:00	20,80	28,28	338,89	21023,09	1207,80	1179,52	20,84	60,07
12:20:00	20,84	29,57	341,11	21757,22	1215,72	1186,15	20,87	65,77
12:30:00	20,87	30,83	343,33	22470,56	1223,64	1192,81	20,91	71,47
12:40:00	20,91	32,06	345,56	23165,14	1231,56	1199,50	20,94	77,17
12:50:00	20,94	33,25	347,78	23842,68	1239,48	1206,23	20,98	82,87
13:00:00	20,98	34,42	350,00	24504,65	1247,40	1212,98	21,01	88,57
13:10:00	21,01	35,56	347,78	25152,34	1239,48	1203,92	21,04	90,96
13:20:00	21,04	36,67	345,56	25778,64	1231,56	1194,89	21,07	93,34
13:30:00	21,07	37,74	343,33	26385,15	1223,64	1185,90	21,10	95,73
13:40:00	21,10	38,78	341,11	26973,25	1215,72	1176,94	21,13	98,11
13:50:00	21,13	39,78	338,89	27544,18	1207,80	1168,02	21,15	100,50
14:00:00	21,15	40,76	336,67	28099,04	1199,88	1159,12	21,18	102,89
14:10:00	21,18	41,72	322,22	28638,80	1148,40	1106,68	21,21	107,14
14:20:00	21,21	42,61	307,78	29144,44	1096,92	1054,31	21,23	111,39
14:30:00	21,23	43,44	293,33	29617,78	1045,44	1002,00	21,25	115,64
14:40:00	21,25	44,22	278,89	30060,45	993,96	949,74	21,27	119,89
14:50:00	21,27	44,95	264,44	30473,85	942,48	897,53	21,29	124,14
15:00:00	21,29	45,63	250,00	30859,23	891,00	845,37	21,31	128,27
15:10:00	21,31	46,27	241,67	31217,67	861,30	815,03	21,33	110,22
15:20:00	21,33	46,87	233,33	31559,29	831,60	784,73	21,34	92,17
15:30:00	21,34	47,44	225,00	31884,64	801,90	754,46	21,36	74,12
15:40:00	21,36	47,99	216,67	32194,26	772,20	724,21	21,37	56,07
15:50:00	21,37	48,51	208,33	32488,60	742,50	693,99	21,39	38,02
16:00:00	21,39	49,00	200,00	32768,10	712,80	663,80	21,40	21,45
16:10:00	21,40	49,47	172,22	33033,16	613,80	564,33	21,41	20,20
16:20:00	21,41	49,86	144,44	33256,70	514,80	464,94	21,42	18,95
16:30:00	21,42	50,19	116,67	33439,63	415,80	365,61	21,43	17,70
16:40:00	21,43	50,44	88,89	33582,69	316,80	266,36	21,43	16,45
16:50:00	21,43	50,62	61,11	33686,47	217,80	167,18	21,44	15,20

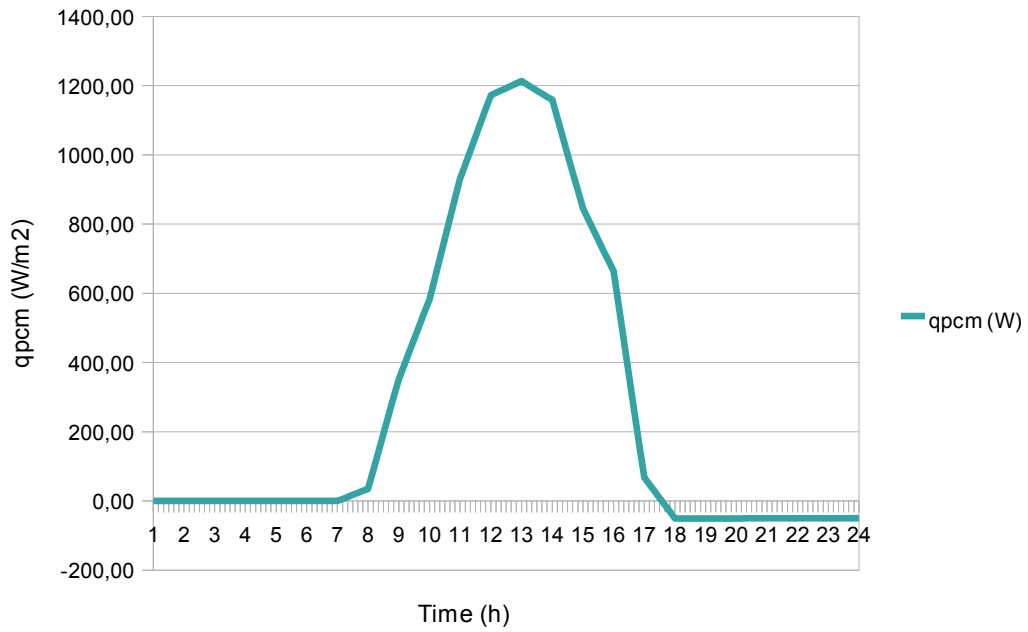
17:00:00	21,44	50,74	33,33	33751,41	118,80	68,06	21,44	13,97
17:10:00	21,44	50,78	27,78	33777,79	99,00	48,22	21,44	14,21
17:20:00	21,44	50,82	22,22	33796,47	79,20	28,38	21,44	14,44
17:30:00	21,44	50,84	16,67	33807,46	59,40	8,56	21,44	14,68
17:40:00	21,44	50,84	11,11	33810,77	39,60	-11,24	21,44	14,91
17:50:00	21,44	50,83	5,56	33806,42	19,80	-31,03	21,44	15,15
18:00:00	21,44	50,81	0,00	33794,41	0,00	-50,81	21,44	15,37
18:10:00	21,44	50,78	0,00	33774,74	0,00	-50,78	21,44	13,61
18:20:00	21,44	50,74	0,00	33755,06	0,00	-50,74	21,44	11,85
18:30:00	21,44	50,71	0,00	33735,39	0,00	-50,71	21,44	10,09
18:40:00	21,44	50,67	0,00	33715,72	0,00	-50,67	21,43	8,33
18:50:00	21,43	50,64	0,00	33696,06	0,00	-50,64	21,43	6,57
19:00:00	21,43	50,61	0,00	33676,39	0,00	-50,61	21,43	4,81
19:10:00	21,43	50,57	0,00	33656,73	0,00	-50,57	21,43	1,07
19:20:00	21,43	50,54	0,00	33637,07	0,00	-50,54	21,43	-2,66
19:30:00	21,43	50,50	0,00	33617,41	0,00	-50,50	21,43	-6,40
19:40:00	21,43	50,47	0,00	33597,76	0,00	-50,47	21,43	-10,13
19:50:00	21,43	50,43	0,00	33578,10	0,00	-50,43	21,43	-13,87
20:00:00	21,43	50,40	0,00	33558,45	0,00	-50,40	21,43	-17,61
20:10:00	21,43	50,36	0,00	33538,80	0,00	-50,36	21,43	-20,04
20:20:00	21,43	50,33	0,00	33519,15	0,00	-50,33	21,42	-22,48
20:30:00	21,42	50,29	0,00	33499,50	0,00	-50,29	21,42	-24,91
20:40:00	21,42	50,26	0,00	33479,86	0,00	-50,26	21,42	-27,35
20:50:00	21,42	50,22	0,00	33460,22	0,00	-50,22	21,42	-29,78
21:00:00	21,42	50,19	0,00	33440,58	0,00	-50,19	21,42	-32,20
21:10:00	21,42	50,15	0,00	33420,94	0,00	-50,15	21,42	-34,90
21:20:00	21,42	50,12	0,00	33401,30	0,00	-50,12	21,42	-37,60
21:30:00	21,42	50,09	0,00	33381,67	0,00	-50,09	21,42	-40,30
21:40:00	21,42	50,05	0,00	33362,04	0,00	-50,05	21,42	-43,00
21:50:00	21,42	50,02	0,00	33342,41	0,00	-50,02	21,42	-45,70
22:00:00	21,42	49,98	0,00	33322,78	0,00	-49,98	21,42	-48,41
22:10:00	21,42	49,95	0,00	33303,15	0,00	-49,95	21,41	-49,66
22:20:00	21,41	49,91	0,00	33283,53	0,00	-49,91	21,41	-50,92
22:30:00	21,41	49,88	0,00	33263,91	0,00	-49,88	21,41	-52,17
22:40:00	21,41	49,84	0,00	33244,29	0,00	-49,84	21,41	-53,43
22:50:00	21,41	49,81	0,00	33224,67	0,00	-49,81	21,41	-54,68
23:00:00	21,41	49,77	0,00	33205,05	0,00	-49,77	21,41	-55,93
23:10:00	21,41	49,74	0,00	33185,44	0,00	-49,74	21,41	-58,89
23:20:00	21,41	49,70	0,00	33165,83	0,00	-49,70	21,41	-61,85
23:30:00	21,41	49,67	0,00	33146,22	0,00	-49,67	21,41	-64,81
23:40:00	21,41	49,64	0,00	33126,61	0,00	-49,64	21,41	-67,77
23:50:00	21,41	49,60	0,00	33107,01	0,00	-49,60	21,40	-70,73
00:00:00	21,40	49,57	0,00	33087,40	0,00	-49,57	21,40	-73,69



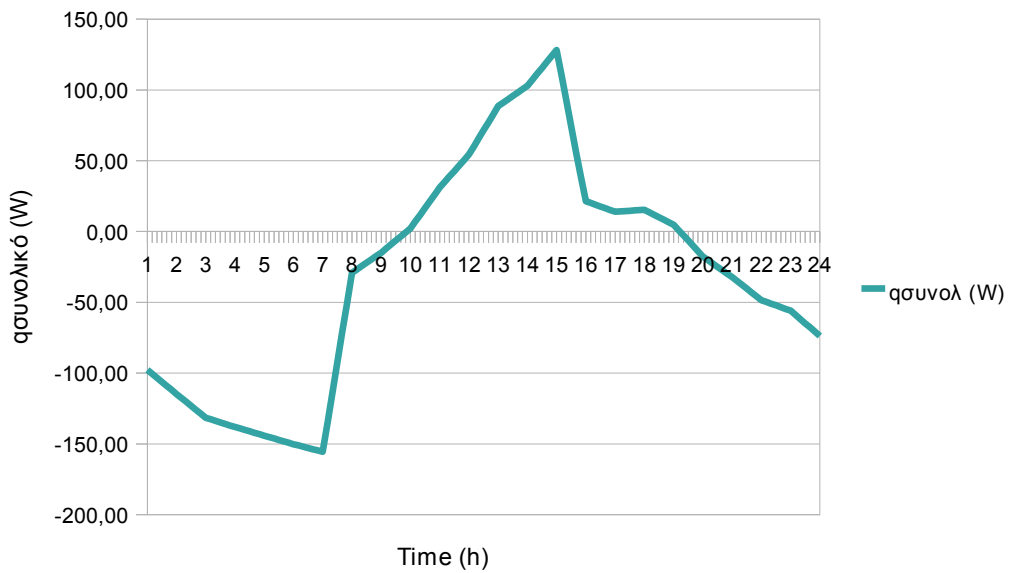
EIKONA 13.7.1: TO qr ΩΣ ΣΥΝΑΡΤΗΣΗ ΤΗΣ ΩΡΑΣ



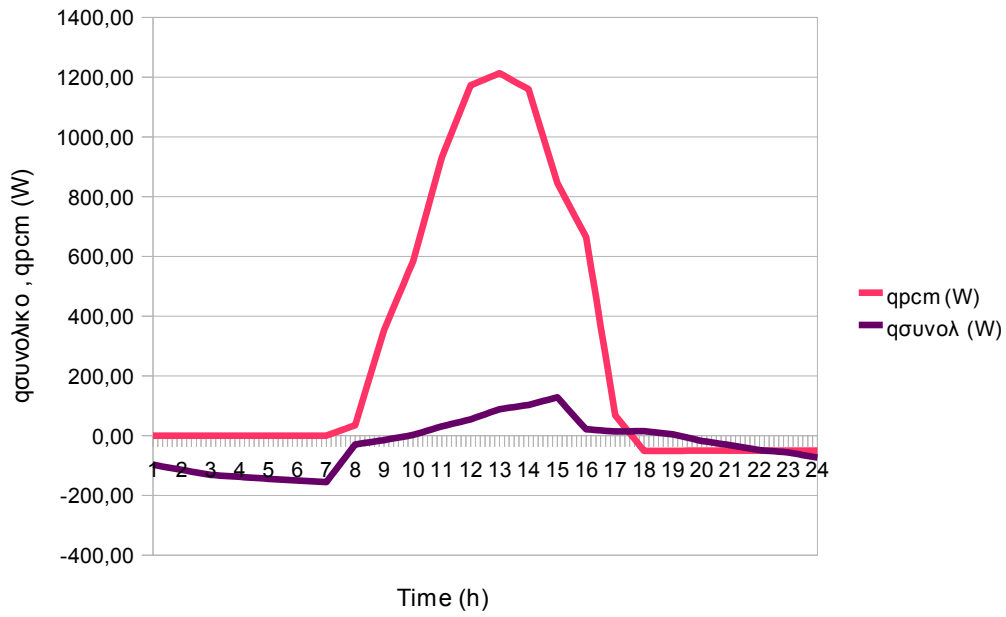
EIKONA 13.7.2: TO qs ΩΣ ΣΥΝΑΡΤΗΣΗ ΤΗΣ ΩΡΑΣ



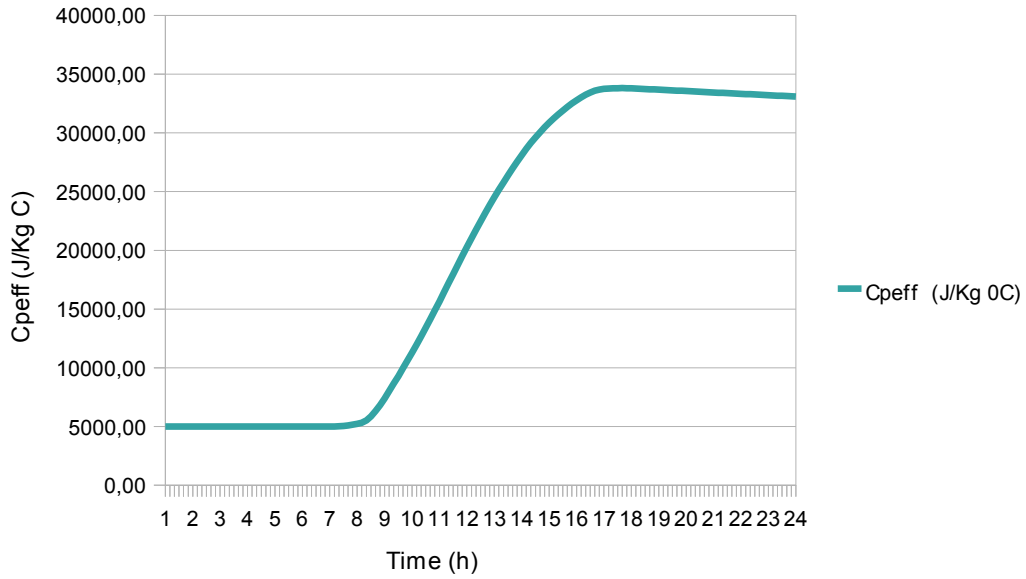
EIKONA 13.7.3: TO qpcm ΩΣ ΣΥΝΑΡΤΗΣΗ ΤΗΣ ΩΡΑΣ



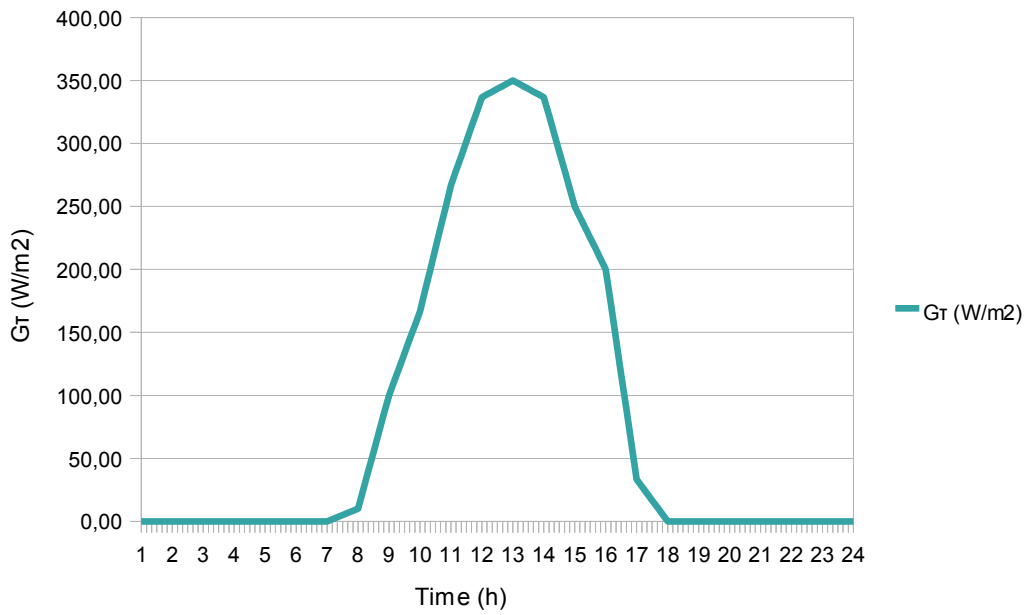
EIKONA 13.7.4: TO qσυνολικό ΩΣ ΣΥΝΑΡΤΗΣΗ ΤΗΣ ΩΡΑΣ



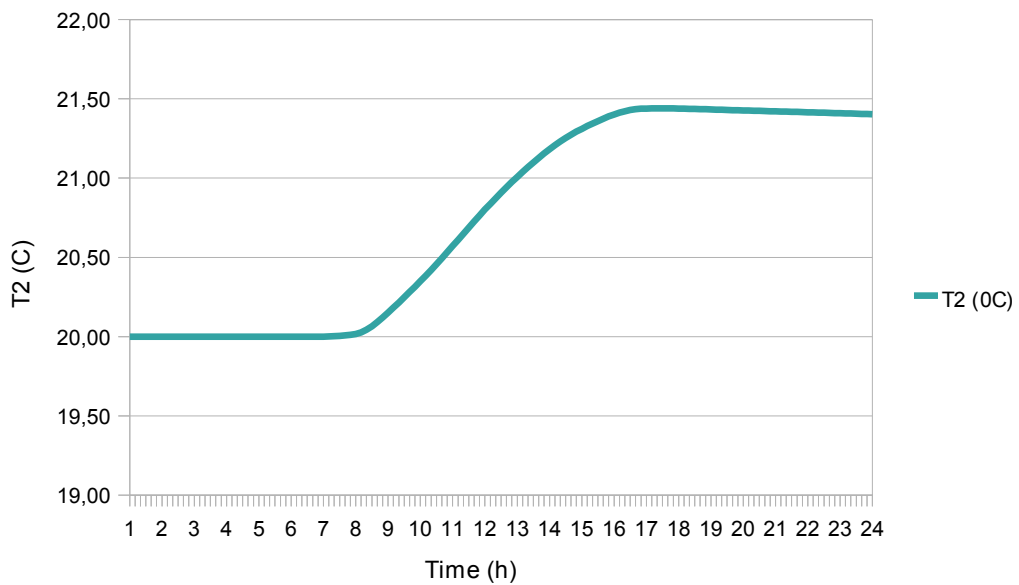
ΕΙΚΟΝΑ 13.7.5:ΤΟ qσολΙΚΟ ΚΑΙ ΤΟ qpcσ ΩΣ ΣΥΝΑΡΤΗΣΗ ΤΗΣ ΩΡΑΣ



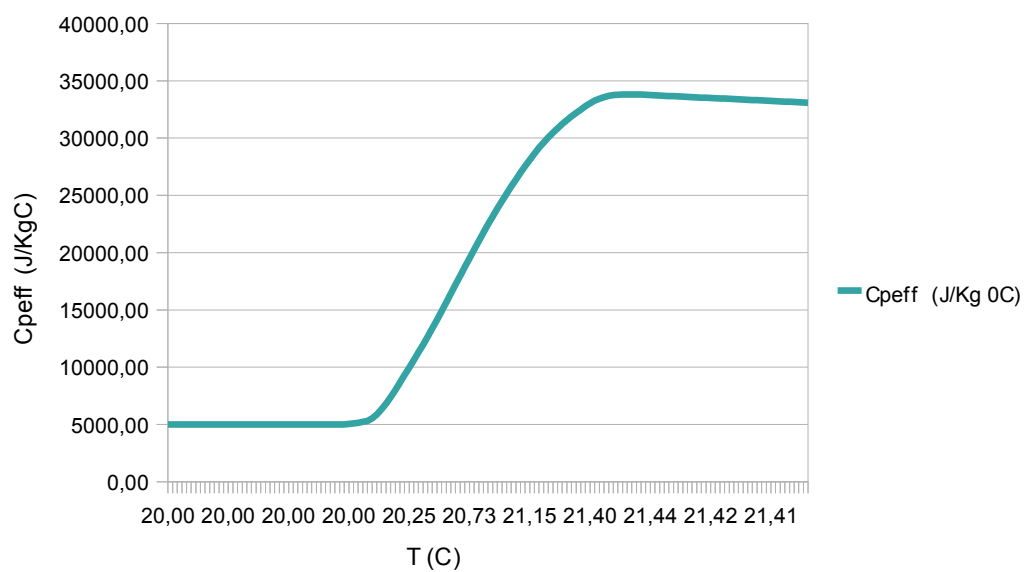
ΕΙΚΟΝΑ 13.7.6:ΤΟ Cpeff ΩΣ ΣΥΝΑΡΤΗΣΗ ΤΗΣ ΩΡΑΣ



EIKONA 13.7.7: TO G_{τ} ΩΣ ΣΥΝΑΡΤΗΣΗ ΤΗΣ ΩΡΑΣ



EIKONA 13.7.8: Η T_2 ΩΣ ΣΥΝΑΡΤΗΣΗ ΤΗΣ ΩΡΑΣ



ΕΙΚΟΝΑ 13.7.9:ΤΟ C_{peff} ΩΣ ΣΥΝΑΡΤΗΣΗ ΤΗΣ ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑΣ

13.8. Παραλλαγή του προβλήματος (13.5) – Αύξηση των διαστάσεων του υαλοπίνακα

Το πρόβλημα που εξετάζουμε είναι παρόμοιο με το πρόβλημα (13.5) με τη διαφορά ότι αυξάνουμε το μέγεθος του υαλοπίνακα από 15m² σε 29m². Αυτό έχει ως αποτέλεσμα να μεταβάλλεται το ψυκτικό φορτίο του υαλοπίνακα (W). Στο στάδιο αυτό θα ακολουθήσουμε την ίδια διαδικασία που περιγράψαμε στο κεφάλαιο (13.5). Άρα:

$$q_s = 0,88 * 0,9 * 0,9 * G\tau * A \quad (13.8.1)$$

Επιπλέον ισχύει:

$$q_r = h(T_1' - 20) \text{ ή} \\ q_r = (1/(1/h + d/k)) * (T_1 - 20) * A \quad (13.8.2)$$

όπου $h = 8 \text{ W/m}^2 \text{ } ^\circ\text{C}$

$T_1' =$ θερμοκρασία του σοβά

$T_1 =$ θερμοκρασία του room

$k =$ Θερμική αγωγιμότητα του σοβά ($\text{W/m } ^\circ\text{C}$)

$d =$ πάχος του σοβά

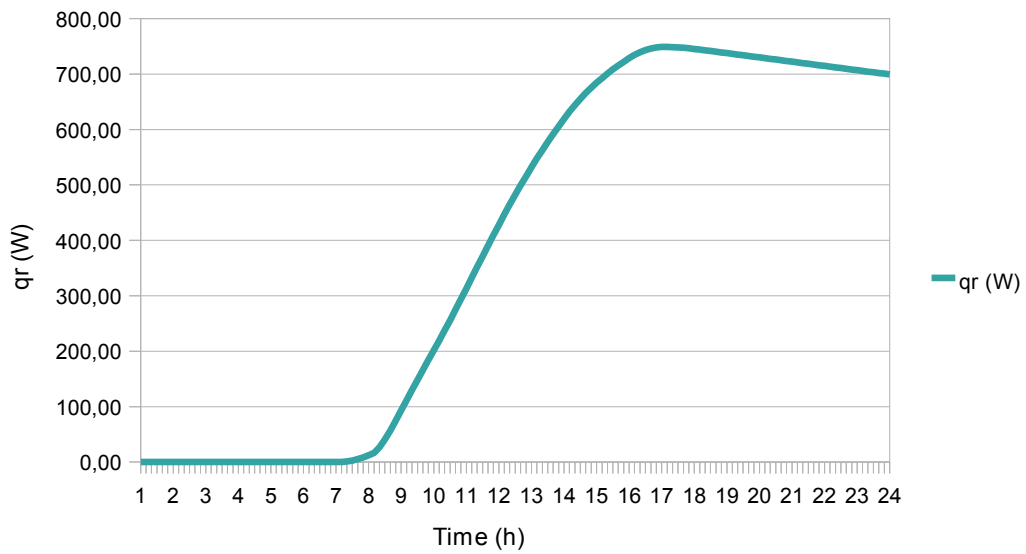
$A =$ εμβαδό υαλοπίνακα, 29 m²

ΠΙΝΑΚΑΣ 13.8.1: Q_r , q_s , q_{rcm} , C_{peff} , T , G_t ΚΑΙ $q_{συνολικό}$ ΩΣ
ΣΥΝΑΡΤΗΣΗ ΤΗΣ ΩΡΑΣ

