

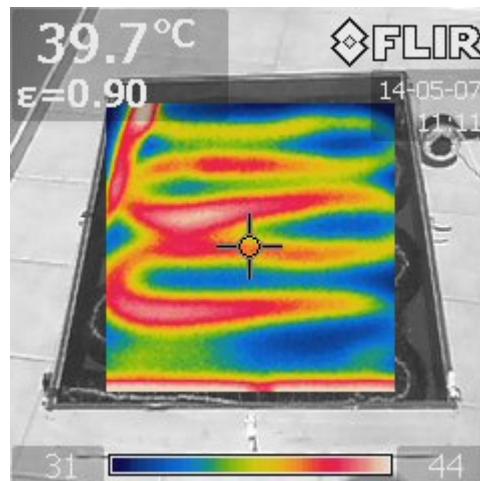


ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ
ΣΧΟΛΗ ΠΟΛΙΤΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ

ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ: Β. ΚΕΦΑΛΑΣ
ΤΟΜΕΑΣ ΜΗΧΑΝΙΚΗΣ, ΣΕΜΦΕ ΕΜΠ

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΣΥΣΤΗΜΑ ΗΛΙΑΚΗΣ ΘΕΡΜΑΝΣΗΣ ΑΕΡΑ
ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗ ΜΕΛΕΤΗ ΚΑΤΑΛΛΗΛΩΝ ΥΛΙΚΩΝ ΚΑΙ ΔΙΑΤΑΞΕΩΝ



ΓΡΥΛΛΑΚΗΣ ΜΙΧΑΗΛ

ΑΘΗΝΑ 2014

Περιεχόμενα

Σύνοψη	4
1. Θεωρητική προσέγγιση	6
1.1 Ηλιακή ενέργεια, δυναμικό και ακτινοβολία	6
1.2 Ηλιακή τροχιά και βέλτιστες γωνίες	8
1.2.1 Ηλιακή τροχιά	8
1.2.2 Κλίση ηλιακού συλλέκτη	9
1.2.3 Βέλτιστη κλίση ηλιακών συστημάτων – Συστήματα σταθερής και περιστρεφόμενης βάσης	11
1.3 Τιμές ηλιακής ακτινοβολίας	13
1.4 Ηλιακή ακτινοβολία σε κεκλιμένο επίπεδο	15
1.5 Τρόποι μετάδοσης θερμότητας	19
1.5.1 Μετάδοση της θερμότητας με αγωγή	19
1.5.2 Μετάδοση της θερμότητας με μεταφορά (ή συναγωγή)	20
1.5.3 Μετάδοση της θερμότητας με ακτινοβολία	20
1.5.3.1 Μετάδοση θερμότητας με ακτινοβολία. Πώς μεταδίδεται. Πώς θερμαίνει ένα σώμα. Πώς δεσμεύεται σε έναν ηλιακό συλλέκτη.	21
1.6 Αρχή λειτουργίας θερμοκηπίου – Μήκη κύματος ακτινοβολιών	24
1.7 Εκμετάλλευση της ηλιακής ενέργειας	25
1.7.1 Παθητικά Ηλιακά Συστήματα Θέρμανσης	25
1.7.2 Ενεργητικά Ηλιακά Συστήματα Θέρμανσης	27
1.8 Αέρας ως ρευστό και πλεονεκτήματά του	29
1.9 Κανόνες θερμικής άνεσης	30
1.10 Στάθμη της τεχνολογίας	34
1.11.1 Ηλιακός τοίχος. Τοίχος Trombe-Michel	37
1.12 Υλικά	41
1.12.1 Κατάλληλα υλικά για κατασκευή ηλιακών συλλεκτών αέρα	41
1.12.2 Ιδιότητες Υλικών	43
1.12.3 Υλικά κατάλληλα για αποθήκευση ενέργειας - PCM (Υλικά αλλαγής φάσης)....	43
1.13 Γεωμετρία	47
1.14 Βαθμός απόδοσης ηλιακών συστημάτων	47
1.14.1 Απόδοση Ηλιακού Συλλέκτη	47

1.14.2 Απώλειες ηλιακού συλλέκτη	48
1.15 Κλιματικά δεδομένα. Ελλάδα – Μεσόγειος. Ενεργειακές ανάγκες κτιρίων	49
2 Πειραματική ανάπτυξη	55
2.1 Κατασκευή πανομοιότυπων βασικών διατάξεων	55
2.2 Υλικά μελέτης – σύγκρισης.....	57
2.3 Διεξαγωγή σύγκρισης μέσω πειραματικών μετρήσεων	58
2.4 Αποτελέσματα μετρήσεων σύγκρισης και επεξεργασία τους	59
2.5 Υπολογισμός ενεργειακής απόδοσης	87
2.6 Οικονομική αποτίμηση και κάλυψη αναγκών.....	89
2.7 Συμπεράσματα.....	92
3 Βιβλιογραφία - Αναφορές	93

Σύνοψη

Η παρούσα εργασία έχει σαν αντικείμενο την μελέτη κατάλληλων υλικών και διατάξεων για την κατασκευή συστημάτων ηλιακής θέρμανσης αέρα με σκοπό την αξιοποίηση της ηλιακής ακτινοβολίας για τον κλιματισμό των κτιρίων.

Σε πρώτη φάση γίνεται μια θεωρητική προσέγγιση του αντικειμένου, εξετάζοντας το ενεργειακό δυναμικό της ηλιακής ακτινοβολίας αναλύοντας την ηλιακή τροχιά και τις γωνίες πρόσπτωσης στο έδαφος, τις δυνατότητες αξιοποίησής της και κατά πόσο είναι εφικτή η κάλυψη των ενεργειακών αναγκών των κτιρίων σύμφωνα με τους κανόνες θερμικής άνεσης. Μελετάται η στάθμη της τεχνολογίας των ηλιακών συστημάτων έως σήμερα, η συμπεριφορά του αέρα ως ρευστό καθώς και η συμβολή, επιρροή και συνεισφορά κατάλληλων υλικών για την κατασκευή διατάξεων αυξημένης απόδοσης.

Στη συνέχεια πραγματοποιείται μία πειραματική εφαρμογή ήπιου ενεργητικού ηλιακού συστήματος θέρμανσης, βασισμένου στην αρχή λειτουργίας του «ηλιακού τοίχου». Εξετάζονται διάφορα υλικά κατασκευής που προσαρμόζονται σε δύο πανομοιότυπες βασικές διατάξεις έτσι ώστε να είναι εύκολη η σύγκρισή τους. Από την ημερήσια καταγραφή των αναπτυσσόμενων θερμοκρασιών υπολογίζεται η συνεισφορά του κάθε υλικού στην απόδοση του συστήματος. Έπειτα, επιλέγονται τα δύο επικρατέστερα συστήματα και υπολογίζεται για αυτά η ημερήσια απόδοσή τους.

Τέλος, πραγματοποιείται μία οικονομική αποτίμηση της εφαρμογής των ανωτέρω συστημάτων υπολογίζοντας τον χρόνο απόσβεσής τους βάσει των κλιματικών δεδομένων της περιοχής των Αθηνών και συγκρίνοντας τα με άλλα βασικά συστήματα θέρμανσης κτιρίων.

Abstract

The purpose of the present project is to study appropriate materials and experimental setups for the construction of solar air-heating systems, in order to utilize solar energy for the air-conditioning of buildings.

Firstly, the topic is theoretically approached by evaluating the energy capacity of solar radiation and observing the solar orbit and the angle of incidence on the ground, its usability and the feasibility of reaching the energy needs of buildings according to the thermal comfort rules. Moreover, we present an overview of the current state of the art of solar systems, we study the behavior of air as a fluid and we review the contribution and the effects of appropriate materials for the construction of maximum-efficiency setups.

Secondly, we proceed with an experimental application of a mildly active solar air-heating system, based on the operating principle of the “solar wall”. Furthermore, we examine several different construction materials by adjusting them on two identical experimental setups, that provide easy comparison. We then calculate the contribution of each material on the efficiency of the system by logging daily temperature data that we record from the different setups. Moreover, we choose the two prevailing systems and we calculate their daily efficiency.