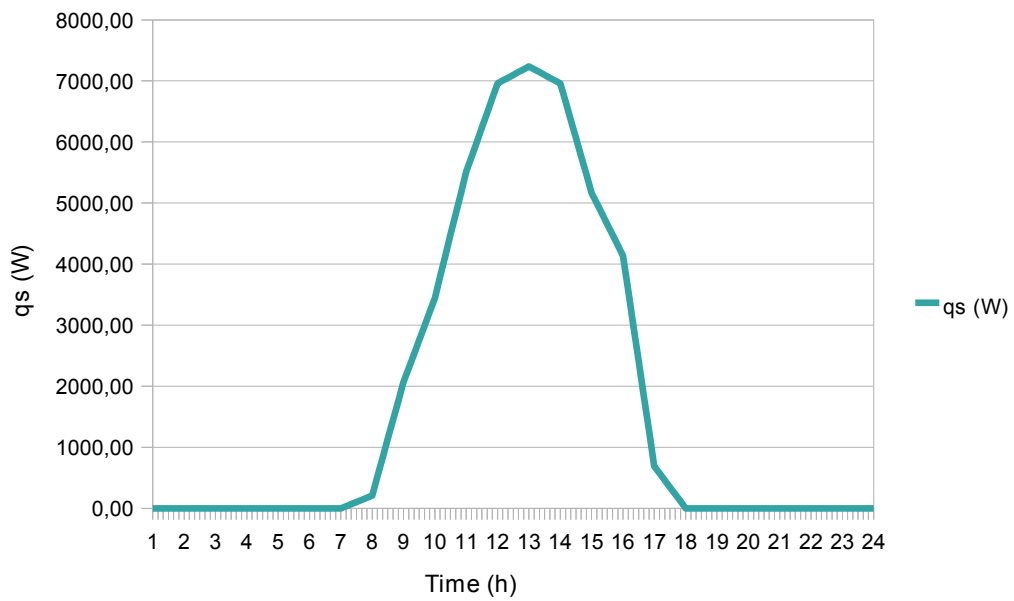
time	Ταρχικό (°C)	q_r (W)	G_t (W/m ²)	C_{peff} (J/Kg °C)	q_s (W)	q_{rcm} (W)	T_2 (°C)	$q_{συνολ}$ (W)
01:00:00	20,00	0,00	0,00	5000,00	0,00	0,00	20,00	-566,08
01:10:00	20,00	0,00	0,00	5000,00	0,00	0,00	20,00	-582,67
01:20:00	20,00	0,00	0,00	5000,00	0,00	0,00	20,00	-599,26
01:30:00	20,00	0,00	0,00	5000,00	0,00	0,00	20,00	-615,84
01:40:00	20,00	0,00	0,00	5000,00	0,00	0,00	20,00	-632,43
01:50:00	20,00	0,00	0,00	5000,00	0,00	0,00	20,00	-649,02
02:00:00	20,00	0,00	0,00	5000,00	0,00	0,00	20,00	-665,54
02:10:00	20,00	0,00	0,00	5000,00	0,00	0,00	20,00	-681,78
02:20:00	20,00	0,00	0,00	5000,00	0,00	0,00	20,00	-698,02
02:30:00	20,00	0,00	0,00	5000,00	0,00	0,00	20,00	-714,26
02:40:00	20,00	0,00	0,00	5000,00	0,00	0,00	20,00	-730,50
02:50:00	20,00	0,00	0,00	5000,00	0,00	0,00	20,00	-746,74
03:00:00	20,00	0,00	0,00	5000,00	0,00	0,00	20,00	-762,92
03:10:00	20,00	0,00	0,00	5000,00	0,00	0,00	20,00	-769,30
03:20:00	20,00	0,00	0,00	5000,00	0,00	0,00	20,00	-775,68
03:30:00	20,00	0,00	0,00	5000,00	0,00	0,00	20,00	-782,06
03:40:00	20,00	0,00	0,00	5000,00	0,00	0,00	20,00	-788,44
03:50:00	20,00	0,00	0,00	5000,00	0,00	0,00	20,00	-794,82
04:00:00	20,00	0,00	0,00	5000,00	0,00	0,00	20,00	-800,34
04:10:00	20,00	0,00	0,00	5000,00	0,00	0,00	20,00	-806,35
04:20:00	20,00	0,00	0,00	5000,00	0,00	0,00	20,00	-812,35
04:30:00	20,00	0,00	0,00	5000,00	0,00	0,00	20,00	-818,35
04:40:00	20,00	0,00	0,00	5000,00	0,00	0,00	20,00	-824,36
04:50:00	20,00	0,00	0,00	5000,00	0,00	0,00	20,00	-830,36
05:00:00	20,00	0,00	0,00	5000,00	0,00	0,00	20,00	-836,39
05:10:00	20,00	0,00	0,00	5000,00	0,00	0,00	20,00	-842,16
05:20:00	20,00	0,00	0,00	5000,00	0,00	0,00	20,00	-847,93
05:30:00	20,00	0,00	0,00	5000,00	0,00	0,00	20,00	-853,70
05:40:00	20,00	0,00	0,00	5000,00	0,00	0,00	20,00	-859,47
05:50:00	20,00	0,00	0,00	5000,00	0,00	0,00	20,00	-865,24
06:00:00	20,00	0,00	0,00	5000,00	0,00	0,00	20,00	-870,97
06:10:00	20,00	0,00	0,00	5000,00	0,00	0,00	20,00	-876,16
06:20:00	20,00	0,00	0,00	5000,00	0,00	0,00	20,00	-881,35
06:30:00	20,00	0,00	0,00	5000,00	0,00	0,00	20,00	-886,54
06:40:00	20,00	0,00	0,00	5000,00	0,00	0,00	20,00	-891,73
06:50:00	20,00	0,00	0,00	5000,00	0,00	0,00	20,00	-896,92
07:00:00	20,00	0,00	0,00	5000,00	0,00	0,00	20,00	-902,13
07:10:00	20,00	0,00	1,67	5000,00	34,45	34,45	20,00	-780,04
07:20:00	20,00	0,92	3,33	5090,16	68,90	67,98	20,01	-657,95
07:30:00	20,01	2,71	5,00	5264,91	103,36	100,64	20,03	-535,86
07:40:00	20,03	5,27	6,67	5515,04	137,81	132,54	20,04	-413,77
07:50:00	20,04	8,49	8,33	5829,49	172,26	163,77	20,06	-291,68
08:00:00	20,06	12,25	10,00	6197,08	206,71	194,46	20,08	-169,04
08:10:00	20,08	16,45	25,00	6607,67	516,78	500,33	20,13	-155,26
08:20:00	20,13	26,60	40,00	7598,43	826,85	800,25	20,20	-141,49
08:30:00	20,20	40,70	55,00	8976,49	1136,92	1096,22	20,28	-127,71
08:40:00	20,28	57,06	70,00	10574,41	1446,98	1389,93	20,36	-113,94
08:50:00	20,36	74,66	85,00	12294,30	1757,05	1682,39	20,45	-100,16

09:00:00	20,45	92,99	100,00	14084,85	2067,12	1974,13	20,55	-86,41
09:10:00	20,55	111,76	111,11	15918,81	2296,80	2185,04	20,64	-69,82
09:20:00	20,64	130,14	122,22	17714,84	2526,48	2396,34	20,72	-53,23
09:30:00	20,72	148,26	133,33	19484,85	2756,16	2607,90	20,81	-36,65
09:40:00	20,81	166,18	144,44	21236,14	2985,84	2819,66	20,90	-20,06
09:50:00	20,90	183,96	155,56	22973,49	3215,52	3031,56	20,99	-3,47
10:00:00	20,99	201,64	166,67	24700,13	3445,20	3243,56	21,07	13,04
10:10:00	21,07	219,22	183,33	26418,39	3789,72	3570,50	21,16	40,88
10:20:00	21,16	237,32	200,00	28186,81	4134,24	3896,92	21,25	68,72
10:30:00	21,25	255,84	216,67	29995,82	4478,76	4222,92	21,34	96,56
10:40:00	21,34	274,69	233,33	31837,93	4823,28	4548,59	21,44	124,40
10:50:00	21,44	293,83	250,00	33707,31	5167,80	4873,97	21,53	152,24
11:00:00	21,53	313,19	266,67	35599,32	5512,32	5199,13	21,63	180,33
11:10:00	21,63	332,75	278,33	37510,28	5753,48	5420,73	21,72	202,83
11:20:00	21,72	352,11	290,00	39401,20	5994,65	5642,54	21,81	225,34
11:30:00	21,81	371,29	301,67	41275,03	6235,81	5864,53	21,91	247,84
11:40:00	21,91	390,31	313,33	43134,16	6476,98	6086,66	22,00	270,35
11:50:00	22,00	409,21	325,00	44980,55	6718,14	6308,93	22,09	292,85
12:00:00	22,09	428,00	336,67	46815,80	6959,30	6531,31	22,18	315,35
12:10:00	22,18	446,68	338,89	48641,26	7005,24	6558,56	22,27	348,41
12:20:00	22,27	464,74	341,11	50405,54	7051,18	6586,44	22,36	381,47
12:30:00	22,36	482,24	343,33	52115,31	7097,11	6614,87	22,44	414,53
12:40:00	22,44	499,24	345,56	53776,12	7143,05	6643,81	22,52	447,59
12:50:00	22,52	515,78	347,78	55392,68	7188,98	6673,20	22,60	480,65
13:00:00	22,60	531,92	350,00	56969,01	7234,92	6703,00	22,68	513,73
13:10:00	22,68	547,68	347,78	58508,56	7188,98	6641,31	22,75	527,57
13:20:00	22,75	562,88	345,56	59993,81	7143,05	6580,17	22,82	541,40
13:30:00	22,82	577,57	343,33	61428,95	7097,11	6519,55	22,89	555,23
13:40:00	22,89	591,78	341,11	62817,65	7051,18	6459,40	22,96	569,07
13:50:00	22,96	605,55	338,89	64163,13	7005,24	6399,69	23,02	582,90
14:00:00	23,02	618,91	336,67	65468,21	6959,30	6340,39	23,09	596,79
14:10:00	23,09	631,88	322,22	66735,42	6660,72	6028,84	23,15	621,44
14:20:00	23,15	643,98	307,78	67917,49	6362,14	5718,16	23,20	646,09
14:30:00	23,20	655,25	293,33	69019,13	6063,55	5408,30	23,25	670,74
14:40:00	23,25	665,75	278,89	70044,44	5764,97	5099,22	23,30	695,39
14:50:00	23,30	675,50	264,44	70997,00	5466,38	4790,89	23,34	720,04
15:00:00	23,34	684,54	250,00	71879,96	5167,80	4483,26	23,38	743,96
15:10:00	23,38	692,89	241,67	72696,08	4995,54	4302,65	23,42	639,27
15:20:00	23,42	700,82	233,33	73470,52	4823,28	4122,46	23,46	534,58
15:30:00	23,46	708,33	225,00	74204,71	4651,02	3942,69	23,49	429,89
15:40:00	23,49	715,45	216,67	74899,94	4478,76	3763,31	23,53	325,20
15:50:00	23,53	722,18	208,33	75557,37	4306,50	3584,32	23,56	220,51
16:00:00	23,56	728,53	200,00	76178,09	4134,24	3405,71	23,59	124,41
16:10:00	23,59	734,52	172,22	76763,07	3560,04	2825,52	23,61	117,16
16:20:00	23,61	739,45	144,44	77244,70	2985,84	2246,39	23,63	109,91
16:30:00	23,63	743,34	116,67	77625,22	2411,64	1668,30	23,65	102,66
16:40:00	23,65	746,22	88,89	77906,44	1837,44	1091,22	23,65	95,41
16:50:00	23,65	748,09	61,11	78089,71	1263,24	515,15	23,66	88,16

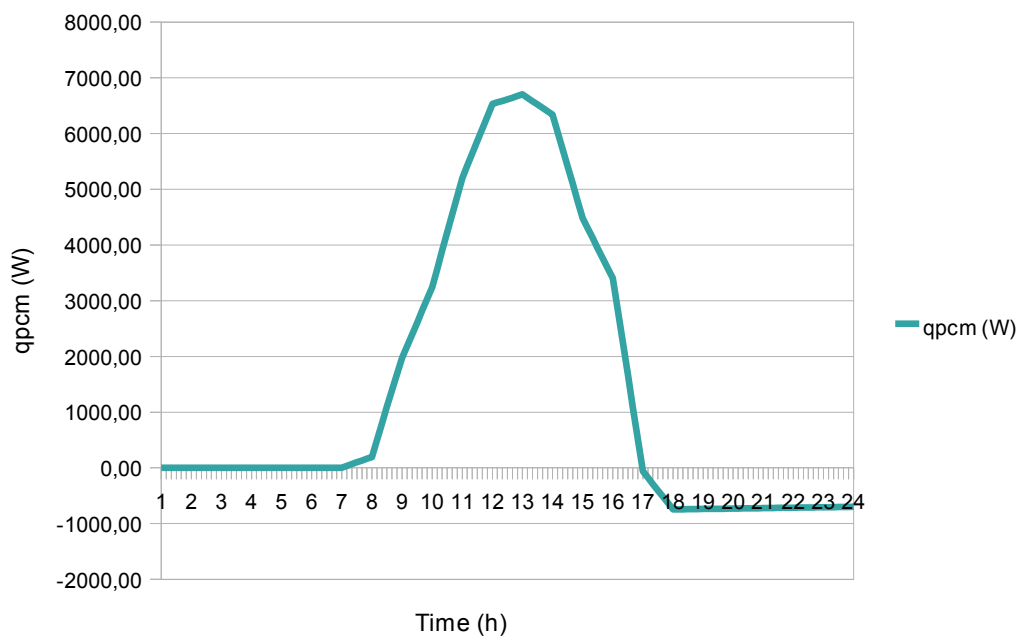
17:00:00	23,66	748,98	33,33	78176,03	689,04	-59,94	23,66	81,03
17:10:00	23,66	748,88	27,78	78166,00	574,20	-174,68	23,66	82,39
17:20:00	23,66	748,58	22,22	78136,76	459,36	-289,22	23,65	83,76
17:30:00	23,65	748,08	16,67	78088,33	344,52	-403,56	23,65	85,12
17:40:00	23,65	747,39	11,11	78020,70	229,68	-517,71	23,65	86,48
17:50:00	23,65	746,50	5,56	77933,88	114,84	-631,66	23,64	87,85
18:00:00	23,64	745,41	0,00	77827,83	0,00	-745,41	23,64	89,16
18:10:00	23,64	744,13	0,00	77702,50	0,00	-744,13	23,63	78,95
18:20:00	23,63	742,85	0,00	77577,20	0,00	-742,85	23,62	68,74
18:30:00	23,62	741,57	0,00	77451,90	0,00	-741,57	23,62	58,53
18:40:00	23,62	740,28	0,00	77326,62	0,00	-740,28	23,61	48,32
18:50:00	23,61	739,00	0,00	77201,36	0,00	-739,00	23,60	38,12
19:00:00	23,60	737,72	0,00	77076,10	0,00	-737,72	23,60	27,87
19:10:00	23,60	736,44	0,00	76950,87	0,00	-736,44	23,59	6,21
19:20:00	23,59	735,16	0,00	76825,64	0,00	-735,16	23,59	-15,46
19:30:00	23,59	733,88	0,00	76700,43	0,00	-733,88	23,58	-37,12
19:40:00	23,58	732,59	0,00	76575,24	0,00	-732,59	23,57	-58,78
19:50:00	23,57	731,31	0,00	76450,06	0,00	-731,31	23,57	-80,45
20:00:00	23,57	730,03	0,00	76324,89	0,00	-730,03	23,56	-102,11
20:10:00	23,56	728,75	0,00	76199,74	0,00	-728,75	23,55	-116,23
20:20:00	23,55	727,47	0,00	76074,60	0,00	-727,47	23,55	-130,36
20:30:00	23,55	726,19	0,00	75949,47	0,00	-726,19	23,54	-144,48
20:40:00	23,54	724,91	0,00	75824,36	0,00	-724,91	23,53	-158,60
20:50:00	23,53	723,63	0,00	75699,27	0,00	-723,63	23,53	-172,73
21:00:00	23,53	722,35	0,00	75574,19	0,00	-722,35	23,52	-186,78
21:10:00	23,52	721,07	0,00	75449,12	0,00	-721,07	23,52	-202,44
21:20:00	23,52	719,79	0,00	75324,07	0,00	-719,79	23,51	-218,10
21:30:00	23,51	718,51	0,00	75199,04	0,00	-718,51	23,50	-233,76
21:40:00	23,50	717,23	0,00	75074,02	0,00	-717,23	23,50	-249,42
21:50:00	23,50	715,95	0,00	74949,01	0,00	-715,95	23,49	-265,08
22:00:00	23,49	714,67	0,00	74824,02	0,00	-714,67	23,48	-280,75
22:10:00	23,48	713,39	0,00	74699,04	0,00	-713,39	23,48	-288,03
22:20:00	23,48	712,11	0,00	74574,08	0,00	-712,11	23,47	-295,31
22:30:00	23,47	710,83	0,00	74449,13	0,00	-710,83	23,47	-302,59
22:40:00	23,47	709,55	0,00	74324,20	0,00	-709,55	23,46	-309,87
22:50:00	23,46	708,28	0,00	74199,29	0,00	-708,28	23,45	-317,14
23:00:00	23,45	707,00	0,00	74074,38	0,00	-707,00	23,45	-324,40
23:10:00	23,45	705,72	0,00	73949,50	0,00	-705,72	23,44	-341,57
23:20:00	23,44	704,44	0,00	73824,63	0,00	-704,44	23,43	-358,74
23:30:00	23,43	703,16	0,00	73699,77	0,00	-703,16	23,43	-375,90
23:40:00	23,43	701,88	0,00	73574,93	0,00	-701,88	23,42	-393,07
23:50:00	23,42	700,61	0,00	73450,11	0,00	-700,61	23,42	-410,24
00:00:00	23,42	699,33	0,00	73325,30	0,00	-699,33	23,41	-427,38



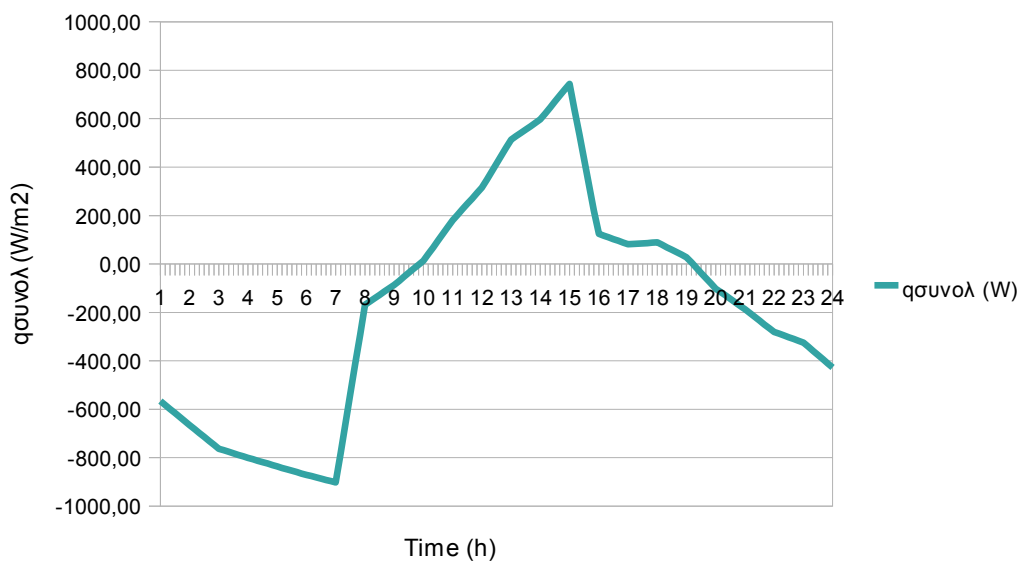
EIKONA 13.8.1: TO q_r ΩΣ ΣΥΝΑΡΤΗΣΗ ΤΗΣ ΩΡΑΣ



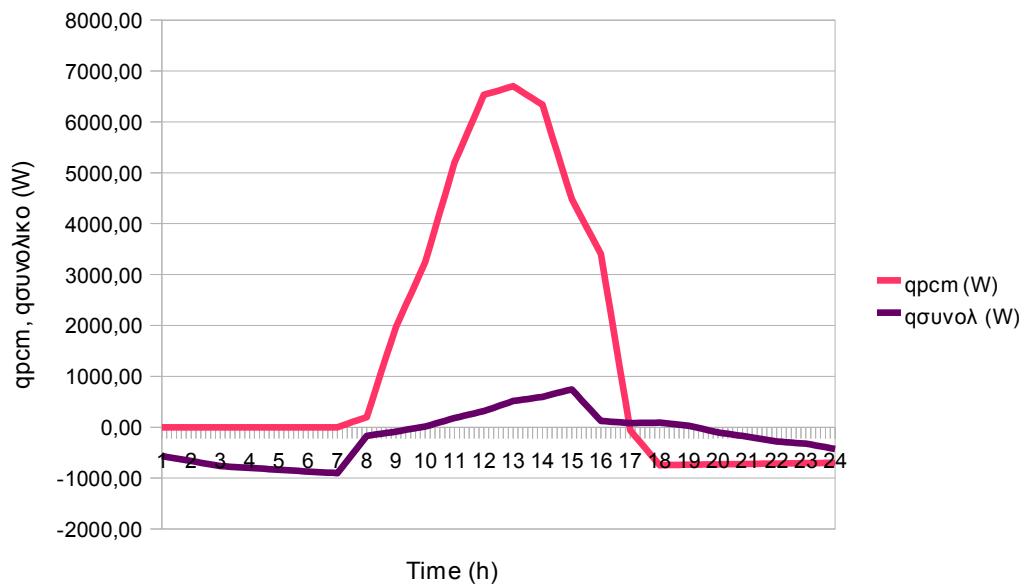
EIKONA 13.8.2: TO q_s ΩΣ ΣΥΝΑΡΤΗΣΗ ΤΗΣ ΩΡΑΣ



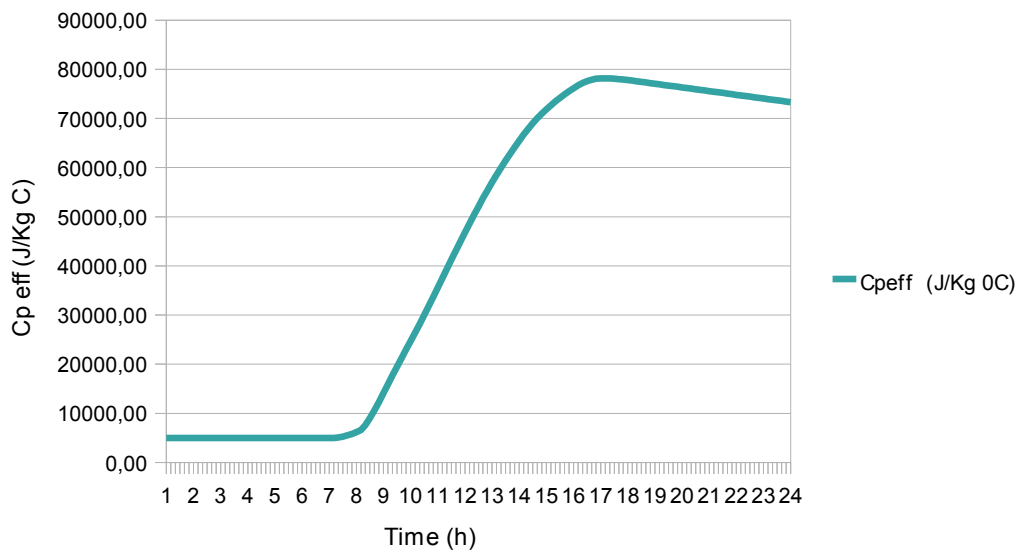
EIKONA 13.8.3: TO qpcm ΩΣ ΣΥΝΑΡΤΗΣΗ ΤΗΣ ΩΡΑΣ



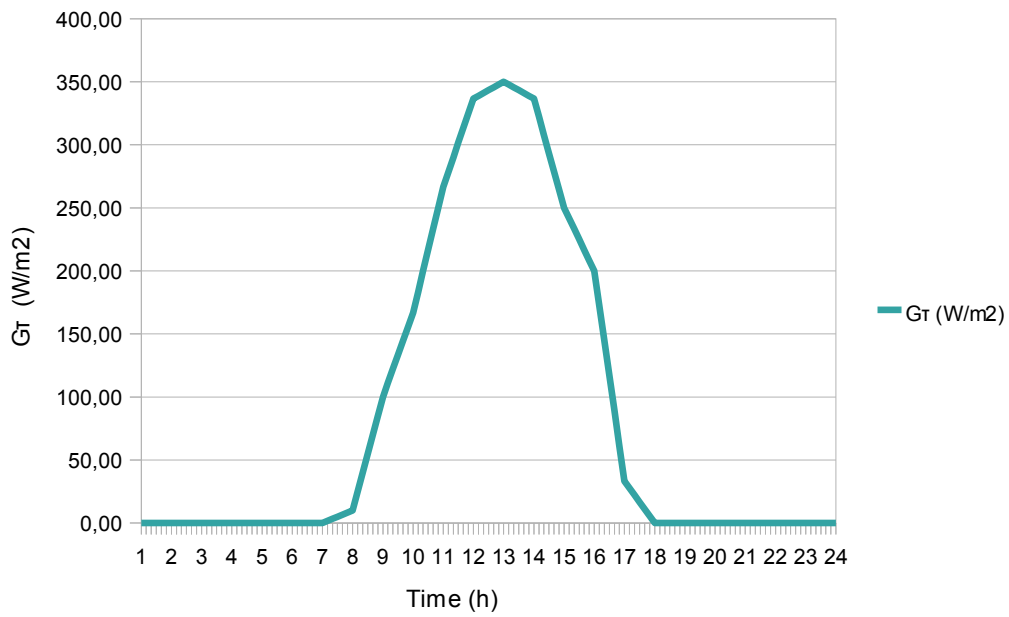
EIKONA 13.8.4: TO qσυνολικό ΩΣ ΣΥΝΑΡΤΗΣΗ ΤΗΣ ΩΡΑΣ



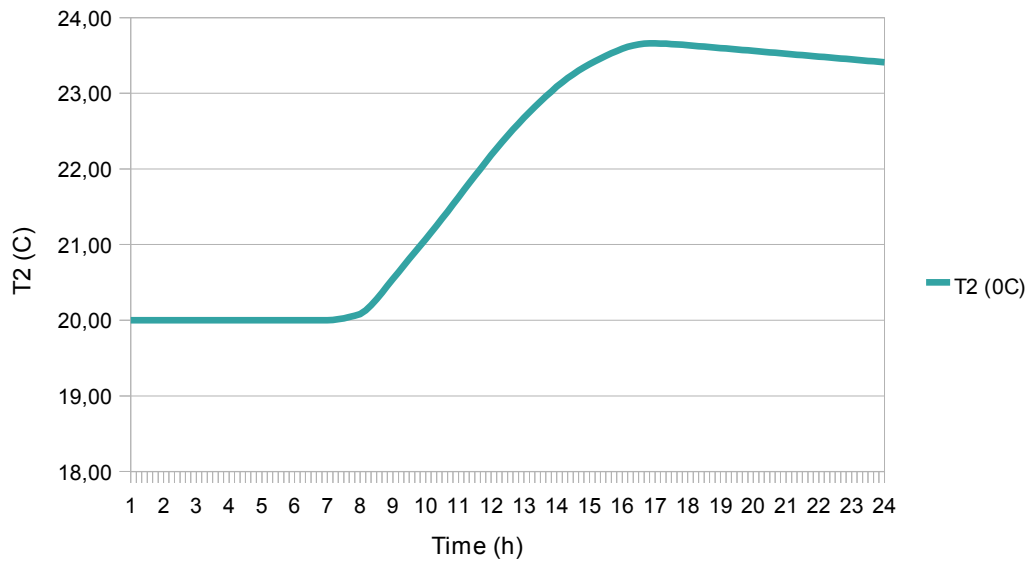
EIKONA 13.8.5: TO q_{pcm} , $q_{\sigma\upsilon\nu\omicron\lambda}$ ΩΣ ΣΥΝΑΡΤΗΣΗ ΤΗΣ ΩΡΑΣ



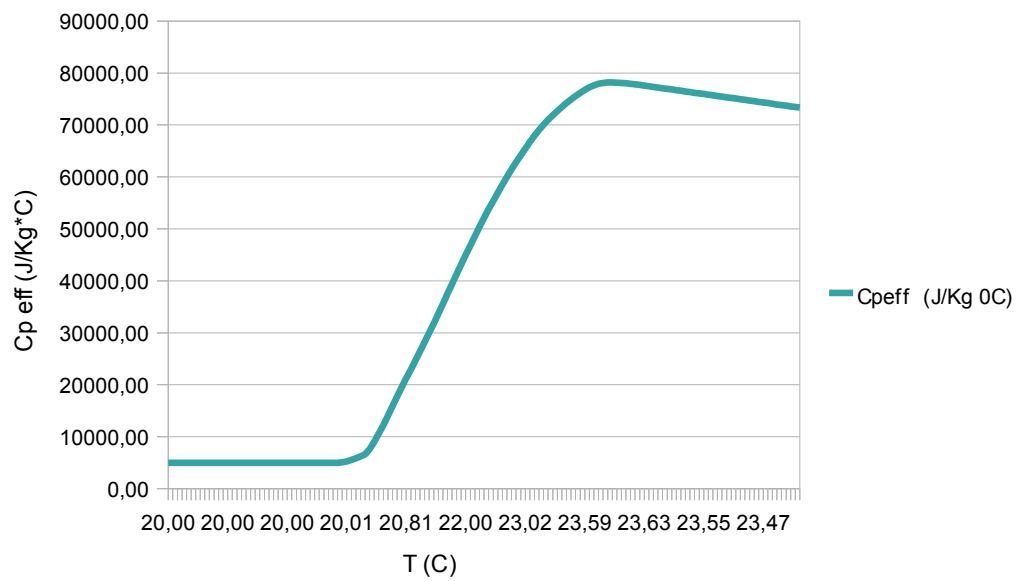
EIKONA 13.8.6: TO $C_{p\text{ eff}}$ ΩΣ ΣΥΝΑΡΤΗΣΗ ΤΗΣ ΩΡΑΣ



EIKONA 13.8.7: TO $G\tau$ ΩΣ ΣΥΝΑΡΤΗΣΗ ΤΗΣ ΩΡΑΣ



EIKONA 13.8.8: Η T_2 ΩΣ ΣΥΝΑΡΤΗΣΗ ΤΗΣ ΩΡΑΣ



ΕΙΚΟΝΑ 13.8.9: ΤΟ C_{peff} ΩΣ ΣΥΝΑΡΤΗΣΗ ΤΗΣ ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑΣ

13.9. Παραλλαγή του προβλήματος (13.5) – Αύξηση της προσπίπτουσας ηλιακής ακτινοβολίας

Στο πρόβλημα αυτό θα μεταβάλλουμε την ηλιακή ακτινοβολία που προσπίπτει στον τοίχο με PCM. Πιο συγκεκριμένα το 98% της ηλιακής ακτινοβολίας που προσπίπτει στον υαλοπίνακα περνάει στο δωμάτιο εφόσον το υπόλοιπο 2% απορροφάται από τον υαλοπίνακα (σκούρο=0,98 και ανοιχτό=0,44) . Επιπλέον το 2% της ηλιακής ακτινοβολίας που εισέρχεται στο δωμάτιο απορροφάται από τον αέρα, επομένως το υπόλοιπο 98% είναι η ποσότητα της ηλιακής ακτινοβολίας που προσπίπτει στον τοίχο.

- ✓ *Ποσοστό της ηλιακής ακτινοβολίας που απορροφάται-ανακλάται από τον υαλοπίνακα: 2%Gτ*
- ✓ *Ποσοστό της ηλιακής ακτινοβολίας που περνάει στο δωμάτιο: 98%Gτ*
- ✓ *Ποσοστό της ηλιακής ακτινοβολίας που απορροφάται από τον αέρα: 2%(98% Gτ)*
- ✓ *Ποσοστό της ηλιακής ακτινοβολίας που προσπίπτει στον τοίχο: 98% (98% Gτ)*

Επομένως η ηλιακή ακτινοβολία που προσπίπτει πάνω σε τοίχο σκούρου χρώματος είναι $0,98*0,98*0,98*Gτ$. Επομένως η θερμότητα που απορροφά το PCM είναι:

$$q_s=0,98*0,98*0,98*Gτ*A \quad (13.9.1)$$

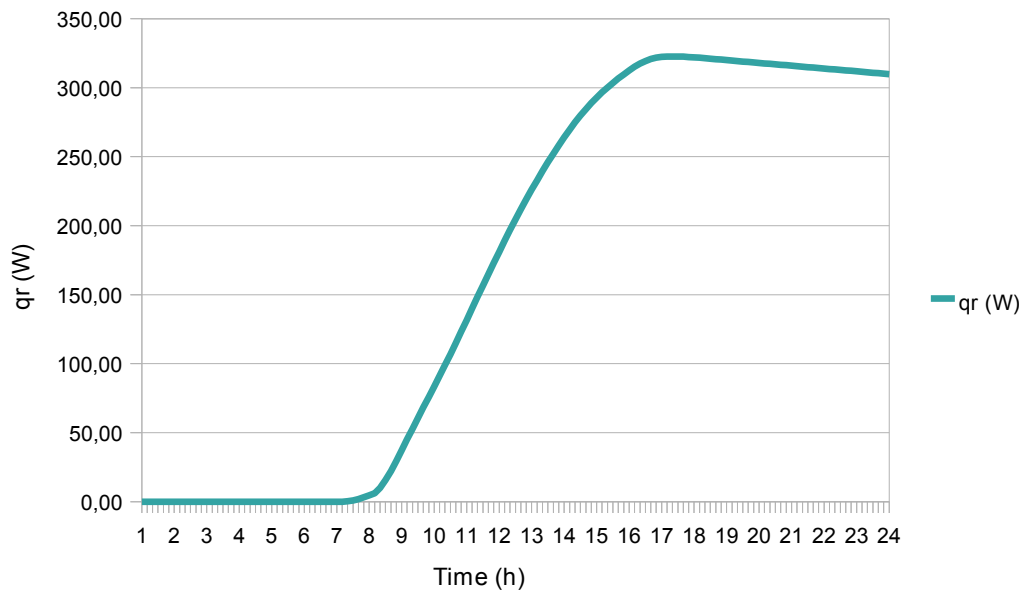
Οι τύποι 13.5.2 και 13.5.3 θα παραμείνουν ίδιοι .Θα ακολουθήσουμε την ίδια διαδικασία με αυτή του κεφαλαίου 13.5.

ΠΙΝΑΚΑΣ 13.9.1: Q_r , q_s , q_{rcm} , C_{peff} , T , $G\tau$ ΚΑΙ $q_{συνολικό}$ ΩΣ
ΣΥΝΑΡΤΗΣΗ ΤΗΣ ΩΡΑΣ

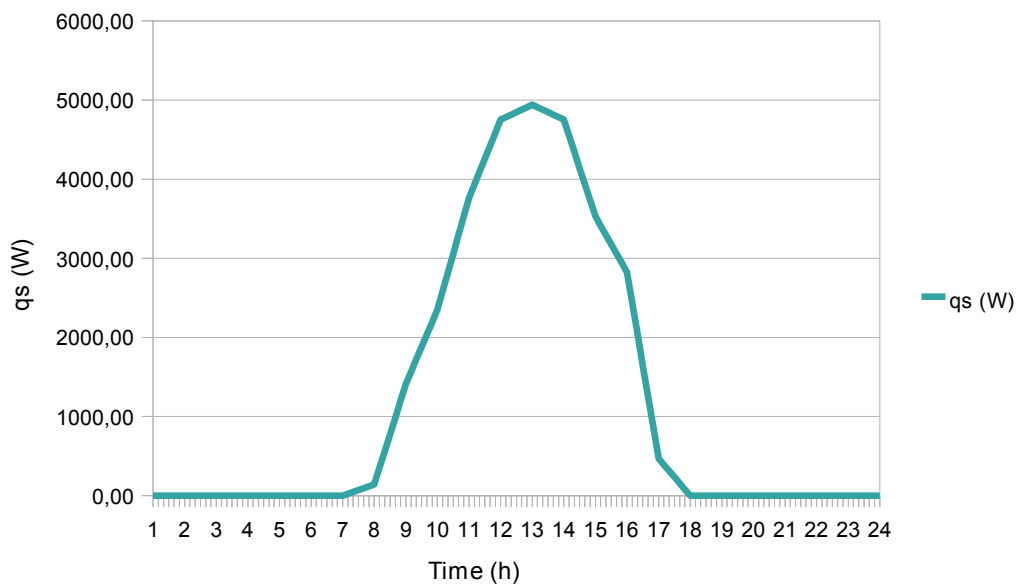
time	Ταρχικό (°C)	q_r (W)	$G\tau$ (W/m ²)	C_{peff} (J/Kg °C)	q_s (W)	q_{rcm} (W)	T2 (°C)	$q_{συνολ}$ (W)
01:00:00	20,00	0,00	0,00	5000,00	0,00	0,00	20,00	-292,80
01:10:00	20,00	0,00	0,00	5000,00	0,00	0,00	20,00	-301,38
01:20:00	20,00	0,00	0,00	5000,00	0,00	0,00	20,00	-309,96
01:30:00	20,00	0,00	0,00	5000,00	0,00	0,00	20,00	-318,54
01:40:00	20,00	0,00	0,00	5000,00	0,00	0,00	20,00	-327,12
01:50:00	20,00	0,00	0,00	5000,00	0,00	0,00	20,00	-335,70
02:00:00	20,00	0,00	0,00	5000,00	0,00	0,00	20,00	-344,24
02:10:00	20,00	0,00	0,00	5000,00	0,00	0,00	20,00	-352,64
02:20:00	20,00	0,00	0,00	5000,00	0,00	0,00	20,00	-361,04
02:30:00	20,00	0,00	0,00	5000,00	0,00	0,00	20,00	-369,44
02:40:00	20,00	0,00	0,00	5000,00	0,00	0,00	20,00	-377,84
02:50:00	20,00	0,00	0,00	5000,00	0,00	0,00	20,00	-386,24
03:00:00	20,00	0,00	0,00	5000,00	0,00	0,00	20,00	-394,61
03:10:00	20,00	0,00	0,00	5000,00	0,00	0,00	20,00	-397,91
03:20:00	20,00	0,00	0,00	5000,00	0,00	0,00	20,00	-401,21
03:30:00	20,00	0,00	0,00	5000,00	0,00	0,00	20,00	-404,51
03:40:00	20,00	0,00	0,00	5000,00	0,00	0,00	20,00	-407,81
03:50:00	20,00	0,00	0,00	5000,00	0,00	0,00	20,00	-411,11
04:00:00	20,00	0,00	0,00	5000,00	0,00	0,00	20,00	-413,97
04:10:00	20,00	0,00	0,00	5000,00	0,00	0,00	20,00	-417,08
04:20:00	20,00	0,00	0,00	5000,00	0,00	0,00	20,00	-420,18
04:30:00	20,00	0,00	0,00	5000,00	0,00	0,00	20,00	-423,29
04:40:00	20,00	0,00	0,00	5000,00	0,00	0,00	20,00	-426,39
04:50:00	20,00	0,00	0,00	5000,00	0,00	0,00	20,00	-429,50
05:00:00	20,00	0,00	0,00	5000,00	0,00	0,00	20,00	-432,62
05:10:00	20,00	0,00	0,00	5000,00	0,00	0,00	20,00	-435,60
05:20:00	20,00	0,00	0,00	5000,00	0,00	0,00	20,00	-438,59
05:30:00	20,00	0,00	0,00	5000,00	0,00	0,00	20,00	-441,57
05:40:00	20,00	0,00	0,00	5000,00	0,00	0,00	20,00	-444,56
05:50:00	20,00	0,00	0,00	5000,00	0,00	0,00	20,00	-447,54
06:00:00	20,00	0,00	0,00	5000,00	0,00	0,00	20,00	-450,50
06:10:00	20,00	0,00	0,00	5000,00	0,00	0,00	20,00	-453,19
06:20:00	20,00	0,00	0,00	5000,00	0,00	0,00	20,00	-455,87
06:30:00	20,00	0,00	0,00	5000,00	0,00	0,00	20,00	-458,56
06:40:00	20,00	0,00	0,00	5000,00	0,00	0,00	20,00	-461,24
06:50:00	20,00	0,00	0,00	5000,00	0,00	0,00	20,00	-463,93
07:00:00	20,00	0,00	0,00	5000,00	0,00	0,00	20,00	-466,62
07:10:00	20,00	0,00	1,67	5000,00	23,53	23,53	20,00	-403,47
07:20:00	20,00	0,33	3,33	5061,58	47,06	46,73	20,01	-340,32
07:30:00	20,01	0,97	5,00	5182,39	70,59	69,62	20,02	-277,17
07:40:00	20,02	1,90	6,67	5358,18	94,12	92,22	20,03	-214,02
07:50:00	20,03	3,09	8,33	5583,39	117,65	114,56	20,04	-150,87
08:00:00	20,04	4,51	10,00	5851,86	141,18	136,67	20,06	-87,43
08:10:00	20,06	6,13	25,00	6157,45	352,95	346,82	20,09	-80,31
08:20:00	20,09	10,03	40,00	6894,45	564,72	554,69	20,15	-73,18
08:30:00	20,15	15,60	55,00	7947,17	776,48	760,88	20,21	-66,06
08:40:00	20,21	22,23	70,00	9199,93	988,25	966,02	20,28	-58,93
08:50:00	20,28	29,51	85,00	10573,86	1200,02	1170,51	20,35	-51,81

09:00:00	20,35	37,18	100,00	12022,32	1411,79	1374,61	20,43	-44,69
09:10:00	20,43	45,10	111,11	13518,40	1568,65	1523,56	20,50	-36,11
09:20:00	20,50	52,90	122,22	14993,08	1725,52	1672,61	20,57	-27,53
09:30:00	20,57	60,63	133,33	16452,80	1882,38	1821,75	20,65	-18,95
09:40:00	20,65	68,30	144,44	17901,62	2039,25	1970,95	20,72	-10,37
09:50:00	20,72	75,93	155,56	19342,23	2196,11	2120,19	20,79	-1,79
10:00:00	20,79	83,52	166,67	20776,51	2352,98	2269,46	20,86	6,75
10:10:00	20,86	91,09	183,33	22205,78	2588,28	2497,19	20,93	21,15
10:20:00	20,93	98,88	200,00	23677,24	2823,58	2724,70	21,01	35,55
10:30:00	21,01	106,85	216,67	25182,99	3058,87	2952,02	21,09	49,95
10:40:00	21,09	114,97	233,33	26716,82	3294,17	3179,20	21,16	64,35
10:50:00	21,16	123,21	250,00	28273,85	3529,47	3406,26	21,24	78,75
11:00:00	21,24	131,56	266,67	29850,21	3764,77	3633,21	21,32	93,27
11:10:00	21,32	139,99	278,33	31442,82	3929,48	3789,49	21,40	104,91
11:20:00	21,40	148,34	290,00	33019,79	4094,19	3945,85	21,48	116,55
11:30:00	21,48	156,62	301,67	34583,40	4258,89	4102,28	21,56	128,19
11:40:00	21,56	164,84	313,33	36135,51	4423,60	4258,77	21,63	139,83
11:50:00	21,63	173,00	325,00	37677,62	4588,31	4415,31	21,71	151,47
12:00:00	21,71	181,12	336,67	39210,97	4753,02	4571,90	21,79	163,11
12:10:00	21,79	189,19	338,89	40736,62	4784,39	4595,20	21,86	180,21
12:20:00	21,86	197,01	341,11	42212,61	4815,77	4618,76	21,93	197,31
12:30:00	21,93	204,59	343,33	43644,29	4847,14	4642,55	22,00	214,41
12:40:00	22,00	211,96	345,56	45036,15	4878,51	4666,56	22,07	231,51
12:50:00	22,07	219,13	347,78	46391,96	4909,88	4690,75	22,14	248,61
13:00:00	22,14	226,14	350,00	47714,97	4941,26	4715,12	22,20	265,72
13:10:00	22,20	232,98	347,78	49007,99	4909,88	4676,90	22,26	272,88
13:20:00	22,26	239,59	345,56	50256,68	4878,51	4638,92	22,32	280,03
13:30:00	22,32	245,99	343,33	51464,46	4847,14	4601,15	22,38	287,19
13:40:00	22,38	252,18	341,11	52634,29	4815,77	4563,58	22,44	294,34
13:50:00	22,44	258,19	338,89	53768,78	4784,39	4526,20	22,49	301,50
14:00:00	22,49	264,02	336,67	54870,24	4753,02	4489,00	22,55	308,68
14:10:00	22,55	269,69	322,22	55940,72	4549,09	4279,41	22,60	321,43
14:20:00	22,60	274,99	307,78	56941,69	4345,17	4070,18	22,64	334,18
14:30:00	22,64	279,94	293,33	57876,98	4141,24	3861,31	22,69	346,93
14:40:00	22,69	284,56	278,89	58749,94	3937,32	3652,76	22,73	359,68
14:50:00	22,73	288,87	264,44	59563,48	3733,39	3444,53	22,77	372,43
15:00:00	22,77	292,87	250,00	60320,16	3529,47	3236,60	22,80	384,81
15:10:00	22,80	296,59	241,67	61022,25	3411,82	3115,23	22,83	330,66
15:20:00	22,83	300,12	233,33	61690,24	3294,17	2994,05	22,87	276,51
15:30:00	22,87	303,49	225,00	62325,28	3176,52	2873,04	22,90	222,36
15:40:00	22,90	306,68	216,67	62928,46	3058,87	2752,19	22,93	168,21
15:50:00	22,93	309,71	208,33	63500,72	2941,23	2631,52	22,95	114,06
16:00:00	22,95	312,58	200,00	64042,96	2823,58	2511,00	22,98	64,35
16:10:00	22,98	315,30	172,22	64555,99	2431,41	2116,12	23,00	60,60
16:20:00	23,00	317,57	144,44	64984,90	2039,25	1721,68	23,02	56,85
16:30:00	23,02	319,40	116,67	65331,56	1647,09	1327,68	23,03	53,10
16:40:00	23,03	320,81	88,89	65597,47	1254,92	934,11	23,04	49,35
16:50:00	23,04	321,80	61,11	65783,80	862,76	540,96	23,04	45,60

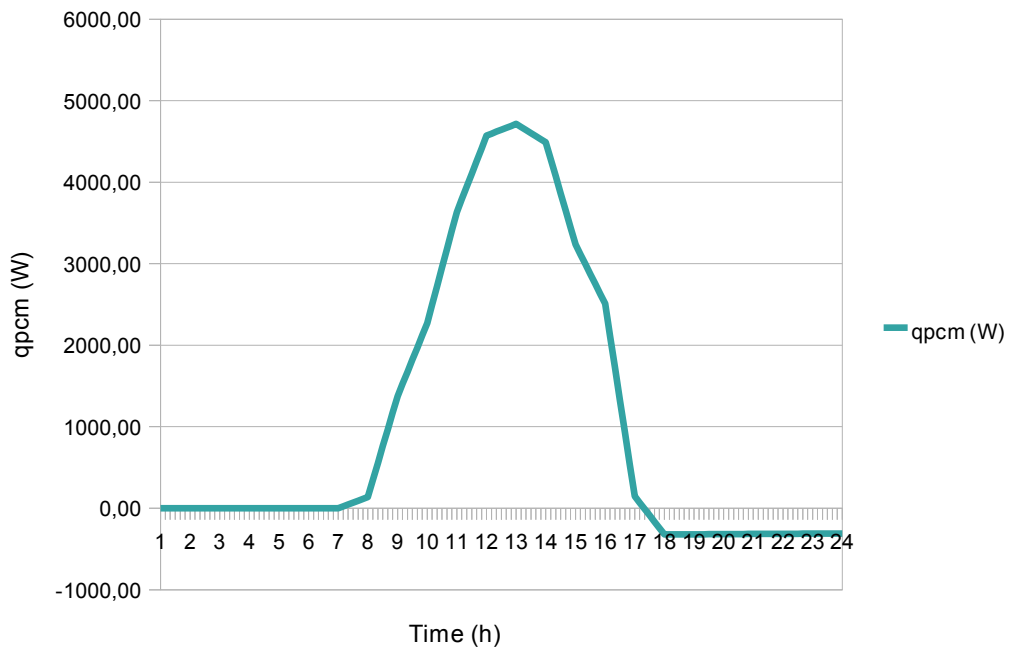
17:00:00	23,04	322,37	33,33	65891,40	470,60	148,23	23,05	41,91
17:10:00	23,05	322,52	27,78	65920,83	392,16	69,64	23,05	42,62
17:20:00	23,05	322,60	22,22	65934,66	313,73	-8,86	23,05	43,32
17:30:00	23,05	322,59	16,67	65932,90	235,30	-87,29	23,05	44,03
17:40:00	23,05	322,49	11,11	65915,57	156,87	-165,63	23,04	44,73
17:50:00	23,04	322,32	5,56	65882,70	78,43	-243,89	23,04	45,44
18:00:00	23,04	322,06	0,00	65834,26	0,00	-322,06	23,04	46,12
18:10:00	23,04	321,72	0,00	65770,25	0,00	-321,72	23,04	40,84
18:20:00	23,04	321,39	0,00	65706,24	0,00	-321,39	23,03	35,56
18:30:00	23,03	321,05	0,00	65642,24	0,00	-321,05	23,03	30,28
18:40:00	23,03	320,71	0,00	65578,24	0,00	-320,71	23,03	25,00
18:50:00	23,03	320,37	0,00	65514,25	0,00	-320,37	23,02	19,72
19:00:00	23,02	320,03	0,00	65450,27	0,00	-320,03	23,02	14,42
19:10:00	23,02	319,69	0,00	65386,29	0,00	-319,69	23,02	3,21
19:20:00	23,02	319,35	0,00	65322,31	0,00	-319,35	23,01	-7,99
19:30:00	23,01	319,01	0,00	65258,34	0,00	-319,01	23,01	-19,20
19:40:00	23,01	318,68	0,00	65194,38	0,00	-318,68	23,01	-30,40
19:50:00	23,01	318,34	0,00	65130,42	0,00	-318,34	23,00	-41,61
20:00:00	23,00	318,00	0,00	65066,47	0,00	-318,00	23,00	-52,82
20:10:00	23,00	317,66	0,00	65002,52	0,00	-317,66	23,00	-60,12
20:20:00	23,00	317,32	0,00	64938,57	0,00	-317,32	22,99	-67,43
20:30:00	22,99	316,98	0,00	64874,64	0,00	-316,98	22,99	-74,73
20:40:00	22,99	316,64	0,00	64810,70	0,00	-316,64	22,99	-82,04
20:50:00	22,99	316,31	0,00	64746,77	0,00	-316,31	22,98	-89,34
21:00:00	22,98	315,97	0,00	64682,85	0,00	-315,97	22,98	-96,61
21:10:00	22,98	315,63	0,00	64618,93	0,00	-315,63	22,98	-104,71
21:20:00	22,98	315,29	0,00	64555,02	0,00	-315,29	22,97	-112,81
21:30:00	22,97	314,95	0,00	64491,12	0,00	-314,95	22,97	-120,91
21:40:00	22,97	314,61	0,00	64427,21	0,00	-314,61	22,97	-129,01
21:50:00	22,97	314,28	0,00	64363,32	0,00	-314,28	22,96	-137,11
22:00:00	22,96	313,94	0,00	64299,43	0,00	-313,94	22,96	-145,22
22:10:00	22,96	313,60	0,00	64235,54	0,00	-313,60	22,96	-148,98
22:20:00	22,96	313,26	0,00	64171,66	0,00	-313,26	22,96	-152,75
22:30:00	22,96	312,92	0,00	64107,79	0,00	-312,92	22,95	-156,51
22:40:00	22,95	312,59	0,00	64043,92	0,00	-312,59	22,95	-160,28
22:50:00	22,95	312,25	0,00	63980,05	0,00	-312,25	22,95	-164,04
23:00:00	22,95	311,91	0,00	63916,20	0,00	-311,91	22,94	-167,79
23:10:00	22,94	311,57	0,00	63852,34	0,00	-311,57	22,94	-176,67
23:20:00	22,94	311,23	0,00	63788,49	0,00	-311,23	22,94	-185,55
23:30:00	22,94	310,90	0,00	63724,65	0,00	-310,90	22,93	-194,43
23:40:00	22,93	310,56	0,00	63660,82	0,00	-310,56	22,93	-203,31
23:50:00	22,93	310,22	0,00	63596,98	0,00	-310,22	22,93	-212,19
00:00:00	22,93	309,88	0,00	63533,16	0,00	-309,88	22,92	-221,06