Finally, we make an economic evaluation of the application of the aforementioned systems by estimating their payback time - taking into account the climate data of the Athens area - and comparing them to other basic heating systems.

1. Θεωρητική προσέγγιση

1.1 Ηλιακή ενέργεια, δυναμικό και ακτινοβολία

Ηλιακή ενέργεια χαρακτηρίζεται το σύνολο των διαφόρων μορφών ενέργειας που προέρχονται από τον Ήλιο. Τέτοιες είναι το φως ή φωτεινή ενέργεια, η θερμότητα ή θερμική ενέργεια καθώς και διάφορες ακτινοβολίες ή ενέργεια ακτινοβολίας.

Η ηλιακή ενέργεια στο σύνολό της είναι πρακτικά ανεξάντλητη, αφού προέρχεται από τον ήλιο, και ως εκ τούτου δεν υπάρχουν περιορισμοί χώρου και χρόνου για την εκμετάλλευσή της.

Με τον όρο **ηλιακή ακτινοβολία** εννοούμε την εκπομπή και διάδοση της ηλιακής ενέργειας με ηλεκτρομαγνητικά κύματα, είτε στο κενό, είτε μέσα σε διαπερατό από την ακτινοβολία μέσο. [1]

Η ηλιακή ακτινοβολία αποτελεί την κυριότερη φυσική πηγή ενέργειας. Δε συνειδητοποιούμε πάντοτε ότι σε μια μέρα η γη δέχεται από τον ήλιο περισσότερη ενέργεια από εκείνη που εμείς καταναλώνουμε σε ένα έτος. Δεδομένου ότι η μέση θερμοκρασία της γης είναι σχεδόν σταθερή, προκύπτει το συμπέρασμα ότι αυτή η εντυπωσιακή ποσότητα θερμότητας αποβάλλεται προς τον ουρανό, κυρίως μέσω της νυκτερινής επανακτινοβολίας. [2]

Με λίγα λόγια, η αξιοποίηση της ηλιακής ενέργειας σήμερα είναι μηδαμινή και, παρότι είναι σχετικά δύσκολη, σίγουρα απέχει πολύ από τη μέγιστη δυνατή (με την παρούσα τεχνολογία).

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

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

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

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

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

Για τον υπολογισμό της προσπίπτουσας ηλιακής ακτινοβολίας σε οποιαδήποτε κεκλιμένη ή/και περιστρεφόμενη επιφάνεια, είναι απαραίτητη η γνώση της ηλιακής ακτινοβολίας σε οριζόντιο επίπεδο.

[3]

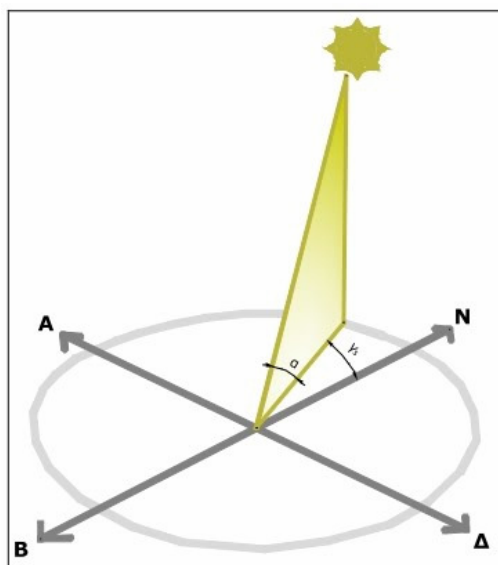
1.2 Ηλιακή τροχιά και βέλτιστες γωνίες

1.2.1 Ηλιακή τροχιά

Η θέση του ηλίου περιγράφεται από δύο γωνίες:

- . Το ηλιακό ύψος (α)
- . Το ηλιακό αζιμούθιο (γ_s)

Το ύψος του ηλίου (α) (σε μοίρες) είναι η γωνία που σχηματίζεται μεταξύ της θέσης του ήλιου στον ουρανό και του οριζόντιου επιπέδου, ενώ το αζιμούθιο (γ_s) (σε μοίρες) είναι η γωνία της ορθής προβολής του ήλιου επάνω στο οριζόντιο επίπεδο, σε σχέση με τον τοπικό μεσημβρινό Βορρά – Νότου. Στην κατεύθυνση του Νότου, σύμφωνα με παραδοχή, ορίζεται η γωνία αζιμουθίου ίση με 0° , αρνητική προς την ανατολή και θετική προς τη δύση.