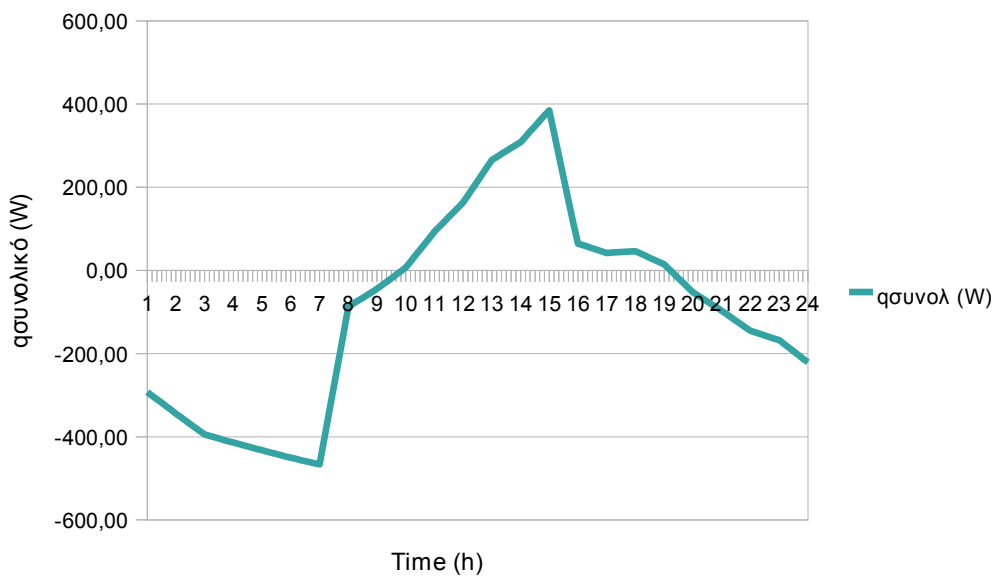
EIKONA 13.9.1: TO qr ΩΣ ΣΥΝΑΡΤΗΣΗ ΤΗΣ ΩΡΑΣ



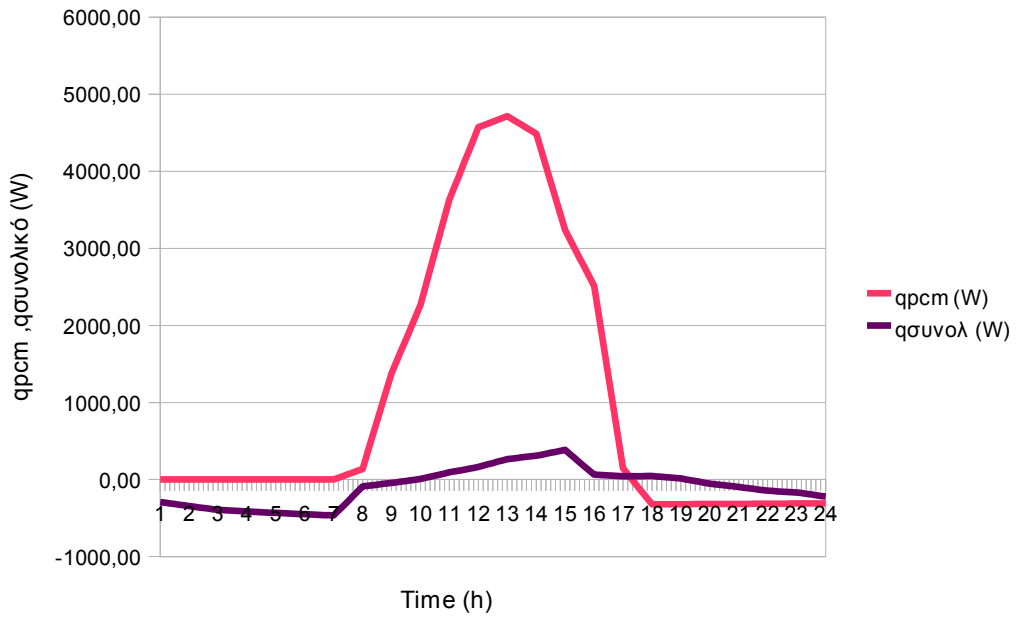
EIKONA 13.9.2: TO qs ΩΣ ΣΥΝΑΡΤΗΣΗ ΤΗΣ ΩΡΑΣ



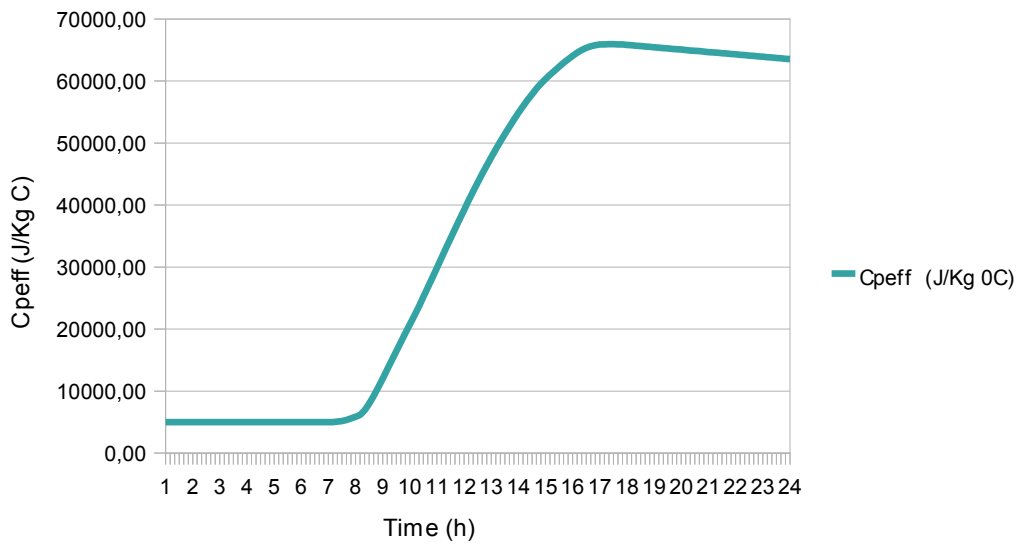
EIKONA 13.9.3: TO qpcm ΩΣ ΣΥΝΑΡΤΗΣΗ ΤΗΣ ΩΡΑΣ



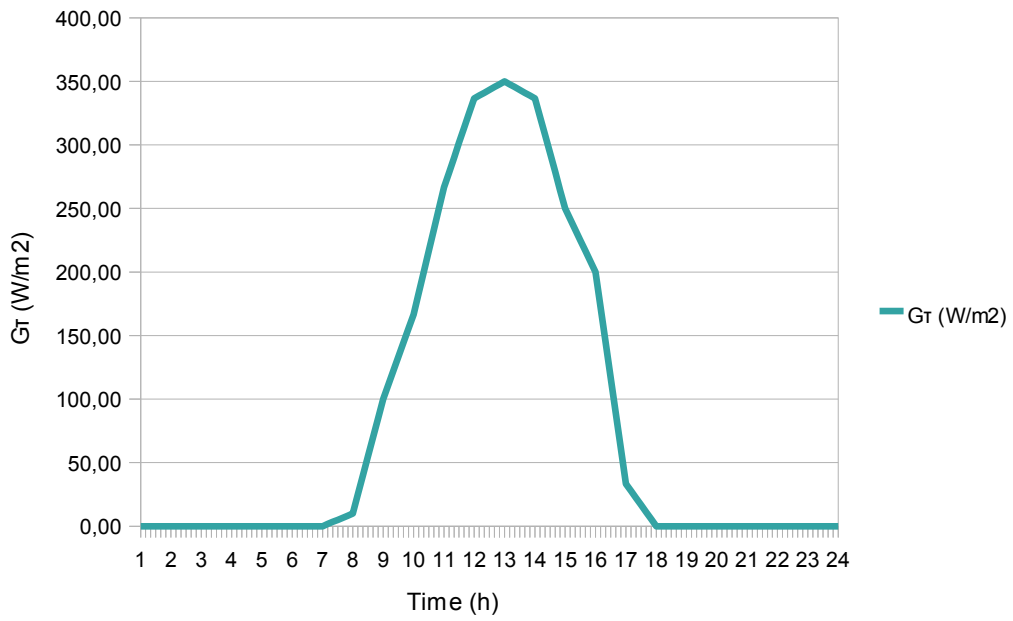
EIKONA 13.9.4: TO qσυνολικό ΩΣ ΣΥΝΑΡΤΗΣΗ ΤΗΣ ΩΡΑΣ



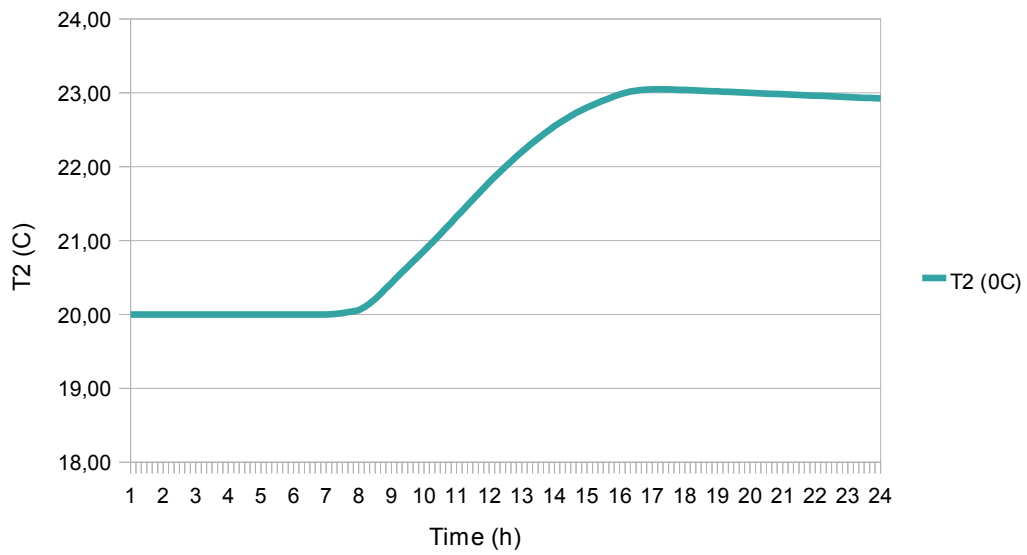
ΕΙΚΟΝΑ 13.9.5:ΤΟ q_{rcm} , $q_{\sigma\upsilon\nu\omicron\lambda}$ ΩΣ ΣΥΝΑΡΤΗΣΗ ΤΗΣ ΩΡΑΣ



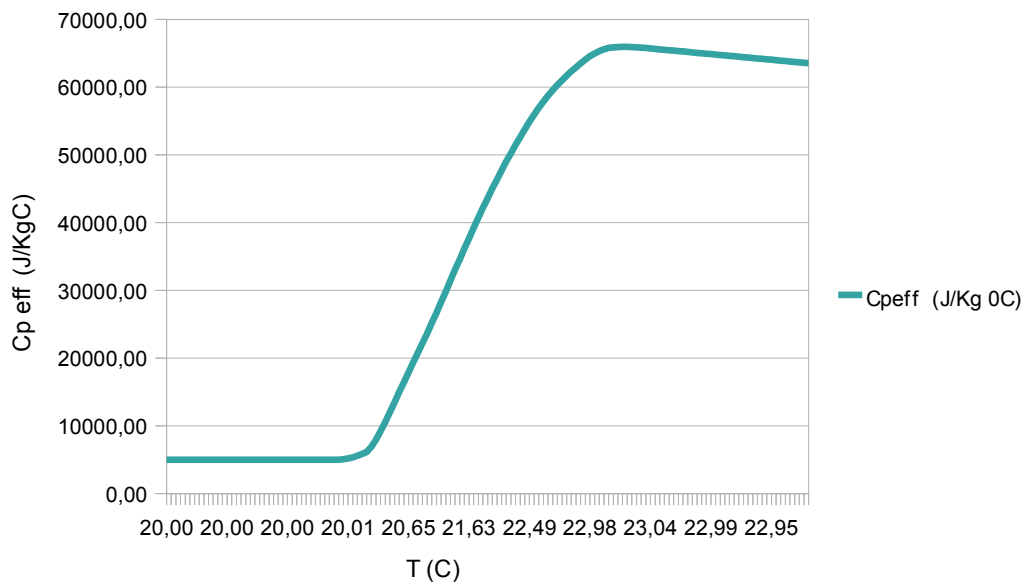
ΕΙΚΟΝΑ 13.9.6:ΤΟ C_{peff} ΩΣ ΣΥΝΑΡΤΗΣΗ ΤΗΣ ΩΡΑΣ



EIKONA 13.9.7: TO $G\tau$ ΩΣ ΣΥΝΑΡΤΗΣΗ ΤΗΣ ΩΡΑΣ



EIKONA 13.9.8: Η T_2 ΩΣ ΣΥΝΑΡΤΗΣΗ ΤΗΣ ΩΡΑΣ



ΕΙΚΟΝΑ 13.9.9: ΤΟ $C_{p\text{eff}}$ ΩΣ ΣΥΝΑΡΤΗΣΗ ΤΗΣ ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑΣ

13.10. Παραλλαγή του προβλήματος (13.5) – Αύξηση της προσπίπτουσας ηλιακής ακτινοβολίας σε συνδυασμό με την αύξηση των διαστάσεων του υαλοπίνακα

Στο πρόβλημα αυτό θα μεταβάλλουμε την ηλιακή ακτινοβολία που προσπίπτει στον τοίχο με PCM οπώς στο προηγούμενο πρόβλημα. Πιο συγκεκριμένα το 98% της ηλιακής ακτινοβολίας που προσπίπτει στον υαλοπίνακα περνάει στο δωμάτιο εφόσον το υπόλοιπο 2% απορροφάται από τον υαλοπίνακα (σκούρο=0,98 και ανοιχτό=0,44) . Επιπλέον το 2% της ηλιακής ακτινοβολίας που εισέρχεται στο δωμάτιο απορροφάται από τον αέρα, επομένως το υπόλοιπο 98% είναι η ποσότητα της ηλιακής ακτινοβολίας που προσπίπτει στον τοίχο.

Επιπλέον στο πρόβλημα αυτό θα αυξήσουμε το μέγεθος του υαλοπίνακα από 15m² σε 29m² . Αυτό έχει ως αποτέλεσμα να μεταβάλλεται το ψυκτικό φορτίο του υαλοπίνακα (W). Στο στάδιο αυτό θα ακολουθήσουμε την ίδια διαδικασία που περιγράψαμε στο κεφάλαιο (13.5) .

Επομένως η ηλιακή ακτινοβολία που προσπίπτει πάνω σε τοίχο σκούρου χρώματος είναι 0,98*0,98*0,98*Gτ . Επομένως η θερμότητα που απορροφά το PCM είναι:

$$q_s=0,98*0,98*0,98*G\tau*A \quad (13.10.1)$$

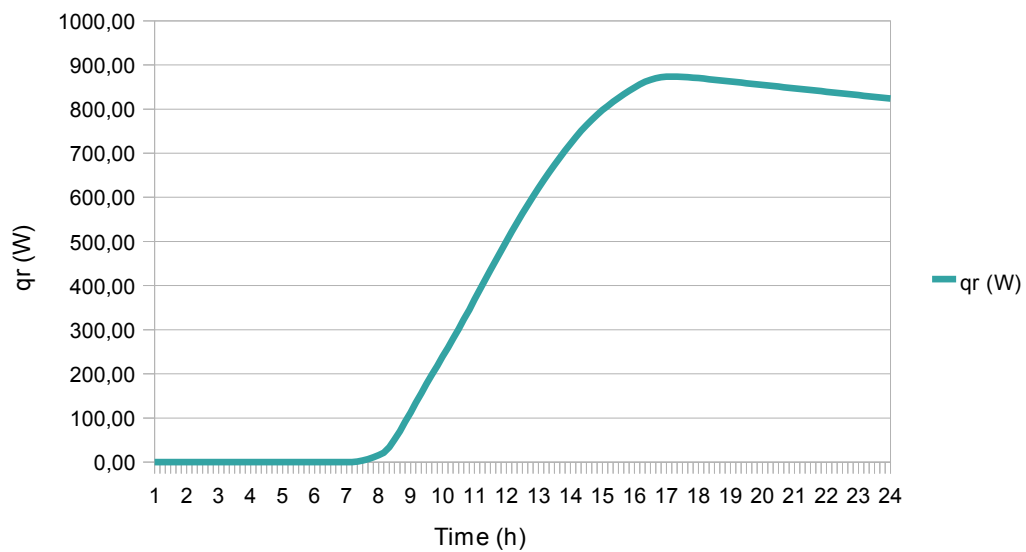
Οι τύποι 13.5.2 και 13.5.3 θα παραμείνουν ίδιοι .Θα ακολουθήσουμε την ίδια διαδικασία με αυτή του κεφαλαίου 13.5.

*ΠΙΝΑΚΑΣ 13.10.1: Qr , qs, qrcm, Cpeff, T, Gτ ΚΑΙ qσυνολικό ΩΣ
ΣΥΝΑΡΤΗΣΗ ΤΗΣ ΩΡΑΣ*

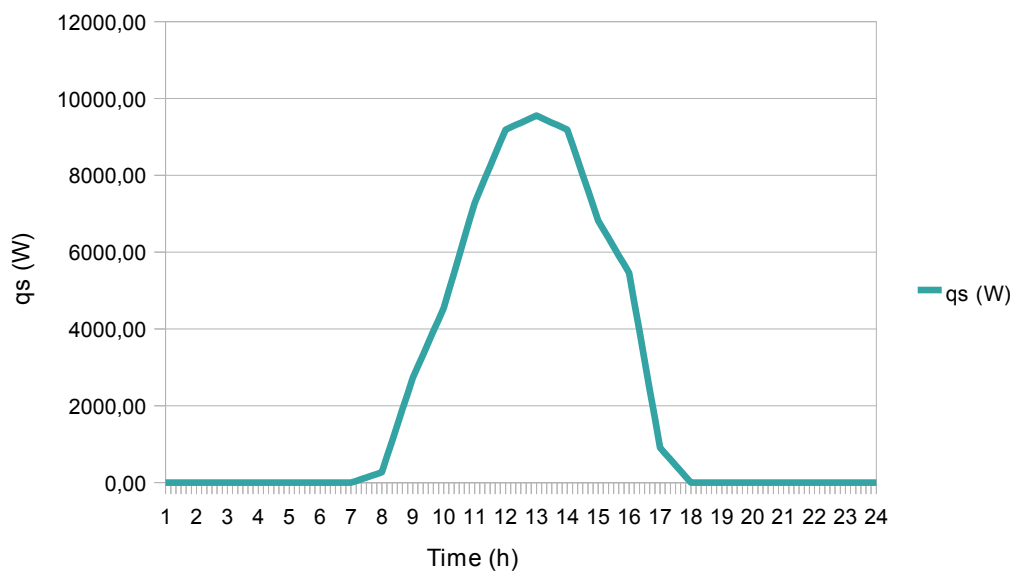
<i>time</i>	<i>Ταρχικό (°C)</i>	<i>qr (W)</i>	<i>Gτ (W/m2)</i>	<i>Cpeff (J/Kg °C)</i>	<i>qs (W)</i>	<i>qrcm (W)</i>	<i>T2 (°C)</i>	<i>qσυνολ (W)</i>
01:00:00	20,00	0,00	0,00	5000,00	0,00	0,00	20,00	-566,08
01:10:00	20,00	0,00	0,00	5000,00	0,00	0,00	20,00	-582,67
01:20:00	20,00	0,00	0,00	5000,00	0,00	0,00	20,00	-599,26
01:30:00	20,00	0,00	0,00	5000,00	0,00	0,00	20,00	-615,84
01:40:00	20,00	0,00	0,00	5000,00	0,00	0,00	20,00	-632,43
01:50:00	20,00	0,00	0,00	5000,00	0,00	0,00	20,00	-649,02
02:00:00	20,00	0,00	0,00	5000,00	0,00	0,00	20,00	-665,54
02:10:00	20,00	0,00	0,00	5000,00	0,00	0,00	20,00	-681,78
02:20:00	20,00	0,00	0,00	5000,00	0,00	0,00	20,00	-698,02
02:30:00	20,00	0,00	0,00	5000,00	0,00	0,00	20,00	-714,26
02:40:00	20,00	0,00	0,00	5000,00	0,00	0,00	20,00	-730,50
02:50:00	20,00	0,00	0,00	5000,00	0,00	0,00	20,00	-746,74
03:00:00	20,00	0,00	0,00	5000,00	0,00	0,00	20,00	-762,92
03:10:00	20,00	0,00	0,00	5000,00	0,00	0,00	20,00	-769,30
03:20:00	20,00	0,00	0,00	5000,00	0,00	0,00	20,00	-775,68
03:30:00	20,00	0,00	0,00	5000,00	0,00	0,00	20,00	-782,06
03:40:00	20,00	0,00	0,00	5000,00	0,00	0,00	20,00	-788,44
03:50:00	20,00	0,00	0,00	5000,00	0,00	0,00	20,00	-794,82
04:00:00	20,00	0,00	0,00	5000,00	0,00	0,00	20,00	-800,34
04:10:00	20,00	0,00	0,00	5000,00	0,00	0,00	20,00	-806,35
04:20:00	20,00	0,00	0,00	5000,00	0,00	0,00	20,00	-812,35
04:30:00	20,00	0,00	0,00	5000,00	0,00	0,00	20,00	-818,35
04:40:00	20,00	0,00	0,00	5000,00	0,00	0,00	20,00	-824,36
04:50:00	20,00	0,00	0,00	5000,00	0,00	0,00	20,00	-830,36
05:00:00	20,00	0,00	0,00	5000,00	0,00	0,00	20,00	-836,39
05:10:00	20,00	0,00	0,00	5000,00	0,00	0,00	20,00	-842,16
05:20:00	20,00	0,00	0,00	5000,00	0,00	0,00	20,00	-847,93
05:30:00	20,00	0,00	0,00	5000,00	0,00	0,00	20,00	-853,70
05:40:00	20,00	0,00	0,00	5000,00	0,00	0,00	20,00	-859,47
05:50:00	20,00	0,00	0,00	5000,00	0,00	0,00	20,00	-865,24
06:00:00	20,00	0,00	0,00	5000,00	0,00	0,00	20,00	-870,97
06:10:00	20,00	0,00	0,00	5000,00	0,00	0,00	20,00	-876,16
06:20:00	20,00	0,00	0,00	5000,00	0,00	0,00	20,00	-881,35
06:30:00	20,00	0,00	0,00	5000,00	0,00	0,00	20,00	-886,54
06:40:00	20,00	0,00	0,00	5000,00	0,00	0,00	20,00	-891,73
06:50:00	20,00	0,00	0,00	5000,00	0,00	0,00	20,00	-896,92
07:00:00	20,00	0,00	0,00	5000,00	0,00	0,00	20,00	-902,13
07:10:00	20,00	0,00	1,67	5000,00	45,49	45,49	20,01	-780,04
07:20:00	20,01	1,22	3,33	5119,05	90,98	89,76	20,02	-657,95
07:30:00	20,02	3,57	5,00	5348,49	136,47	132,91	20,03	-535,86
07:40:00	20,03	6,89	6,67	5673,64	181,96	175,07	20,05	-413,77
07:50:00	20,05	11,03	8,33	6077,39	227,45	216,43	20,08	-291,68
08:00:00	20,08	15,80	10,00	6543,36	272,95	257,15	20,10	-169,04
08:10:00	20,10	21,06	25,00	7057,58	682,36	661,30	20,16	-155,26
08:20:00	20,16	33,61	40,00	8283,63	1091,78	1058,17	20,25	-141,49
08:30:00	20,25	50,72	55,00	9955,11	1501,20	1450,48	20,34	-127,71
08:40:00	20,34	70,23	70,00	11861,59	1910,62	1840,39	20,44	-113,94
08:50:00	20,44	91,01	85,00	13891,75	2320,04	2229,03	20,55	-100,16