Ως **ηλιακή απόκλιση** (δ) ορίζεται η γωνία που σχηματίζεται μεταξύ της ευθείας που ενώνει τα κέντρα του ήλιου και της γης και του επιπέδου του ισημερινού.

Για κάθε ημέρα του έτους δίνεται από την αρκετά απλοποιημένη αλλά ακριβή σχέση:

$$\delta = 23,45 \cdot \sin \left[\frac{360 \cdot (n+284)}{365} \right] \quad (\text{Cooper 1969})$$

όπου n η ημέρα του έτους για $n = 1$ την 1^η Ιανουαρίου

1.2.2 Κλίση ηλιακού συλλέκτη

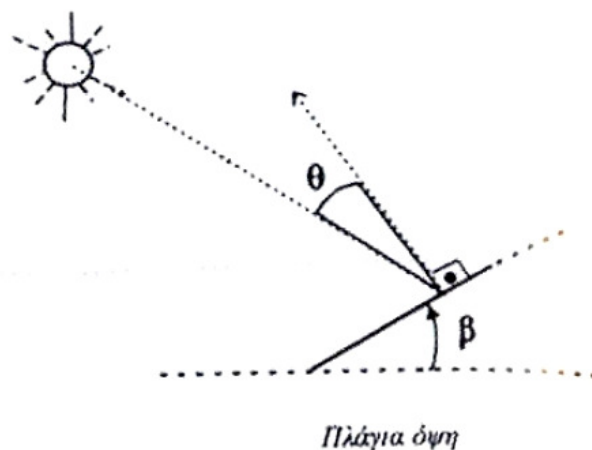
Για κεκλιμένες επιφάνειες στο **βόρειο ημισφαίριο**, προσανατολισμένες **προς το νότο**, η σχέση που συνδέει την **κλίση τοποθέτησης του ηλιακού συλλέκτη (β)** με την **γωνία θ** που σχηματίζουν οι ακτίνες του ηλίου με την κάθετη στον ηλιακό συλλέκτη δίνεται από τον τύπο:

$$\cos \theta = \sin \delta \cdot \sin(\varphi - \beta) + \cos \delta \cdot \cos(\varphi - \beta) \cdot \cos \omega \quad (\text{σχέση 2.2.1})$$

όπου δ = ηλιακή απόκλιση

φ = ωριαία γωνία ηλίου

ω = γεωγραφικό πλάτος



--- Η **ωριαία γωνία ηλίου (ω)** υπολογίζεται από τη σχέση

$$\omega = (t_s - 12) \cdot 15 \quad (\text{μοίρες})$$

όπου t_s ο ηλιακός χρόνος σε ώρες

--- Ο ηλιακός χρόνος (t_s) δίνεται από τη σχέση

$$t_s = t_c + (L_{loc}/15) - T_c + E$$

όπου t_c ο τοπικός χρόνος σε ώρες

L_{loc} το γεωγραφικό μήκος σε μοίρες

T_c η τοπική ωρολογιακή ζώνη αριστερά του GMT σε ώρες (για την Ελλάδα +2 ώρες)

E η εξίσωση του χρόνου που φαίνεται παρακάτω:

$$E = 3,82 \cdot (0,00075 + 0,01868 \cdot \cos B - 0,032077 \cdot \sin B - 0,014615 \cdot \cos 2B - 0,04089 \cdot \sin 2B)$$

$$\text{όπου } B = 360 \cdot (n - 1) / 365$$

όπου n η μέρα του χρόνου

[6]

Επομένως, η ωριαία γωνία του ηλίου είναι συνάρτηση της ημέρας και της ώρας, για συγκεκριμένη γεωγραφική θέση.