09:00:00	20,55	112,50	100,00	15991,29	2729,46	2616,96	20,66	-86,41
09:10:00	20,66	134,42	111,11	18132,59	3032,73	2898,31	20,76	-69,82
09:20:00	20,76	155,82	122,22	20224,05	3336,00	3180,18	20,86	-53,23
09:30:00	20,86	176,88	133,33	22281,59	3639,28	3462,39	20,97	-36,65
09:40:00	20,97	197,69	144,44	24314,86	3942,55	3744,86	21,07	-20,06
09:50:00	21,07	218,32	155,56	26330,11	4245,82	4027,50	21,17	-3,47
10:00:00	21,17	238,81	166,67	28331,57	4549,09	4310,29	21,27	13,04
10:10:00	21,27	259,18	183,33	30322,24	5004,00	4744,82	21,37	40,88
10:20:00	21,37	280,14	200,00	32369,74	5458,91	5178,78	21,47	68,72
10:30:00	21,47	301,56	216,67	34463,14	5913,82	5612,26	21,58	96,56
10:40:00	21,58	323,37	233,33	36593,97	6368,73	6045,36	21,69	124,40
10:50:00	21,69	345,50	250,00	38755,57	6823,64	6478,14	21,80	152,24
11:00:00	21,80	367,88	266,67	40942,74	7278,55	6910,67	21,91	180,33
11:10:00	21,91	390,49	278,33	43151,29	7596,99	7206,50	22,02	202,83
11:20:00	22,02	412,86	290,00	45336,51	7915,42	7502,57	22,13	225,34
11:30:00	22,13	435,02	301,67	47501,85	8233,86	7798,84	22,23	247,84
11:40:00	22,23	457,01	313,33	49650,10	8552,30	8095,29	22,34	270,35
11:50:00	22,34	478,84	325,00	51783,52	8870,73	8391,89	22,45	292,85
12:00:00	22,45	500,55	336,67	53903,99	9189,17	8688,62	22,55	315,35
12:10:00	22,55	522,13	338,89	56013,08	9249,83	8727,69	22,65	348,41
12:20:00	22,65	543,00	341,11	58051,88	9310,48	8767,48	22,75	381,47
12:30:00	22,75	563,23	343,33	60028,04	9371,14	8807,91	22,85	414,53
12:40:00	22,85	582,88	345,56	61947,96	9431,79	8848,91	22,94	447,59
12:50:00	22,94	602,01	347,78	63817,04	9492,44	8890,43	23,03	480,65
13:00:00	23,03	620,67	350,00	65639,89	9553,10	8932,43	23,12	513,73
13:10:00	23,12	638,89	347,78	67420,49	9492,44	8853,55	23,21	527,57
13:20:00	23,21	656,48	345,56	69138,76	9431,79	8775,31	23,29	541,40
13:30:00	23,29	673,48	343,33	70799,51	9371,14	8697,66	23,37	555,23
13:40:00	23,37	689,93	341,11	72406,96	9310,48	8620,55	23,45	569,07
13:50:00	23,45	705,87	338,89	73964,78	9249,83	8543,95	23,52	582,90
14:00:00	23,52	721,35	336,67	75476,25	9189,17	8467,83	23,60	596,79
14:10:00	23,60	736,37	322,22	76944,25	8794,92	8058,55	23,67	621,44
14:20:00	23,67	750,40	307,78	78314,64	8400,66	7650,26	23,73	646,09
14:30:00	23,73	763,48	293,33	79592,84	8006,41	7242,93	23,79	670,74
14:40:00	23,79	775,67	278,89	80783,55	7612,15	6836,48	23,84	695,39
14:50:00	23,84	787,00	264,44	81890,87	7217,90	6430,90	23,90	720,04
15:00:00	23,90	797,52	250,00	82918,42	6823,64	6026,12	23,94	743,96
15:10:00	23,94	807,25	241,67	83869,35	6596,19	5788,94	23,99	639,27
15:20:00	23,99	816,50	233,33	84772,50	6368,73	5552,24	24,03	534,58
15:30:00	24,03	825,27	225,00	85629,50	6141,28	5316,01	24,07	429,89
15:40:00	24,07	833,58	216,67	86441,82	5913,82	5080,24	24,11	325,20
15:50:00	24,11	841,45	208,33	87210,81	5686,37	4844,92	24,15	220,51
16:00:00	24,15	848,89	200,00	87937,72	5458,91	4610,02	24,18	124,41
16:10:00	24,18	855,91	172,22	88623,67	4700,73	3844,82	24,21	117,16
16:20:00	24,21	861,72	144,44	89191,34	3942,55	3080,83	24,23	109,91
16:30:00	24,23	866,35	116,67	89643,31	3184,37	2318,02	24,25	102,66
16:40:00	24,25	869,81	88,89	89981,65	2426,18	1556,37	24,26	95,41
16:50:00	24,26	872,13	61,11	90207,97	1668,00	795,87	24,27	88,16

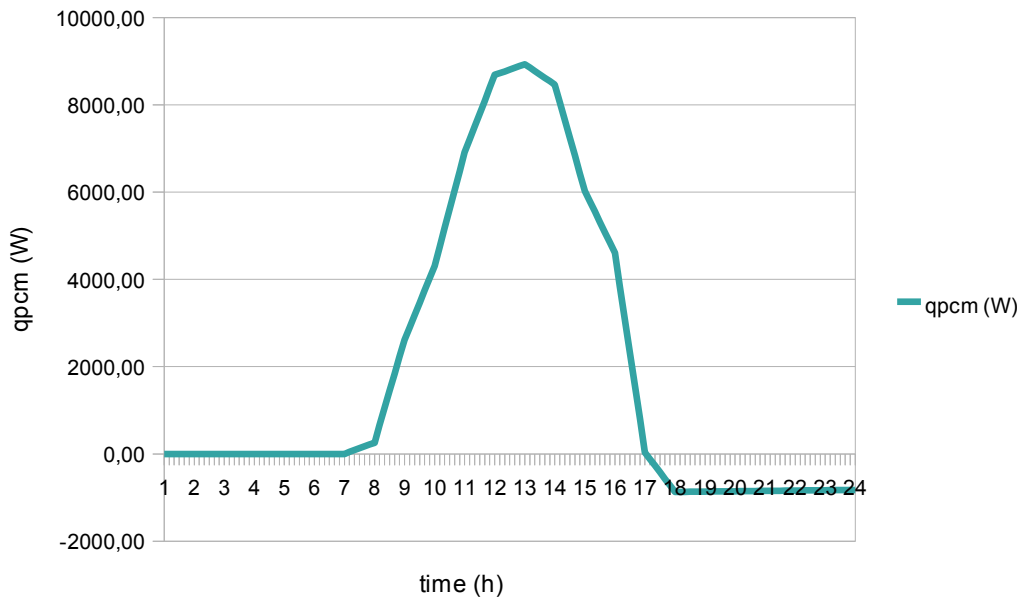
17:00:00	24,27	873,31	33,33	90323,42	909,82	36,51	24,27	81,03
17:10:00	24,27	873,36	27,78	90328,70	758,18	-115,18	24,27	82,39
17:20:00	24,27	873,19	22,22	90312,02	606,55	-266,65	24,26	83,76
17:30:00	24,26	872,80	16,67	90273,39	454,91	-417,89	24,26	85,12
17:40:00	24,26	872,18	11,11	90212,82	303,27	-568,91	24,26	86,48
17:50:00	24,26	871,33	5,56	90130,30	151,64	-719,70	24,25	87,85
18:00:00	24,25	870,26	0,00	90025,82	0,00	-870,26	24,24	89,16
18:10:00	24,24	868,97	0,00	89899,33	0,00	-868,97	24,24	78,95
18:20:00	24,24	867,68	0,00	89772,85	0,00	-867,68	24,23	68,74
18:30:00	24,23	866,38	0,00	89646,39	0,00	-866,38	24,23	58,53
18:40:00	24,23	865,09	0,00	89519,93	0,00	-865,09	24,22	48,32
18:50:00	24,22	863,79	0,00	89393,48	0,00	-863,79	24,21	38,12
19:00:00	24,21	862,50	0,00	89267,05	0,00	-862,50	24,21	27,87
19:10:00	24,21	861,20	0,00	89140,62	0,00	-861,20	24,20	6,21
19:20:00	24,20	859,91	0,00	89014,21	0,00	-859,91	24,19	-15,46
19:30:00	24,19	858,62	0,00	88887,81	0,00	-858,62	24,19	-37,12
19:40:00	24,19	857,32	0,00	88761,41	0,00	-857,32	24,18	-58,78
19:50:00	24,18	856,03	0,00	88635,03	0,00	-856,03	24,18	-80,45
20:00:00	24,18	854,74	0,00	88508,66	0,00	-854,74	24,17	-102,11
20:10:00	24,17	853,44	0,00	88382,30	0,00	-853,44	24,16	-116,23
20:20:00	24,16	852,15	0,00	88255,95	0,00	-852,15	24,16	-130,36
20:30:00	24,16	850,86	0,00	88129,61	0,00	-850,86	24,15	-144,48
20:40:00	24,15	849,56	0,00	88003,29	0,00	-849,56	24,14	-158,60
20:50:00	24,14	848,27	0,00	87876,97	0,00	-848,27	24,14	-172,73
21:00:00	24,14	846,98	0,00	87750,66	0,00	-846,98	24,13	-186,78
21:10:00	24,13	845,68	0,00	87624,37	0,00	-845,68	24,12	-202,44
21:20:00	24,12	844,39	0,00	87498,08	0,00	-844,39	24,12	-218,10
21:30:00	24,12	843,10	0,00	87371,81	0,00	-843,10	24,11	-233,76
21:40:00	24,11	841,81	0,00	87245,55	0,00	-841,81	24,11	-249,42
21:50:00	24,11	840,52	0,00	87119,30	0,00	-840,52	24,10	-265,08
22:00:00	24,10	839,22	0,00	86993,06	0,00	-839,22	24,09	-280,75
22:10:00	24,09	837,93	0,00	86866,83	0,00	-837,93	24,09	-288,03
22:20:00	24,09	836,64	0,00	86740,61	0,00	-836,64	24,08	-295,31
22:30:00	24,08	835,35	0,00	86614,41	0,00	-835,35	24,07	-302,59
22:40:00	24,07	834,06	0,00	86488,21	0,00	-834,06	24,07	-309,87
22:50:00	24,07	832,76	0,00	86362,03	0,00	-832,76	24,06	-317,14
23:00:00	24,06	831,47	0,00	86235,86	0,00	-831,47	24,06	-324,40
23:10:00	24,06	830,18	0,00	86109,69	0,00	-830,18	24,05	-341,57
23:20:00	24,05	828,89	0,00	85983,55	0,00	-828,89	24,04	-358,74
23:30:00	24,04	827,60	0,00	85857,41	0,00	-827,60	24,04	-375,90
23:40:00	24,04	826,31	0,00	85731,28	0,00	-826,31	24,03	-393,07
23:50:00	24,03	825,02	0,00	85605,17	0,00	-825,02	24,02	-410,24
00:00:00	24,02	823,73	0,00	85479,06	0,00	-823,73	24,02	-427,38



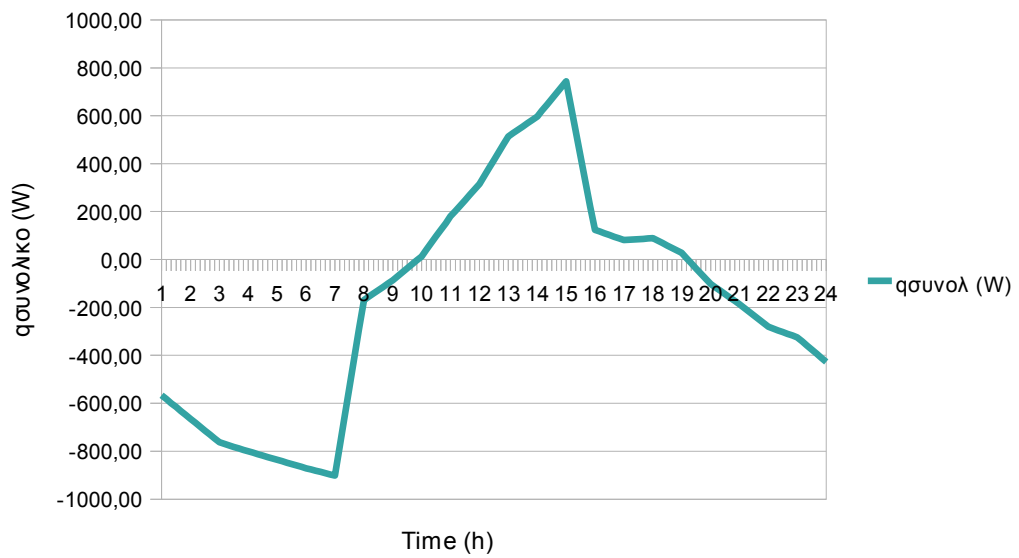
EIKONA 13.10.1: TO qr ΩΣ ΣΥΝΑΡΤΗΣΗ ΤΗΣ ΩΡΑΣ



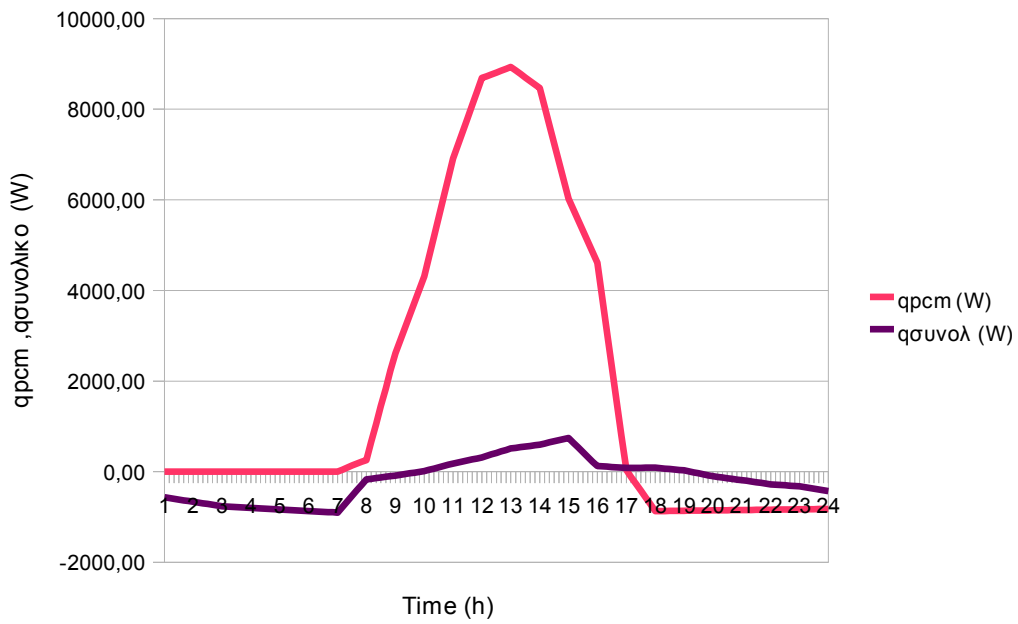
EIKONA 13.10.2: TO qs ΩΣ ΣΥΝΑΡΤΗΣΗ ΤΗΣ ΩΡΑΣ



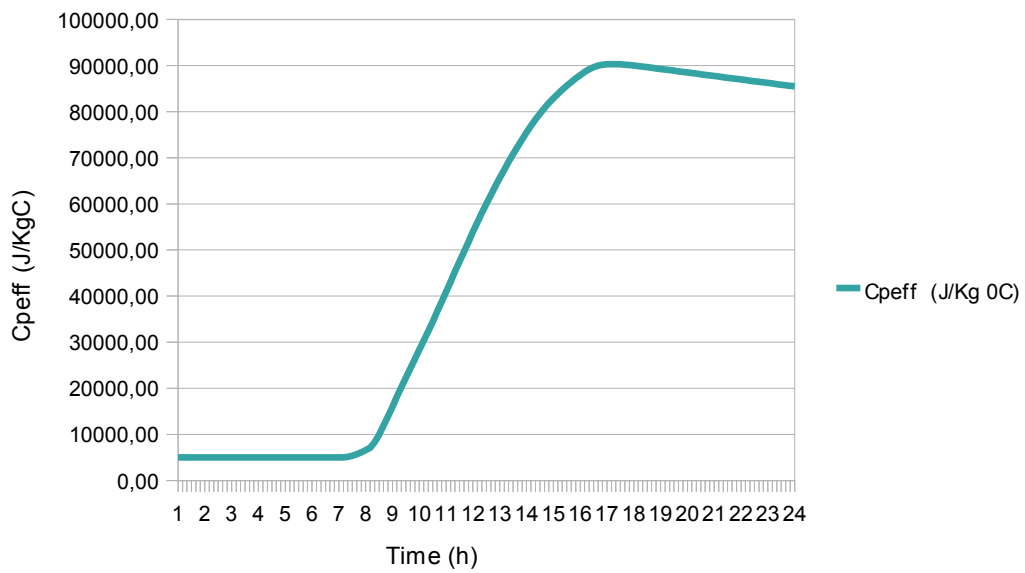
EIKONA 13.10.3: TO qpcm ΩΣ ΣΥΝΑΡΤΗΣΗ ΤΗΣ ΩΡΑΣ



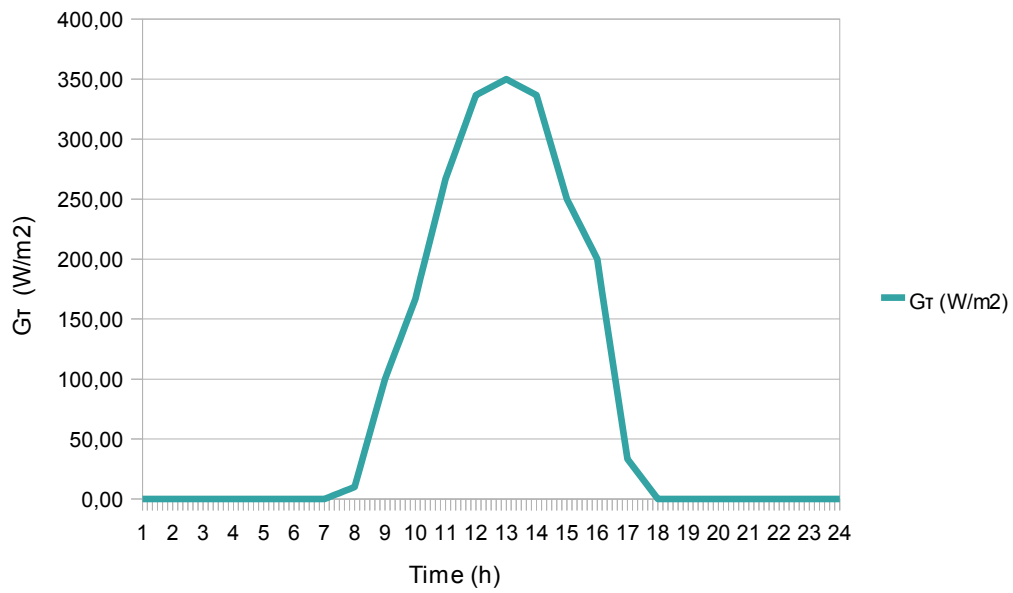
EIKONA 13.10.4: TO qσυνολικό ΩΣ ΣΥΝΑΡΤΗΣΗ ΤΗΣ ΩΡΑΣ



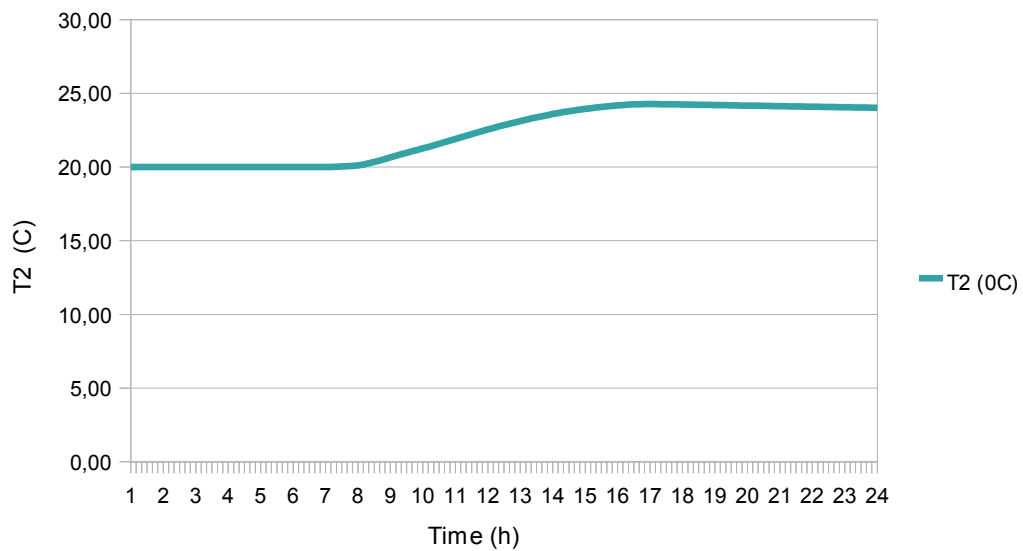
ΕΙΚΟΝΑ 13.10.5:ΤΟ q_{rcm} , $q_{\sigma\upsilon\nu\omicron\lambda}$ ΩΣ ΣΥΝΑΡΤΗΣΗ ΤΗΣ ΩΡΑΣ



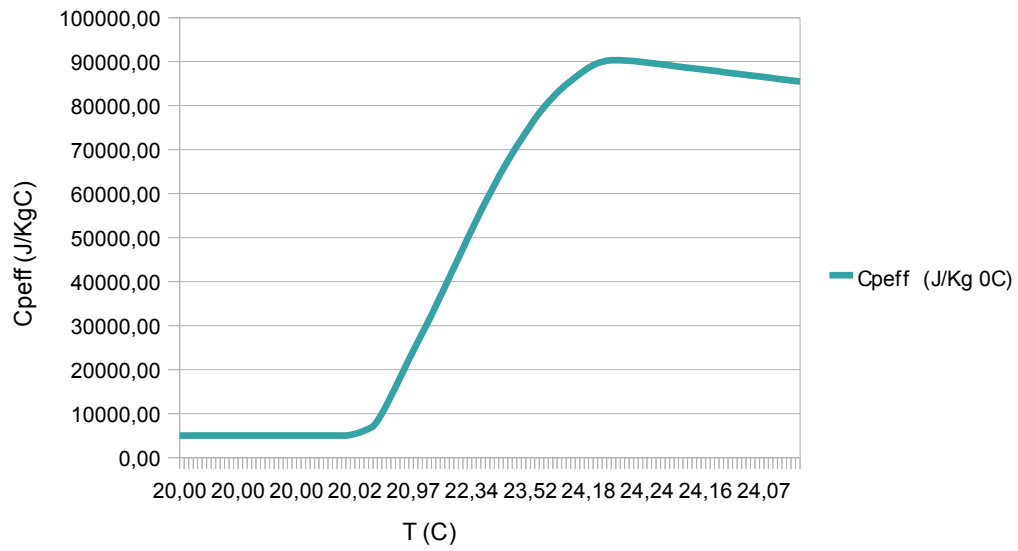
ΕΙΚΟΝΑ 13.10.6:ΤΟ C_{peff} ΩΣ ΣΥΝΑΡΤΗΣΗ ΤΗΣ ΩΡΑΣ



EIKONA 13.10.7: TO G_{τ} ΩΣ ΣΥΝΑΡΤΗΣΗ ΤΗΣ ΩΡΑΣ



EIKONA 13.10.8: Η Τ2 ΩΣ ΣΥΝΑΡΤΗΣΗ ΤΗΣ ΩΡΑΣ



EIKONA 13.10.9: TO Cpeff ΩΣ ΣΥΝΑΡΤΗΣΗ ΤΗΣ ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑΣ

**13.11. Παραλλαγή του προβλήματος (13.5) – Απουσία ηλιοφάνειας
το δεύτερο εικοσιτετράωρο**

Στο κεφάλαιο 13.5 εξετάσαμε την περίπτωση στην οποία υλικό αλλαγής φάσης τοποθετείται στο βόρειο τοίχο. Το πρόβλημα αυτό το εξετάσαμε για ένα εικοσιτετράωρο. Στο κεφάλαιο αυτό θα μελετήσουμε το ίδιο πρόβλημα για δύο συνεχόμενα εικοσιτετράωρα με την διαφορά ότι στο δεύτερο εικοσιτετράωρο θα έχουμε απουσία ηλιοφάνειας. Επομένως:

$$Gt=0$$

Κατα συνέπεια προκύπτει ότι:

$$q_s=0,98*0,98*0,98*G\tau*A \rightarrow$$
$$q_s=0$$

Με άλλα λόγια η θερμότητα που απορροφά το pcm το δεύτερο εικοσιτετράωρο είναι μηδενική. Θέλουμε να μελετήσουμε λοιπόν αν η θερμότητα που αποθηκεύει το υλικό αλλαγής φάσης το πρώτο εικοσιτετράωρο είναι αρκετή για να διατηρήσει την θερμοκρασία του δωματίου ίση ή μεγαλύτερη από 20 °C. Θέλουμε δηλαδή να αξιοποιήσουμε την αποθηκευμένη θερμότητα του pcm.

ΠΙΝΑΚΑΣ 13.11.1: Q_r , q_s , q_{rct} , C_{peff} , T , G_t ΚΑΙ $q_{συνολικό}$ ΩΣ
ΣΥΝΑΡΤΗΣΗ ΤΗΣ ΩΡΑΣ

time	Ταρχικό (°C)	q_r (W)	G_t (W/m ²)	C_{peff} (J/Kg °C)	q_s (W)	q_{rct} (W)	T_2 (°C)	$q_{συνολ}$ (W)
01:00:00	20,00	0,00	0,00	5000,00	0,00	0,00	20,00	-292,80
01:10:00	20,00	0,00	0,00	5000,00	0,00	0,00	20,00	-301,38
01:20:00	20,00	0,00	0,00	5000,00	0,00	0,00	20,00	-309,96
01:30:00	20,00	0,00	0,00	5000,00	0,00	0,00	20,00	-318,54
01:40:00	20,00	0,00	0,00	5000,00	0,00	0,00	20,00	-327,12
01:50:00	20,00	0,00	0,00	5000,00	0,00	0,00	20,00	-335,70
02:00:00	20,00	0,00	0,00	5000,00	0,00	0,00	20,00	-344,24
02:10:00	20,00	0,00	0,00	5000,00	0,00	0,00	20,00	-352,64
02:20:00	20,00	0,00	0,00	5000,00	0,00	0,00	20,00	-361,04
02:30:00	20,00	0,00	0,00	5000,00	0,00	0,00	20,00	-369,44
02:40:00	20,00	0,00	0,00	5000,00	0,00	0,00	20,00	-377,84
02:50:00	20,00	0,00	0,00	5000,00	0,00	0,00	20,00	-386,24
03:00:00	20,00	0,00	0,00	5000,00	0,00	0,00	20,00	-394,61
03:10:00	20,00	0,00	0,00	5000,00	0,00	0,00	20,00	-397,91
03:20:00	20,00	0,00	0,00	5000,00	0,00	0,00	20,00	-401,21
03:30:00	20,00	0,00	0,00	5000,00	0,00	0,00	20,00	-404,51
03:40:00	20,00	0,00	0,00	5000,00	0,00	0,00	20,00	-407,81
03:50:00	20,00	0,00	0,00	5000,00	0,00	0,00	20,00	-411,11
04:00:00	20,00	0,00	0,00	5000,00	0,00	0,00	20,00	-413,97
04:10:00	20,00	0,00	0,00	5000,00	0,00	0,00	20,00	-417,08
04:20:00	20,00	0,00	0,00	5000,00	0,00	0,00	20,00	-420,18
04:30:00	20,00	0,00	0,00	5000,00	0,00	0,00	20,00	-423,29
04:40:00	20,00	0,00	0,00	5000,00	0,00	0,00	20,00	-426,39
04:50:00	20,00	0,00	0,00	5000,00	0,00	0,00	20,00	-429,50
05:00:00	20,00	0,00	0,00	5000,00	0,00	0,00	20,00	-432,62
05:10:00	20,00	0,00	0,00	5000,00	0,00	0,00	20,00	-435,60
05:20:00	20,00	0,00	0,00	5000,00	0,00	0,00	20,00	-438,59
05:30:00	20,00	0,00	0,00	5000,00	0,00	0,00	20,00	-441,57
05:40:00	20,00	0,00	0,00	5000,00	0,00	0,00	20,00	-444,56
05:50:00	20,00	0,00	0,00	5000,00	0,00	0,00	20,00	-447,54
06:00:00	20,00	0,00	0,00	5000,00	0,00	0,00	20,00	-450,50
06:10:00	20,00	0,00	0,00	5000,00	0,00	0,00	20,00	-453,19
06:20:00	20,00	0,00	0,00	5000,00	0,00	0,00	20,00	-455,87
06:30:00	20,00	0,00	0,00	5000,00	0,00	0,00	20,00	-458,56
06:40:00	20,00	0,00	0,00	5000,00	0,00	0,00	20,00	-461,24
06:50:00	20,00	0,00	0,00	5000,00	0,00	0,00	20,00	-463,93
07:00:00	20,00	0,00	0,00	5000,00	0,00	0,00	20,00	-466,62
07:10:00	20,00	0,00	1,67	5000,00	17,82	17,82	20,00	-403,47
07:20:00	20,00	0,25	3,33	5046,63	35,64	35,39	20,01	-340,32
07:30:00	20,01	0,73	5,00	5138,40	53,46	52,73	20,01	-277,17
07:40:00	20,01	1,44	6,67	5272,67	71,28	69,84	20,02	-214,02
07:50:00	20,02	2,36	8,33	5445,97	89,10	86,74	20,03	-150,87

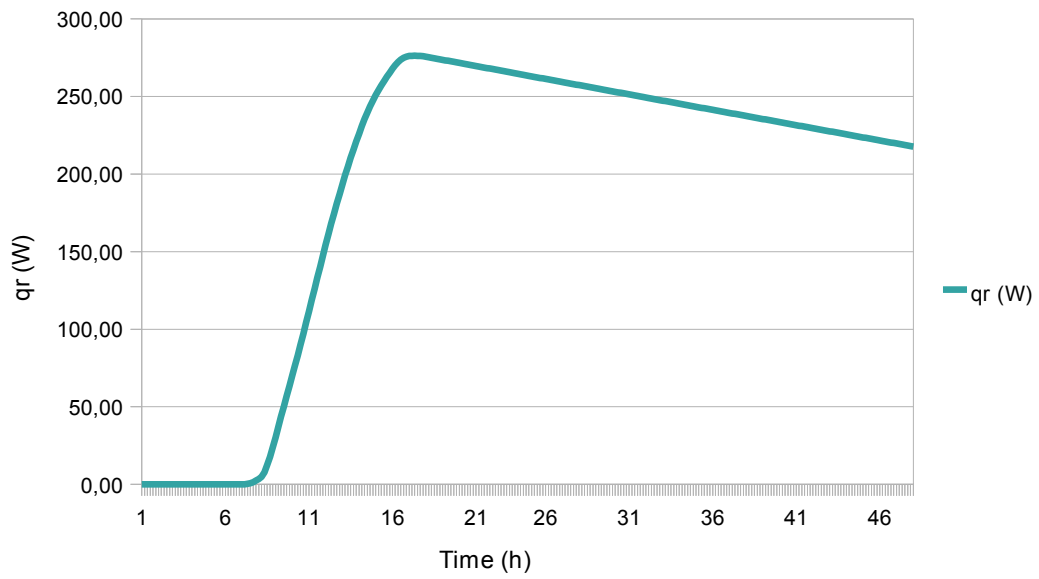
08:00:00	20,03	3,46	10,00	5654,38	106,92	103,46	20,04	-87,43
08:10:00	20,04	4,73	25,00	5893,78	267,30	262,57	20,07	-80,31
08:20:00	20,07	7,82	40,00	6476,71	427,68	419,86	20,12	-73,18
08:30:00	20,12	12,31	55,00	7324,94	588,06	575,75	20,17	-66,06
08:40:00	20,17	17,75	70,00	8353,42	748,44	730,69	20,22	-58,93
08:50:00	20,22	23,81	85,00	9497,96	908,82	885,01	20,29	-51,81
09:00:00	20,29	30,27	100,00	10717,18	1069,20	1038,93	20,35	-44,69
09:10:00	20,35	36,98	111,11	11985,62	1188,00	1151,02	20,41	-36,11
09:20:00	20,41	43,64	122,22	13242,19	1306,80	1263,16	20,47	-27,53
09:30:00	20,47	50,24	133,33	14490,34	1425,60	1375,36	20,54	-18,95
09:40:00	20,54	56,82	144,44	15732,28	1544,40	1487,58	20,60	-10,37
09:50:00	20,60	63,37	155,56	16969,52	1663,20	1599,83	20,66	-1,79
10:00:00	20,66	69,90	166,67	18203,10	1782,00	1712,10	20,72	6,75
10:10:00	20,72	76,41	183,33	19433,79	1960,20	1883,79	20,79	21,15
10:20:00	20,79	83,13	200,00	20702,14	2138,40	2055,27	20,85	35,55
10:30:00	20,85	90,01	216,67	22001,17	2316,60	2226,59	20,92	49,95
10:40:00	20,92	97,02	233,33	23325,39	2494,80	2397,78	20,98	64,35
10:50:00	20,98	104,14	250,00	24670,46	2673,00	2568,86	21,05	78,75
11:00:00	21,05	111,35	266,67	26032,93	2851,20	2739,85	21,12	93,27
11:10:00	21,12	118,64	278,33	27410,04	2975,94	2857,30	21,19	104,91
11:20:00	21,19	125,86	290,00	28774,03	3100,68	2974,82	21,26	116,55
11:30:00	21,26	133,02	301,67	30126,80	3225,42	3092,40	21,32	128,19
11:40:00	21,32	140,13	313,33	31469,90	3350,16	3210,03	21,39	139,83
11:50:00	21,39	147,20	325,00	32804,58	3474,90	3327,70	21,46	151,47
12:00:00	21,46	154,23	336,67	34131,89	3599,64	3445,41	21,52	163,11
12:10:00	21,52	161,22	338,89	35452,72	3623,40	3462,18	21,59	180,21
12:20:00	21,59	167,99	341,11	36730,52	3647,16	3479,17	21,65	197,31
12:30:00	21,65	174,55	343,33	37969,93	3670,92	3496,37	21,71	214,41
12:40:00	21,71	180,93	345,56	39174,81	3694,68	3513,75	21,77	231,51
12:50:00	21,77	187,14	347,78	40348,43	3718,44	3531,30	21,82	248,61
13:00:00	21,82	193,20	350,00	41493,61	3742,20	3549,00	21,88	265,72
13:10:00	21,88	199,13	347,78	42612,76	3718,44	3519,31	21,93	272,88
13:20:00	21,93	204,85	345,56	43693,40	3694,68	3489,83	21,99	280,03
13:30:00	21,99	210,38	343,33	44738,49	3670,92	3460,54	22,04	287,19
13:40:00	22,04	215,74	341,11	45750,60	3647,16	3431,42	22,09	294,34
13:50:00	22,09	220,93	338,89	46731,99	3623,40	3402,47	22,13	301,50
14:00:00	22,13	225,98	336,67	47684,67	3599,64	3373,66	22,18	308,68
14:10:00	22,18	230,88	322,22	48610,40	3445,20	3214,32	22,22	321,43
14:20:00	22,22	235,46	307,78	49475,62	3290,76	3055,30	22,26	334,18
14:30:00	22,26	239,74	293,33	50283,65	3136,32	2896,58	22,30	346,93
14:40:00	22,30	243,73	278,89	51037,39	2981,88	2738,15	22,34	359,68
14:50:00	22,34	247,44	264,44	51739,39	2827,44	2580,00	22,37	372,43
15:00:00	22,37	250,90	250,00	52391,86	2673,00	2422,10	22,40	384,81
15:10:00	22,40	254,10	241,67	52996,77	2583,90	2329,80	22,43	330,66
15:20:00	22,43	257,15	233,33	53571,99	2494,80	2237,65	22,46	276,51
15:30:00	22,46	260,04	225,00	54118,53	2405,70	2145,66	22,48	222,36
15:40:00	22,48	262,79	216,67	54637,30	2316,60	2053,81	22,51	168,21
15:50:00	22,51	265,39	208,33	55129,16	2227,50	1962,11	22,53	114,06

16:00:00	22,53	267,86	200,00	55594,86	2138,40	1870,54	22,55	64,35
16:10:00	22,55	270,19	172,22	56035,11	1841,40	1571,21	22,57	60,60
16:20:00	22,57	272,13	144,44	56402,00	1544,40	1272,27	22,58	56,85
16:30:00	22,58	273,69	116,67	56697,16	1247,40	973,71	22,60	53,10
16:40:00	22,60	274,88	88,89	56921,87	950,40	675,52	22,60	49,35
16:50:00	22,60	275,70	61,11	57077,15	653,40	377,70	22,61	45,60
17:00:00	22,61	276,16	33,33	57163,74	356,40	80,24	22,61	41,91
17:10:00	22,61	276,26	27,78	57182,11	297,00	20,74	22,61	42,62
17:20:00	22,61	276,28	22,22	57186,85	237,60	-38,68	22,61	43,32
17:30:00	22,61	276,24	16,67	57178,00	178,20	-98,04	22,61	44,03
17:40:00	22,61	276,12	11,11	57155,57	118,80	-157,32	22,61	44,73
17:50:00	22,61	275,93	5,56	57119,55	59,40	-216,53	22,60	45,44
18:00:00	22,60	275,66	0,00	57069,95	0,00	-275,66	22,60	46,12
18:10:00	22,60	275,33	0,00	57006,75	0,00	-275,33	22,60	40,84
18:20:00	22,60	275,00	0,00	56943,55	0,00	-275,00	22,59	35,56
18:30:00	22,59	274,66	0,00	56880,36	0,00	-274,66	22,59	30,28
18:40:00	22,59	274,33	0,00	56817,18	0,00	-274,33	22,59	25,00
18:50:00	22,59	273,99	0,00	56754,00	0,00	-273,99	22,58	19,72
19:00:00	22,58	273,66	0,00	56690,83	0,00	-273,66	22,58	14,42
19:10:00	22,58	273,32	0,00	56627,67	0,00	-273,32	22,58	3,21
19:20:00	22,58	272,99	0,00	56564,52	0,00	-272,99	22,58	-7,99
19:30:00	22,58	272,65	0,00	56501,37	0,00	-272,65	22,57	-19,20
19:40:00	22,57	272,32	0,00	56438,23	0,00	-272,32	22,57	-30,40
19:50:00	22,57	271,99	0,00	56375,09	0,00	-271,99	22,57	-41,61
20:00:00	22,57	271,65	0,00	56311,96	0,00	-271,65	22,56	-52,82
20:10:00	22,56	271,32	0,00	56248,84	0,00	-271,32	22,56	-60,12
20:20:00	22,56	270,98	0,00	56185,73	0,00	-270,98	22,56	-67,43
20:30:00	22,56	270,65	0,00	56122,62	0,00	-270,65	22,55	-74,73
20:40:00	22,55	270,32	0,00	56059,52	0,00	-270,32	22,55	-82,04
20:50:00	22,55	269,98	0,00	55996,42	0,00	-269,98	22,55	-89,34
21:00:00	22,55	269,65	0,00	55933,34	0,00	-269,65	22,54	-96,61
21:10:00	22,54	269,31	0,00	55870,26	0,00	-269,31	22,54	-104,71
21:20:00	22,54	268,98	0,00	55807,19	0,00	-268,98	22,54	-112,81
21:30:00	22,54	268,65	0,00	55744,12	0,00	-268,65	22,53	-120,91
21:40:00	22,53	268,31	0,00	55681,06	0,00	-268,31	22,53	-129,01
21:50:00	22,53	267,98	0,00	55618,01	0,00	-267,98	22,53	-137,11
22:00:00	22,53	267,64	0,00	55554,96	0,00	-267,64	22,52	-145,22
22:10:00	22,52	267,31	0,00	55491,93	0,00	-267,31	22,52	-148,98
22:20:00	22,52	266,98	0,00	55428,90	0,00	-266,98	22,52	-152,75
22:30:00	22,52	266,64	0,00	55365,87	0,00	-266,64	22,52	-156,51
22:40:00	22,52	266,31	0,00	55302,86	0,00	-266,31	22,51	-160,28
22:50:00	22,51	265,98	0,00	55239,85	0,00	-265,98	22,51	-164,04
23:00:00	22,51	265,64	0,00	55176,85	0,00	-265,64	22,51	-167,79
23:10:00	22,51	265,31	0,00	55113,85	0,00	-265,31	22,50	-176,67
23:20:00	22,50	264,98	0,00	55050,86	0,00	-264,98	22,50	-185,55
23:30:00	22,50	264,64	0,00	54987,88	0,00	-264,64	22,50	-194,43
23:40:00	22,50	264,31	0,00	54924,91	0,00	-264,31	22,49	-203,31
23:50:00	22,49	263,97	0,00	54861,94	0,00	-263,97	22,49	-212,19
00:00:00	22,49	263,64	0,00	54798,99	0,00	-263,64	22,49	-221,06

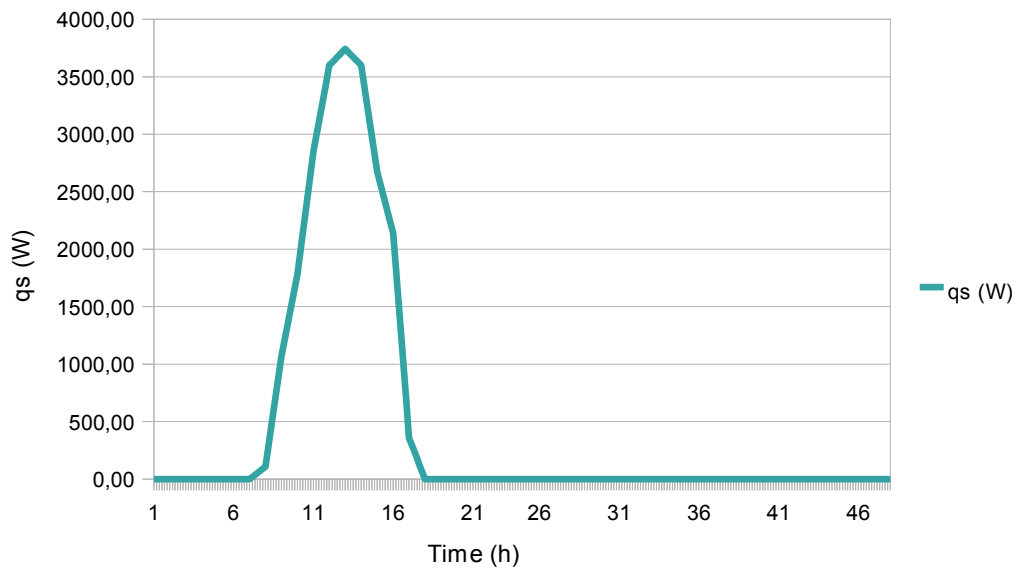
01:00:00	22,49	263,31	0,00	54736,03	0,00	-263,31	22,48	-292,80
01:10:00	22,48	262,98	0,00	54673,09	0,00	-262,98	22,48	-301,38
01:20:00	22,48	262,64	0,00	54610,15	0,00	-262,64	22,48	-309,96
01:30:00	22,48	262,31	0,00	54547,22	0,00	-262,31	22,47	-318,54
01:40:00	22,47	261,98	0,00	54484,30	0,00	-261,98	22,47	-327,12
01:50:00	22,47	261,64	0,00	54421,39	0,00	-261,64	22,47	-335,70
02:00:00	22,47	261,31	0,00	54358,48	0,00	-261,31	22,46	-344,24
02:10:00	22,46	260,98	0,00	54295,58	0,00	-260,98	22,46	-352,64
02:20:00	22,46	260,64	0,00	54232,68	0,00	-260,64	22,46	-361,04
02:30:00	22,46	260,31	0,00	54169,80	0,00	-260,31	22,46	-369,44
02:40:00	22,46	259,98	0,00	54106,92	0,00	-259,98	22,45	-377,84
02:50:00	22,45	259,64	0,00	54044,05	0,00	-259,64	22,45	-386,24
03:00:00	22,45	259,31	0,00	53981,19	0,00	-259,31	22,45	-394,61
03:10:00	22,45	258,98	0,00	53918,33	0,00	-258,98	22,44	-397,91
03:20:00	22,44	258,65	0,00	53855,48	0,00	-258,65	22,44	-401,21
03:30:00	22,44	258,31	0,00	53792,64	0,00	-258,31	22,44	-404,51
03:40:00	22,44	257,98	0,00	53729,81	0,00	-257,98	22,43	-407,81
03:50:00	22,43	257,65	0,00	53666,98	0,00	-257,65	22,43	-411,11
04:00:00	22,43	257,32	0,00	53604,17	0,00	-257,32	22,43	-413,97
04:10:00	22,43	256,98	0,00	53541,35	0,00	-256,98	22,42	-417,08
04:20:00	22,42	256,65	0,00	53478,55	0,00	-256,65	22,42	-420,18
04:30:00	22,42	256,32	0,00	53415,76	0,00	-256,32	22,42	-423,29
04:40:00	22,42	255,99	0,00	53352,97	0,00	-255,99	22,41	-426,39
04:50:00	22,41	255,65	0,00	53290,19	0,00	-255,65	22,41	-429,50
05:00:00	22,41	255,32	0,00	53227,42	0,00	-255,32	22,41	-432,62
05:10:00	22,41	254,99	0,00	53164,65	0,00	-254,99	22,41	-435,60
05:20:00	22,41	254,66	0,00	53101,89	0,00	-254,66	22,40	-438,59
05:30:00	22,40	254,32	0,00	53039,14	0,00	-254,32	22,40	-441,57
05:40:00	22,40	253,99	0,00	52976,40	0,00	-253,99	22,40	-444,56
05:50:00	22,40	253,66	0,00	52913,67	0,00	-253,66	22,39	-447,54
06:00:00	22,39	253,33	0,00	52850,94	0,00	-253,33	22,39	-450,50
06:10:00	22,39	253,00	0,00	52788,22	0,00	-253,00	22,39	-453,19
06:20:00	22,39	252,66	0,00	52725,51	0,00	-252,66	22,38	-455,87
06:30:00	22,38	252,33	0,00	52662,81	0,00	-252,33	22,38	-458,56
06:40:00	22,38	252,00	0,00	52600,11	0,00	-252,00	22,38	-461,24
06:50:00	22,38	251,67	0,00	52537,43	0,00	-251,67	22,37	-463,93
07:00:00	22,37	251,34	0,00	52474,75	0,00	-251,34	22,37	-466,62
07:10:00	22,37	251,01	0,00	52412,08	0,00	-251,01	22,37	-403,47
07:20:00	22,37	250,67	0,00	52349,41	0,00	-250,67	22,36	-340,32
07:30:00	22,36	250,34	0,00	52286,76	0,00	-250,34	22,36	-277,17
07:40:00	22,36	250,01	0,00	52224,11	0,00	-250,01	22,36	-214,02
07:50:00	22,36	249,68	0,00	52161,47	0,00	-249,68	22,35	-150,87

08:00:00	22,35	249,35	0,00	52098,84	0,00	-249,35	22,35	-87,43
08:10:00	22,35	249,02	0,00	52036,21	0,00	-249,02	22,35	-80,31
08:20:00	22,35	248,68	0,00	51973,60	0,00	-248,68	22,35	-73,18
08:30:00	22,35	248,35	0,00	51910,99	0,00	-248,35	22,34	-66,06
08:40:00	22,34	248,02	0,00	51848,39	0,00	-248,02	22,34	-58,93
08:50:00	22,34	247,69	0,00	51785,80	0,00	-247,69	22,34	-51,81
09:00:00	22,34	247,36	0,00	51723,21	0,00	-247,36	22,33	-44,69
09:10:00	22,33	247,03	0,00	51660,64	0,00	-247,03	22,33	-36,11
09:20:00	22,33	246,70	0,00	51598,07	0,00	-246,70	22,33	-27,53
09:30:00	22,33	246,36	0,00	51535,51	0,00	-246,36	22,32	-18,95
09:40:00	22,32	246,03	0,00	51472,96	0,00	-246,03	22,32	-10,37
09:50:00	22,32	245,70	0,00	51410,42	0,00	-245,70	22,32	-1,79
10:00:00	22,32	245,37	0,00	51347,88	0,00	-245,37	22,31	6,75
10:10:00	22,31	245,04	0,00	51285,36	0,00	-245,04	22,31	21,15
10:20:00	22,31	244,71	0,00	51222,84	0,00	-244,71	22,31	35,55
10:30:00	22,31	244,38	0,00	51160,33	0,00	-244,38	22,30	49,95
10:40:00	22,30	244,05	0,00	51097,83	0,00	-244,05	22,30	64,35
10:50:00	22,30	243,72	0,00	51035,33	0,00	-243,72	22,30	78,75
11:00:00	22,30	243,39	0,00	50972,85	0,00	-243,39	22,30	93,27
11:10:00	22,30	243,05	0,00	50910,37	0,00	-243,05	22,29	104,91
11:20:00	22,29	242,72	0,00	50847,90	0,00	-242,72	22,29	116,55
11:30:00	22,29	242,39	0,00	50785,44	0,00	-242,39	22,29	128,19
11:40:00	22,29	242,06	0,00	50722,99	0,00	-242,06	22,28	139,83
11:50:00	22,28	241,73	0,00	50660,54	0,00	-241,73	22,28	151,47
12:00:00	22,28	241,40	0,00	50598,11	0,00	-241,40	22,28	163,11
12:10:00	22,28	241,07	0,00	50535,68	0,00	-241,07	22,27	180,21
12:20:00	22,27	240,74	0,00	50473,26	0,00	-240,74	22,27	197,31
12:30:00	22,27	240,41	0,00	50410,85	0,00	-240,41	22,27	214,41
12:40:00	22,27	240,08	0,00	50348,45	0,00	-240,08	22,26	231,51
12:50:00	22,26	239,75	0,00	50286,06	0,00	-239,75	22,26	248,61
13:00:00	22,26	239,42	0,00	50223,68	0,00	-239,42	22,26	265,72
13:10:00	22,26	239,09	0,00	50161,30	0,00	-239,09	22,25	272,88
13:20:00	22,25	238,76	0,00	50098,93	0,00	-238,76	22,25	280,03
13:30:00	22,25	238,43	0,00	50036,57	0,00	-238,43	22,25	287,19
13:40:00	22,25	238,10	0,00	49974,22	0,00	-238,10	22,25	294,34
13:50:00	22,25	237,77	0,00	49911,88	0,00	-237,77	22,24	301,50
14:00:00	22,24	237,44	0,00	49849,55	0,00	-237,44	22,24	308,68
14:10:00	22,24	237,11	0,00	49787,23	0,00	-237,11	22,24	321,43
14:20:00	22,24	236,78	0,00	49724,91	0,00	-236,78	22,23	334,18
14:30:00	22,23	236,45	0,00	49662,60	0,00	-236,45	22,23	346,93
14:40:00	22,23	236,12	0,00	49600,31	0,00	-236,12	22,23	359,68
14:50:00	22,23	235,79	0,00	49538,02	0,00	-235,79	22,22	372,43
15:00:00	22,22	235,46	0,00	49475,74	0,00	-235,46	22,22	384,81
15:10:00	22,22	235,13	0,00	49413,47	0,00	-235,13	22,22	330,66
15:20:00	22,22	234,80	0,00	49351,20	0,00	-234,80	22,21	276,51
15:30:00	22,21	234,47	0,00	49288,95	0,00	-234,47	22,21	222,36
15:40:00	22,21	234,14	0,00	49226,70	0,00	-234,14	22,21	168,21
15:50:00	22,21	233,81	0,00	49164,47	0,00	-233,81	22,21	114,06

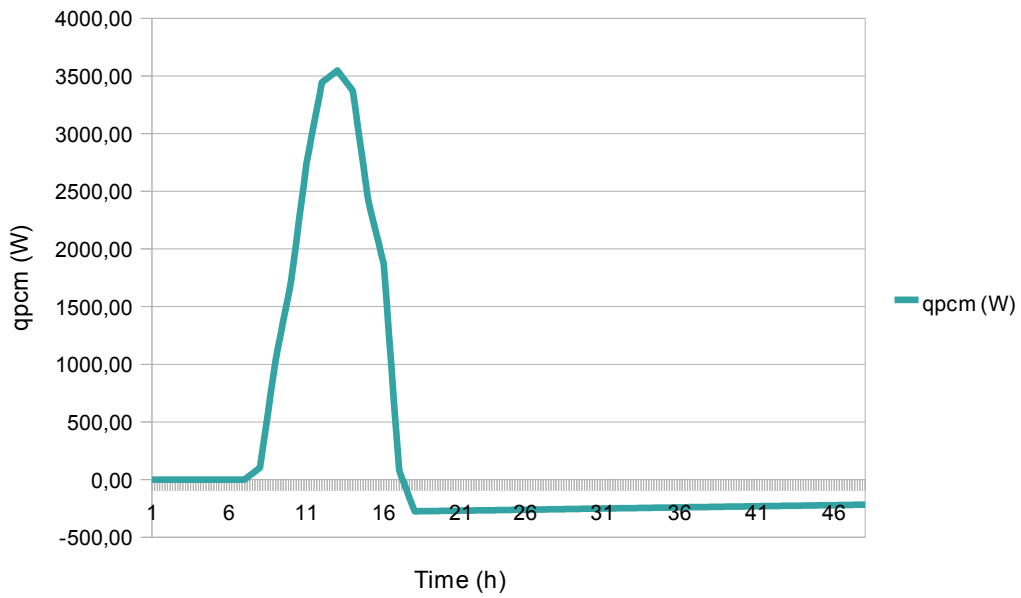
16:00:00	22,21	233,48	0,00	49102,24	0,00	-233,48	22,20	64,35
16:10:00	22,20	233,15	0,00	49040,02	0,00	-233,15	22,20	60,60
16:20:00	22,20	232,82	0,00	48977,81	0,00	-232,82	22,20	56,85
16:30:00	22,20	232,49	0,00	48915,61	0,00	-232,49	22,19	53,10
16:40:00	22,19	232,17	0,00	48853,42	0,00	-232,17	22,19	49,35
16:50:00	22,19	231,84	0,00	48791,24	0,00	-231,84	22,19	45,60
17:00:00	22,19	231,51	0,00	48729,07	0,00	-231,51	22,18	41,91
17:10:00	22,18	231,18	0,00	48666,90	0,00	-231,18	22,18	42,62
17:20:00	22,18	230,85	0,00	48604,75	0,00	-230,85	22,18	43,32
17:30:00	22,18	230,52	0,00	48542,60	0,00	-230,52	22,17	44,03
17:40:00	22,17	230,19	0,00	48480,47	0,00	-230,19	22,17	44,73
17:50:00	22,17	229,86	0,00	48418,34	0,00	-229,86	22,17	45,44
18:00:00	22,17	229,53	0,00	48356,22	0,00	-229,53	22,16	46,12
18:10:00	22,16	229,20	0,00	48294,11	0,00	-229,20	22,16	40,84
18:20:00	22,16	228,88	0,00	48232,01	0,00	-228,88	22,16	35,56
18:30:00	22,16	228,55	0,00	48169,92	0,00	-228,55	22,16	30,28
18:40:00	22,16	228,22	0,00	48107,84	0,00	-228,22	22,15	25,00
18:50:00	22,15	227,89	0,00	48045,76	0,00	-227,89	22,15	19,72
19:00:00	22,15	227,56	0,00	47983,70	0,00	-227,56	22,15	14,42
19:10:00	22,15	227,23	0,00	47921,65	0,00	-227,23	22,14	3,21
19:20:00	22,14	226,90	0,00	47859,60	0,00	-226,90	22,14	-7,99
19:30:00	22,14	226,58	0,00	47797,57	0,00	-226,58	22,14	-19,20
19:40:00	22,14	226,25	0,00	47735,54	0,00	-226,25	22,13	-30,40
19:50:00	22,13	225,92	0,00	47673,53	0,00	-225,92	22,13	-41,61
20:00:00	22,13	225,59	0,00	47611,52	0,00	-225,59	22,13	-52,82
20:10:00	22,13	225,26	0,00	47549,52	0,00	-225,26	22,12	-60,12
20:20:00	22,12	224,93	0,00	47487,53	0,00	-224,93	22,12	-67,43
20:30:00	22,12	224,61	0,00	47425,56	0,00	-224,61	22,12	-74,73
20:40:00	22,12	224,28	0,00	47363,59	0,00	-224,28	22,12	-82,04
20:50:00	22,12	223,95	0,00	47301,63	0,00	-223,95	22,11	-89,34
21:00:00	22,11	223,62	0,00	47239,68	0,00	-223,62	22,11	-96,61
21:10:00	22,11	223,29	0,00	47177,74	0,00	-223,29	22,11	-104,71
21:20:00	22,11	222,97	0,00	47115,81	0,00	-222,97	22,10	-112,81
21:30:00	22,10	222,64	0,00	47053,89	0,00	-222,64	22,10	-120,91
21:40:00	22,10	222,31	0,00	46991,98	0,00	-222,31	22,10	-129,01
21:50:00	22,10	221,98	0,00	46930,07	0,00	-221,98	22,09	-137,11
22:00:00	22,09	221,66	0,00	46868,18	0,00	-221,66	22,09	-145,22
22:10:00	22,09	221,33	0,00	46806,30	0,00	-221,33	22,09	-148,98
22:20:00	22,09	221,00	0,00	46744,43	0,00	-221,00	22,08	-152,75
22:30:00	22,08	220,67	0,00	46682,57	0,00	-220,67	22,08	-156,51
22:40:00	22,08	220,34	0,00	46620,71	0,00	-220,34	22,08	-160,28
22:50:00	22,08	220,02	0,00	46558,87	0,00	-220,02	22,07	-164,04
23:00:00	22,07	219,69	0,00	46497,04	0,00	-219,69	22,07	-167,79
23:10:00	22,07	219,36	0,00	46435,21	0,00	-219,36	22,07	-176,67
23:20:00	22,07	219,04	0,00	46373,40	0,00	-219,04	22,07	-185,55
23:30:00	22,07	218,71	0,00	46311,60	0,00	-218,71	22,06	-194,43
23:40:00	22,06	218,38	0,00	46249,80	0,00	-218,38	22,06	-203,31
23:50:00	22,06	218,05	0,00	46188,02	0,00	-218,05	22,06	-212,19
00:00:00	22,06	217,73	0,00	46126,25	0,00	-217,73	22,05	-221,06



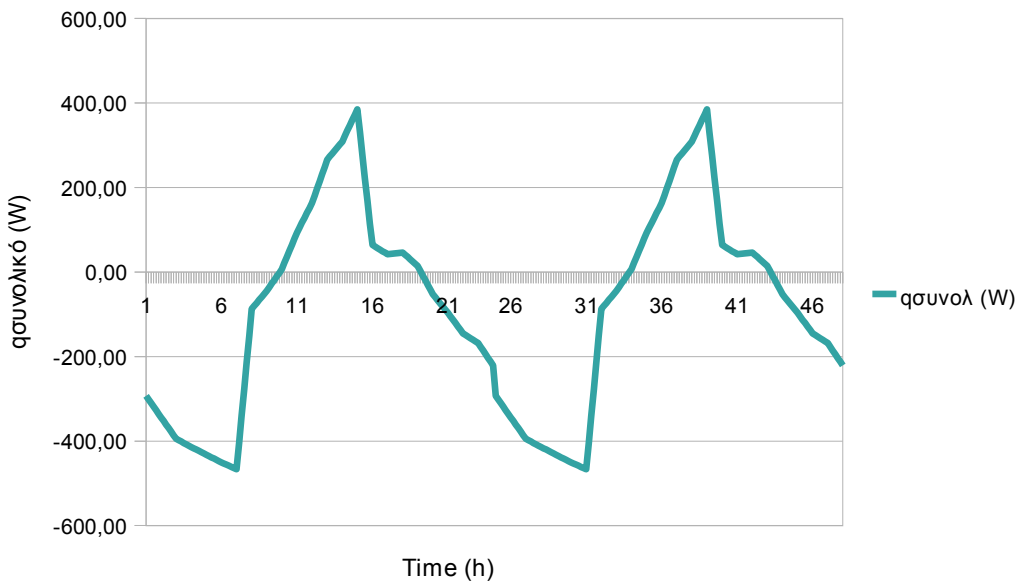
EIKONA 13.11.1: TO qr ΩΣ ΣΥΝΑΡΤΗΣΗ ΤΗΣ ΩΡΑΣ



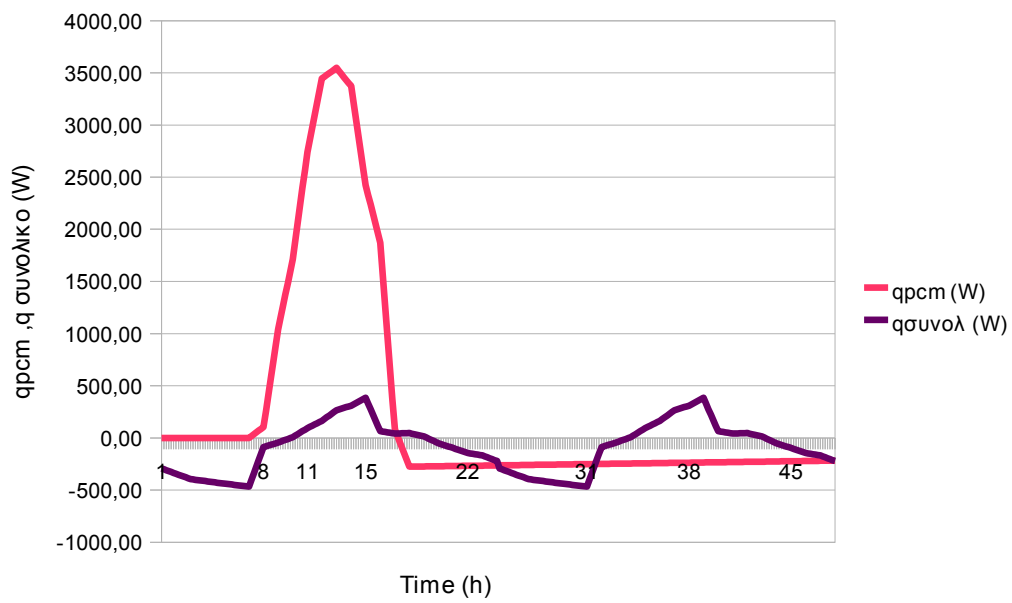
EIKONA 13.11.2: TO qs ΩΣ ΣΥΝΑΡΤΗΣΗ ΤΗΣ ΩΡΑΣ



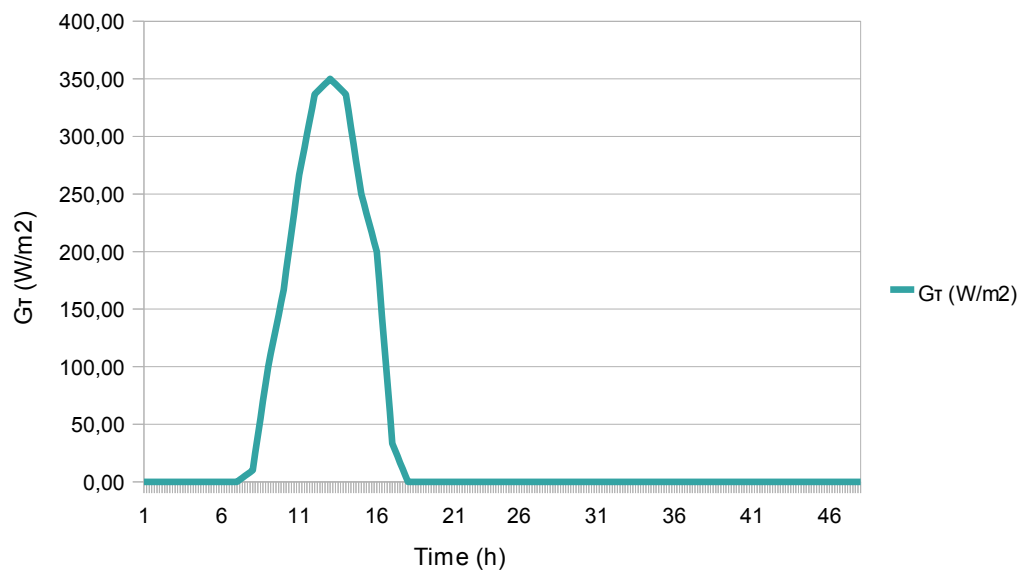
EIKONA 13.11.3: TO qrcm ΩΣ ΣΥΝΑΡΤΗΣΗ ΤΗΣ ΩΡΑΣ



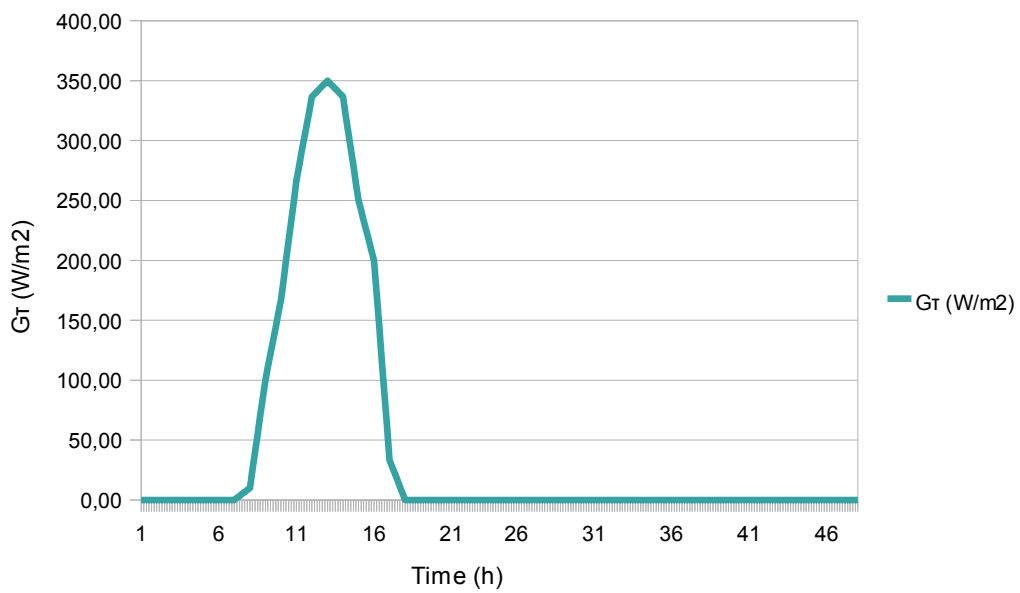
EIKONA 13.11.4: TO qσυνολικό ΩΣ ΣΥΝΑΡΤΗΣΗ ΤΗΣ ΩΡΑΣ



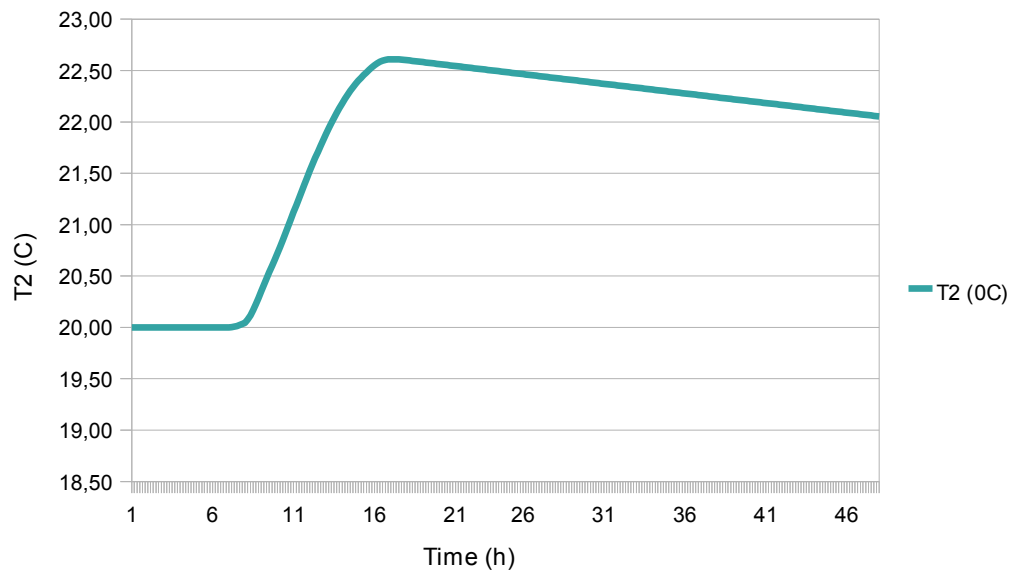
EIKONA 13.11.5:ΤΟ q_{pcmt} , $q_{\sigma\upsilon\nu\omicron\lambda}$ ΩΣ ΣΥΝΑΡΤΗΣΗ ΤΗΣ ΩΡΑΣ



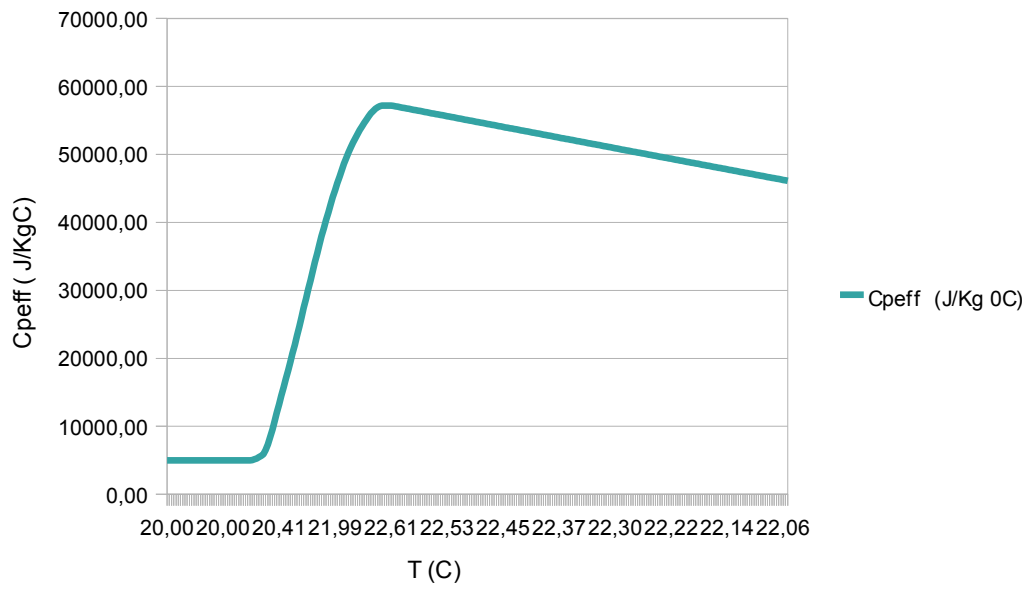
EIKONA 13.11.6:ΤΟ C_{peff} ΩΣ ΣΥΝΑΡΤΗΣΗ ΤΗΣ ΩΡΑΣ



EIKONA 13.11.7: TO G_{τ} ΩΣ ΣΥΝΑΡΤΗΣΗ ΤΗΣ ΩΡΑΣ



EIKONA 13.11.8: Η T_2 ΩΣ ΣΥΝΑΡΤΗΣΗ ΤΗΣ ΩΡΑΣ



ΕΙΚΟΝΑ 13.11.9: ΤΟ C_{peff} ΩΣ ΣΥΝΑΡΤΗΣΗ ΤΗΣ ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑΣ

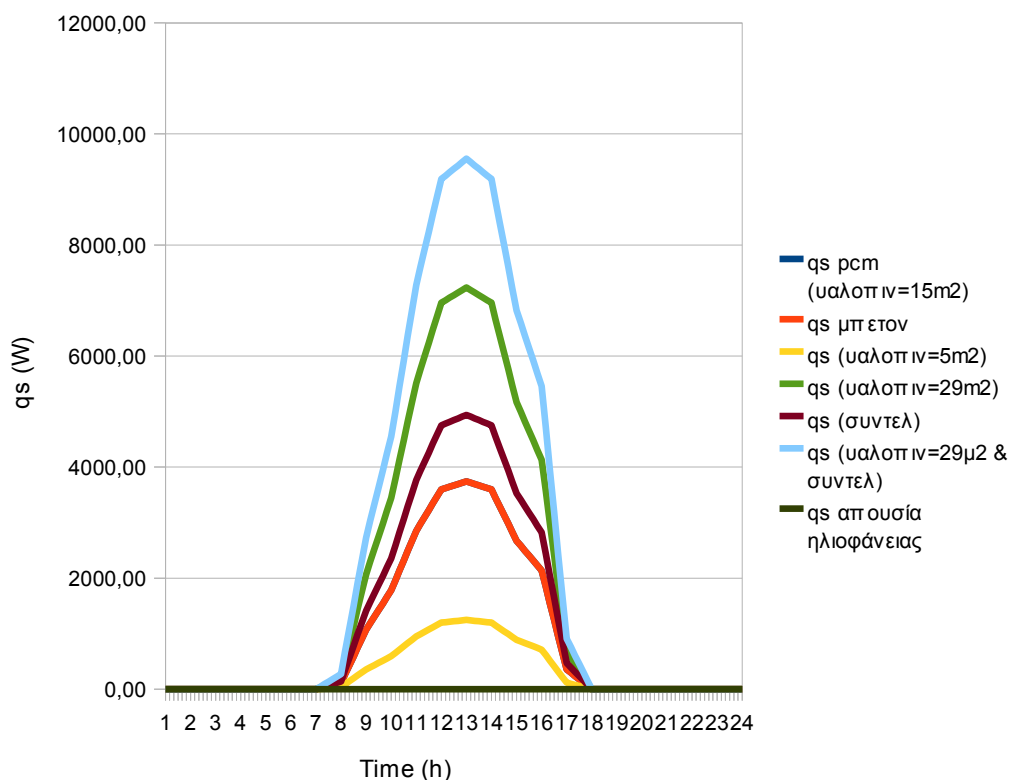
14 ΚΕΦΑΛΑΙΟ

ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ ΑΠΟ ΤΗ ΜΕΛΕΤΗ ΘΕΡΜΑΝΣΗΣ ΤΟΙΧΟΥ ΣΤΗΝ ΑΘΗΝΑ ΜΕ ΧΡΗΣΗ PCM ΠΟΥ ΛΕΙΤΟΥΡΓΕΙ ΩΣ ΠΑΘΗΤΙΚΟ ΣΥΣΤΗΜΑ

14.1.Συμπεράσματα από την μελέτη θέρμανσης τοίχου

Στο προηγούμενο κεφάλαιο μελετήσαμε την θέρμανση τοίχου στην Αθήνα με χρήση PCM και κάποιες παραλλαγές αυτού του προβλήματος. Στο κεφάλαιο αυτό με την βοήθεια των συγκριτικών πινάκων θα καταλήξουμε σε κάποια συμπεράσματα.

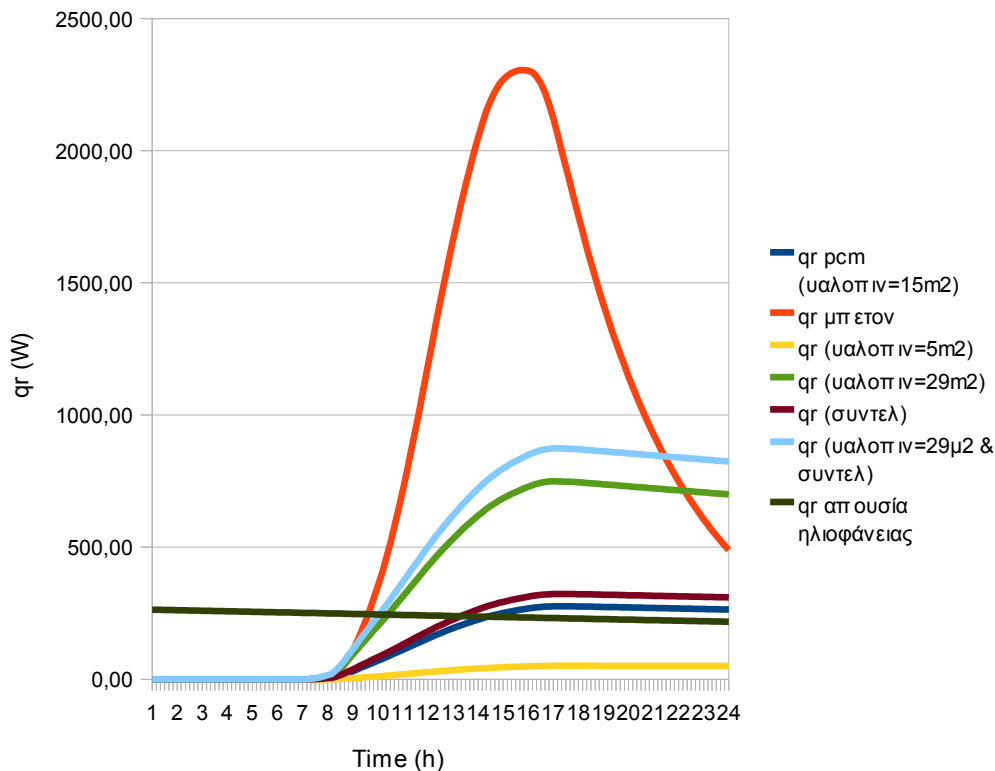
Παρακάτω ακολουθεί ο συγκριτικός πίνακας της θερμότητας που απορροφά το υλικό σε κάθε περίπτωση.



ΕΙΚΟΝΑ 14.1.1:ΤΟ q_s ΩΣ ΣΥΝΑΡΤΗΣΗ ΤΗΣ ΩΡΑΣ

Από την παραπάνω εικόνα παρατηρούμε ότι το υλικό αλλαγής φασής και το μπετόν αρχίζουν να αποθηκεύουν θερμότητα με την ανατολή του ηλίου (07:00) και σταματάνε με την δύση του ηλίου (18:00). Όταν ο υαλοπίνακας

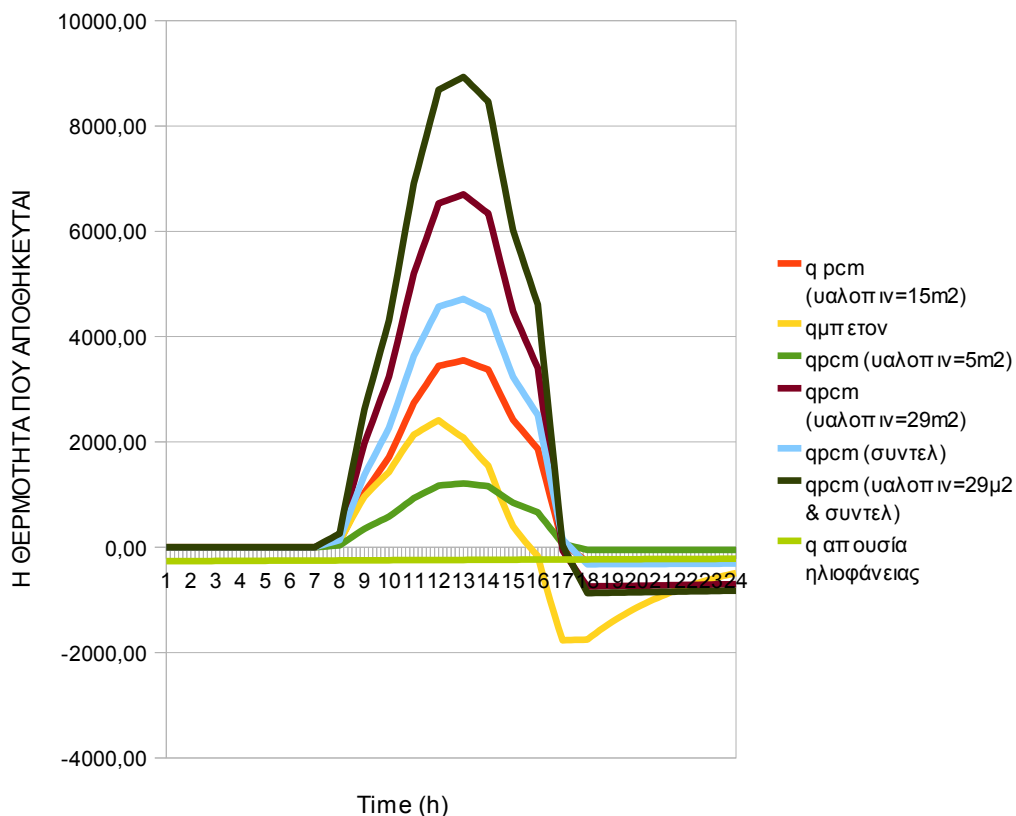
είναι 29 m² σε συνδυασμό με την αυξημένη προσπίπτουσα ηλιακή ακτινοβολία απορροφά την μέγιστη ακτινοβολία. Επιπλέον η καμπύλη όταν ο υαλοπίνακας είναι 15m² ταυτίζεται με την καμπύλη όταν αντικαταστήσουμε το pcm με το μπετόν ενώ η αύξηση και η μείωση των διαστάσεων του υαλοπίνακα έχει ως αποτέλεσμα την αύξηση και την μείωση της απορροφούμενης ακτινοβολίας αντίστοιχα. Τέλος η απουσία του ήλιου οδηγεί στην μηδενική απορροφούμενη ακτινοβολία.



ΕΙΚΟΝΑ 14.1.2: ΤΟ q_r ΩΣ ΣΥΝΑΡΤΗΣΗ ΤΗΣ ΩΡΑΣ

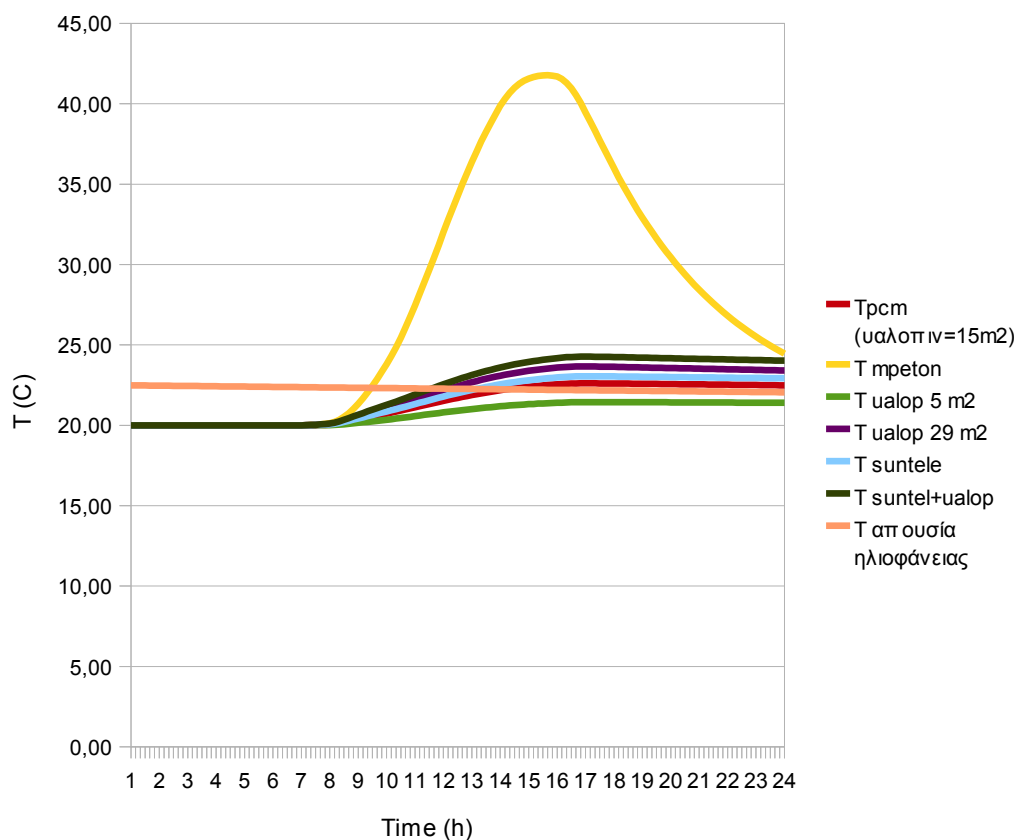
Στην εικόνα 14.1.2 βλέπουμε την θερμότητα που εκλύει το υλικό. Παρατηρούμε ότι το μπετόν σε σύγκριση με το υλικό αλλαγής φάσης εμφανίζει μια ραγδαία αύξηση της θερμότητας μέχρι τις μεσημβρινές ώρες. Τότε παρατηρείται διπλάσια θερμότητα (2200W) από αυτή που εκλύει το pcm. Στη συνέχεια η θερμότητα αυτή μειώνεται απότομα. Αντίθετα το υλικό αλλαγής φάσης αυξάνει σταδιακά την θερμότητα που εκλύει μέχρι τις μεσημβρινές ώρες. Τότε παρατηρείται και η μέγιστη θερμότητα. Έπειτα η θερμότητα αυτή μειώνεται ελάχιστα μέχρι το τέλος του εικοσιτετραώρου, γεγονός που αναδεικνύει την αποθηκευτική ικανότητα του pcm. Η αποθηκευτική ικανότητα του pcm γίνεται περισσότερο αντιληπτή στην

καμπύλη που προκύπτει λόγω της απουσίας ηλιοφάνειας το δεύτερο εικοσιτετράωρο. Επιπλέον όταν ο υαλοπίνακας είναι 29 m² σε συνδυασμό με την αυξημένη προσπίπτουσα ηλιακή ακτινοβολία εκλύει την μέγιστη ακτινοβολία. Η μείωση των διαστάσεων του υαλοπίνακα σε 5m² έχει ως αποτέλεσμα και την αρκετά μειωμένη έκλυση θερμότητας.



ΕΙΚΟΝΑ 14.1.3: Η ΘΕΡΜΟΤΗΤΑ ΠΟΥ ΑΠΟΘΗΚΕΥΕΤΑΙ ΩΣ ΣΥΝΑΡΤΗΣΗ ΤΗΣ ΩΡΑΣ

Η παραπάνω εικόνα μας παρουσιάζει το ποσό της θερμότητας που αποθηκεύεται. Παρατηρούμε ότι το μπετόν δεν αποθηκεύει καθόλου θερμότητα εφόσον το πόσο της θερμότητας που απορροφάται τις μεσημβρινές ώρες, εκλύεται τις αμέσως επόμενες. Επιπλέον το pcm παρατηρούμε ότι αποθηκεύει μεγάλα ποσά θερμότητας. Όταν ο υαλοπίνακας είναι 29 m² σε συνδυασμό με την αυξημένη προσπίπτουσα ηλιακή ακτινοβολία αποθηκεύει την μέγιστη θερμότητα. Ενώ καθώς μειώνουμε τις διαστάσεις του υαλοπίνακα μειώνεται και η θερμότητα που αποθηκεύεται. Τέλος η απουσία ηλιοφάνειας έχει ως αποτέλεσμα να μην αποθηκεύεται καθόλου θερμότητα.



ΕΙΚΟΝΑ 14.1.4: Η ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ ΩΣ ΣΥΝΑΡΤΗΣΗ ΤΗΣ ΩΡΑΣ

Στην εικόνα 14.1.4 παρατηρούμε ότι η θερμοκρασία του μπετόν ανεβαίνει απότομα μέχρι τους 42 °C (τις μεσημβρινές ώρες). Στην συνέχεια η θερμοκρασία αυτή μειώνεται ραγδαία εφόσον όπως προαναφέραμε δεν διαθέτει αποθηκευτική ικανότητα. Αντίθετα η θερμοκρασία του pcm ανεβαίνει σταδιακά μέχρι τους 24°C και μειώνεται ελάχιστα μέχρι το τέλος του εικοσιτετραώρου. Η θερμοκρασία αυτή του pcm παρατηρούμε ότι παρουσιάζει ελάχιστη μείωση και στο δεύτερο εικοσιτετράωρο με αποτέλεσμα να προσφέρει συνεχώς θερμότητα ακόμα και στην περίπτωση απουσίας ηλιοφάνειας. Επίσης στην περίπτωση που ο υαλοπίνακας είναι 29 m² σε συνδυασμό με την αυξημένη προσπίπτουσα ηλιακή ακτινοβολία η θερμοκρασία του pcm είναι 24°C. Επομένως παρατηρούμε ότι δεν αξιοποιούμε πλήρως το pcm εφόσον το θερμοκρασιακό εύρος αλλαγής φάσης του υλικού είναι 20-26°C. Ενώ καθώς μειώνουμε τις διαστάσεις του υαλοπίνακα μειώνεται και η θερμοκρασία .

BIBΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. http://www.cres.gr/energy_saving/Ktiria/pathitika_iliaka_systimata.htm
2. Αλέξανδρος Κων. Χριστοδουλάκης ,*"Μελέτη παθητικού ηλιακού κτιρίου με πεπερασμένες διαφορές στην περιοχή της Αθήνας"*
3. http://www.ecoarchitects.gr/research_docs/1171236197.pdf
4. Κίμωνας Α. Αντωνόπουλος , *"Θερμικά-Ηλιακά Συστήματα"*, ΕΜΠ Αθήνα 2008
5. Κατσιφώτης Αναστάσιος ,*"Χρήση των υλικών αλλαγής φάσης στα κτήρια και εφαρμογή σε ενδοδαπέδιο σύστημα ηλιακής θέρμανσης"*, Σεπτέμβριος 2010
6. <http://www.Cristopia.com>
7. A. Pasupathy ,R. Velraj,_, R.V. Seeniraj,*Phase change material-based building architecture for thermal management in residential and commercial establishments.*
8. S. M.Hasnain,*Review on sustainable thermal energy storage technologies,part 1:heat storage materials and techniques, July1997*
9. Ορφανού Ελένη, *" Χρήση υλικών αλλαγής φάσης για ηλιακή ενδοδαπέδια θέρμανση χώρου στην περιοχή της Αθήνας"*, Οκτώβριος 2010
10. http://en.wikipedia.org/wiki/Phase_change_material
11. Atul Sharma, V. V. Tyagib, C.R. Chen , D.Buddhi, *"Review on thermal energy storage with phase change materials and applications"* ,*Renewable & Sustainable Energy Reviews* 13 318-345, (2009)
12. Halime O Paksoy, *"Thermal Energy Storage for Sustainable Energy Consumption, Fundamentals,Case Studies and Design"*, NATO SCIENCE SERIES II: Mathematics, Physics and Chemistry, Volume 234,2007
13. Ρίζος Νικόλαος, *"Προσδιορισμός θέσης διεπιφάνειας στερεού-υγρού,σε υλικό αλλαγής φάσης με το εμπορικό πακέτο Fluent"*
14. Μάρκος Παπαδόπουλος-Βεντλινγκ, *"Μέτρηση θερμικών ιδιοτήτων αλλαγής φάσης"*,ΕΜΠ
15. Λύκος Δημήτριος,*" Αριθμητικές μέθοδοι μοντελοποίησης υλικών αλλαγής φάσης"*, Αθήνα 2007

16. Liu Z., Chung D.D.L., *Calorimetric evaluation of phase change materials for use as thermal interface materials, Thermochimica Acta*, 366, 2001
17. http://en.wikipedia.org/wiki/differential_scanning_calorimetry
18. E. Gunther, S. Hiebler, H. Mehling, "Determination of the heat storage capacity of PCM and PCM-objects as a function of temperature", Bavarian Center for Applied Energy Research (ZAE Bayern), Ecstock, 2006.
19. Zhang Yinping, Jiang Yi and Jiang Yi, "A simple method, the T – history method, of determining the heat of fusion, specific heat and thermal conductivity of phase-change materials, *Measurement and Science Technology*, 1999, p. 201-205.
20. Donald Pitts, Leighton Sissom, *Heat Transfer, McGraw-Hill international editions*
21. A.F. MILLS, *Heat and Mass Transfer*.
22. Ξενοφών Κακάτσιος, *Μετάδοση Θερμότητας, εκδόσεις Κλειδάριθμος, Αθήνα 2002.*
23. Hong H. Park C.H., Choi J.H. Peck J.H., "Improvement of the T-history method to measure heat of fusion for phase change material, *International Journal of Air-Conditioning and Refrigeration*", 11, 2003
24. Hiki Hong , Sun Kuk Kim, Yong-Shik Kim "Accuracy improvement of T-history method for measuring heat of fusion of various materials", *International Journal of Refrigeration*, 27, 2004, p. 360-366.
25. 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, Measurement and Science Technology*, 17, 2006, p. 2168-2174.
26. 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
27. <http://www.pcm-solutions.com/consulting.html>
28. M. Huang, P. Eames, *Phase change materials for limiting temperature rise in building integrated photovoltaic, Int. J. Solar Energy*
29. http://www.epia.org/documents/NL_0604_018.pdf

30. **B. Zalba, J. Martin, *Free-cooling of buildings with phase change materials, International journal of refrigeration, Vol 27***
31. **L. Shiley, Z. Neng, *Impact of phase change wall room on indoor thermal environment in winter, Energy and Buildings, Vol 38***
32. **Y. Rabin, B.Niv, *Integrated Solar Collector storage system based on PCM, Solar Energy, Vol 55***
33. **S. Canbazoglu, A. Sahinaslan, *Enhancement of solar thermal using pcm of solar water system***
34. **<http://www.eren.doe.gov/solarbuildings/techdescr.html>**
35. **F. Tan, C. Tso, *Cooling of mobile electronic devices using pcm, Applied thermal engineering, Vol 24***
36. **<http://www.mjm-engineering.com/telecomconsulting.html>**
37. **<http://www.heatmanagement.com/kunze/00english/products/frameset.html>**
38. **<http://www.climator.com>**
39. **<http://www.pcmenergy.com/products/telecom.htm>**
40. **http://en.wikipedia.org/wiki/Base_Station_Subsystem**
41. **L. Vasiliev, V. Burak, *latent storage modules for preheating internal combustion petrol engines, Applied Engineering, Vol 20***
42. **[http://www.teappcm.com/applications .htm](http://www.teappcm.com/applications.htm)**
43. **<http://www.bmw.com>**
44. **<http://www.nrel.gov/vehiclesandfuels/energystorage/pdfs/techbr.pdf>**
45. **P. Espeau, D. Mondieig, *'Active Package' for thermal protection of food products, Packing Technology and Science, Vol 10.***
46. **<http://www.polyfoam.com/content.cfm/utek>**
47. **http://www.polyfoam.com/content.cfm/cheststylecontains_food**
48. **http://www.polyfoam.com/content.cfm/polar_pack_rigid_bottles**
49. **<http://www.outlast.com/index.php?id=184&L=0>**
50. **<http://www.outlast.com/index.php?id=118&L=0>**
51. **<http://www.outlast.com/index.php?id=119&L=0>**
52. **Harald Mehling-Luisa F. Cabeza, *Heat and cold Storage with PCM, an up to date introduction into basics and applications, Springer 2008***
53. **V. Tyagi, D. Buddhi, *Thermal storage in Buildings, Energy and Buildings, Vol 42***

54. *V. Metivaud, L. Ventola, Thermal Insulation of Buildings using Phase Change Materials, Energy and Buildings, Vol 36*
55. *Balcomb, J.D. (editor), Passive Solar Buildings, MIT Press, Cambridge, Massachusetts, 1992*
56. *http://www.zae.physik.tumuenchen.de/zae/a1/englisch/arbeit/pcm/e_infoLatent.html*
57. *Ghonein,A.A, Building Walls Using Phase Change Materials, Solar Energy, Vol 47 No.3, 1991*
58. *Hawes, D.W., Feldman, D., Banu, D., “Latent Heat Storage in Building Materials,” Energy and Building, Vol. 20, 1993*
59. *Hawes, D.W., Banu, D., Feldman, D., “Latent Heat Storage in Concrete,” Solar Energy Materials, Vol. 19, 1989*
60. *Hawes, D.W., Banu, D., Feldman, D., “The stability of Phase Change Materials in Concrete,” Solar Energy Materials and Solar Cells, Vol. 27, 1989*
61. *Feldman, D., Banu, D., Hawes, D.W., “Development and Application of Organic Phase Change Mixtures in Thermal Storage Gypsum Wallboard,” Solar Energy Materials and Solar Cells, Vol. 36, 1995*
62. *Kedl, R.J, Stovall, T.K, Activities to support of the Wax- Impregnated Wallboard Concept, Oak Ridge National Laboratory, Tennessee, USA, 1989*
63. *Neeper, D.A., “Thermal Dynamics of Wallboard with Latent Heat Storage,” Solar Energy, Vol. 68, No. 5, 2000.*
64. *K. Darkwa, P. Callaghan, Simulation of phase change drywalls in a passive solar building, Applied Thermal Engineering, Vol 26*
65. *Stetiu,C, Feustel, H.E, Simplified Numerical Description of Latent Storage Characteristics for Phase Change Wallboard, Lawrence Berkeley National Laboratory, University of California, 1995*
66. *Dr.J.J.Tomlinson , What are the benefits of including latent storage in common wallboard, Conf.920801/7, Oak Ridge National Laboratory, Florida, U.S.A, 1992*
67. *K. Lin, Y. Zhang, Experimental study of under-floor electric heating system,with shape- stabilized PCM plates, Energy and Buildings, Vol 37*
68. *K. Nagano, S. Tadeka, study of a floor supply air conditioning system using granular phase change material to augment building thermal storage, Energy and Buildings, Vol 38*
69. *<http://content.honeywell.com/uk/homes/underfloor.htm>*

70. *A.Abhat, University of Suttgart, Low temperature latent heat thermal energy storage ,Solar Energy Journal, Vol.30, No.4 ,1983*
71. *http://en.wikipedia.org/wiki/Thermal_energy_storage*
72. *Frank Kreith – Mark S.Bohn, Principles of Heat Transfer fifth edition, PWS Publishing Company*
73. *Hans Dieter Baehr-Karl Stephan, Heat and Mass Trasfer, Springer*
74. *Yunus A.Cengel, Heat and Mass Transfer a practical approach, McGawn Hill book company*
75. *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, American Solar Energy Society, 1980*
76. *Buddhi D, Sharma SD,Measurements of Transmittance of Solar Radiation through stearic acid : latent heat storage material, Energy Convers Manage,1990*
77. *Buddhi D.Mishra HS, Sharma A, Theoretical performance studies of a test cell having a PCM window in south direction, India 2003*
78. *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*
79. *Stritih U, Novak P,Thermal storage of solar energy in the wall for building ventillation.Second workshop IEA, Advanced thermal energy storage techniques-feasibilitystudies and demonstration projects , Ljubjana, Slovenia, April 2002)*
80. *Feustel HE, Stetiu C., Thermal performance of phase change wallboard for residential cooling application, Lawrence Berkeley National laboratory, 1997*
81. *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*
82. *Salyer IO, Sircar AK, Kumar A, Advanced phase change materials technology: valuation ih lightweight solite hollow core building blocks, In : Proceedings of the 30th intersociety energy conversion engineering conference , Orlado, USA, 1995*
83. *Chahroudi D, Thermocrete heat storage materials: applications and performance specifications.In: Proceedings of Sharing the Sun Solar*

- Technology in the Seventies Conference, Winnipeg, USA, 1976, Chahroudi D., Development of thermocrete heat storage materials. In: Proceedings of the International Solar Energy Congress, voll 1, New Delhi, India, 1978*
84. *Peippo K, Kauranen P, Lund PD, Multicomponent PCM wall optimized for passive solar heating, Energy and Buildings, 1991*
 85. *Lee T., Hawes DW, Banu D, Feldman D, Control aspects of latent heat storage and recovery in concrete. Solar Energy Mater Solar Cells, 2000*
 86. *Hadjieva M, Stoykov R, Filipova T, Composite salt-hydrate concrete system for building energy storage. Renew Energy, 2000*
 87. *Mehling R, Krippner A, Hauer, Research project on PCM in woodlight weight concrete. In : Proceedings of the second workshop of IEA ECES IA Annex 17, Ljubljana, Slovenia, 2002*
 88. *Meng Z, Mario AM, Jennifer BK, Development of a thermally enhanced frame wall with phase change materials for on- peak airconditioning demand reduction and energy savings in residential buildings, Int J Energy Res, Greenheck Fan Corporation, Schofield, USA, 2005*
 89. *Saman WY, Belusko M, Roof integrated unglazed transpired solar air heater. In : Lee T, editor. Proceedings of the 1997 Australian and New Zealand Solar Energy Society, Paper 66, Canberra, Australia, 1997*
 90. *Hed G., Use of phase change material for change of thermal inertia. Sixth expert meeting workshop of Annex 17, advanced thermal energy storage through phase change materials and chemical reactions: feasibility studies and demonstration projects in Arvika, Sweden, 2004*
 91. *Zalba B., Martin 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*
 92. *Vakilatojjar S., Saman M., Domestic heating and cooling with thermal storage. Eight international conference on thermal energy storage, Stuttgart, Germany, 2000*
 93. *Morrison, DJ, Abdel Khalik SI, Effect of phase change energy storage on the performance of air- based and liquid –based solar heating system, Sol.energy, 1978) και οι Jurinak, Abdel Khalik, (Jurinak JJ, Abdel Khalik SI, On the performance of air-based solar heating systems utilizing phase change energy storage, Sol.Energy, 1979*

94. *Athienities A, Chen Y, The effect of solar radiation on dynamic thermal performance of floor heating systems, Sol.Energy,2000*
95. *Guthertz, JM,Schiller ME, A passive solar heating system for the perimeter zone of office buildings .Energy Sources, 1991*
96. *Antony Aroul Raj and R.Velraj,Review on free cooling of buildings using phase change materials*
97. *Feldman D, Banu D, Hawes D, Ghanbari E, Obtaining an energy storing building material by direct incorporation og an organic phase change material in gypsum wallboard.Solar Energy Materials, 1991*
98. *Darkwa K, Kim JS, Heat transfer in neuron composite laminated phase change drywall.Proceedings of the Institution of Mechanical Enginners Part A, Journal of Power and Energy, 2004), (Darkwa K, Kim JS, Dynamics of energy storage in phase change drywall systems.International Journal of Energy Research , 2005*
99. *Samira Haghshenaskashani , Department of Aerospace Engineering,Tarbiat Modares University, Teheran, Hadi Pasdarsahri tov Department of Mechanical Engineering, Tarbiat Modares University*
100. *Esam M. Alawadhi, Kuwait University Mechanical Engineering Department, 2007*
101. *Victor delValle, Dale Bessete, Lisa Sopkov, John Zhou, Kaz Szymocha , Long- term performance of the phase change material applied for heat storage, Alberta Research Council, Canada*
102. *Thermal Sciences Center of Lyon, Frederic Kuznik, Joseph irgone, Jean- Jaques Roux, 2006-2007*
103. *M.J.Huang, P.C.Eames, N.J.Hewitt, Centre for Sustainable Technologies, School of Built Environment, University of Ulster ,Newrownabbey,N.Ireland,UK, 2006*
104. *Wei Xiao, Xin Wang, Yiping Zhang, Department of Building Science , School of Architecture, Tsinghua University, Beijing, China, Analytical optimization of interior PCM for energy storage in a lightweight passive solar room, 2008*
105. *Κίμωνας Α. Αντωνόπουλος, Κλιματισμός,ΕΜΠ,Αθήνα 2008*
106. *G.Setoh ,F.L. Tan ,S.C. Fok, "Experimental studies on the use of a phase change material for cooling mobile phones"*