Από τη σχέση 2.2.1 μπορούμε να έχουμε ανά πάσα στιγμή την **τιμή της γωνίας β συναρτήσει της γωνίας θ** .

Ποια θα ήταν όμως η **βέλτιστη γωνία κλίσης β** για κάθε στιγμή της ημέρας ;

Προφανώς, παρατηρώντας και μόνο το σχήμα, συμπεραίνουμε ότι η ιδανική κλίση β είναι αυτή για την οποία $\theta = 0$. Με επίλυση της σχέσης 2.2.1 για $\theta = 0$, μπορούμε να έχουμε την βέλτιστη κλίση β για κάθε συγκεκριμένη ημέρα και ώρα σε συγκεκριμένο γεωγραφικό σημείο.

Ωστόσο, παρόλο που η λύση της εξίσωσης είναι εφικτή [προκύπτει μία εξίσωση δευτέρου βαθμού ως προς $\sin(\varphi - \beta)$], η πρακτική χρησιμότητά της δεν είναι τόσο συνήθης γιατί το κόστος των μηχανισμών στρέψης, το κόστος συντήρησής τους και η ενεργειακή τους κατανάλωση, δεν είναι αντίστοιχα του ενεργειακού κέρδους που παίρνουμε, ειδικά σε

σύγκριση με συστήματα που αλλάζουν κλίση σε τακτά χρονικά διαστήματα, για παράδειγμα κάθε μήνα.

Έτσι, η πιο συνήθης πρακτική είναι η τοποθέτηση των ηλιακών συλλεκτών με νότιο προσανατολισμό και η μεταβολή της κλίσης τους ανά μήνα ή ανά εποχή με αυτόματο ή και χειροκίνητο τρόπο.

Για εγκαταστάσεις στο βόρειο ημισφαίριο, η **μέγιστη απολαβή επιτυγχάνεται** όταν ο συλλέκτης προσανατολίζεται στο νότο και **η κλίση του είναι ίση με τη γεωγραφική παράλληλο του τόπου** (γεωγραφικό πλάτος ϕ) ενώ ενδείκνυται η κλίση να μειώνεται κατά $10 - 15^\circ$ κατά τη διάρκεια του καλοκαιριού και να αυξάνεται κατά το ίδιο ποσοστό κατά τη διάρκεια του χειμώνα.

1.2.3 Βέλτιστη κλίση ηλιακών συστημάτων – Συστήματα σταθερής και περιστρεφόμενης βάσης

Τα συστήματα αξιοποίησης της ηλιακής ακτινοβολίας (ηλιακός συλλέκτης ή φωτοβολταϊκά) μπορεί να είναι τοποθετημένα πάνω σε σταθερή βάση ή σε περιστρεφόμενη βάση. Αναλόγως με το είδος του συστήματος, το ποσό της ηλιακής ακτινοβολίας που αξιοποιείται, είναι διαφορετικό.

Η **βέλτιστη ετήσια σταθερή γωνία κλίσης** ενός ηλιακού συστήματος, εξαρτάται από το γεωγραφικό πλάτος της περιοχής, την περίοδο ηλιοφάνειας, τη μορφολογία της περιοχής εγκατάστασης και τα φυσικά εμπόδια (ορεινοί όγκοι, δένδρα, κτιριακές εγκαταστάσεις, κ.α.). Τα φυσικά ή τεχνητά εμπόδια μπορεί να περιορίζουν την προσπίπτουσα ηλιακή ακτινοβολία ανάλογα με τη γεωμετρική θέση που έχουν ως προς τα ηλιακά συστήματα. Η προσπίπτουσα ηλιακή ακτινοβολία σε μια επιφάνεια με σταθερή βάση, μπορεί να αυξηθεί ($4 \div 6\%$) με την **μηνιαία μεταβολή της κλίσης (β) ανά μήνα ή ανά εποχή**.

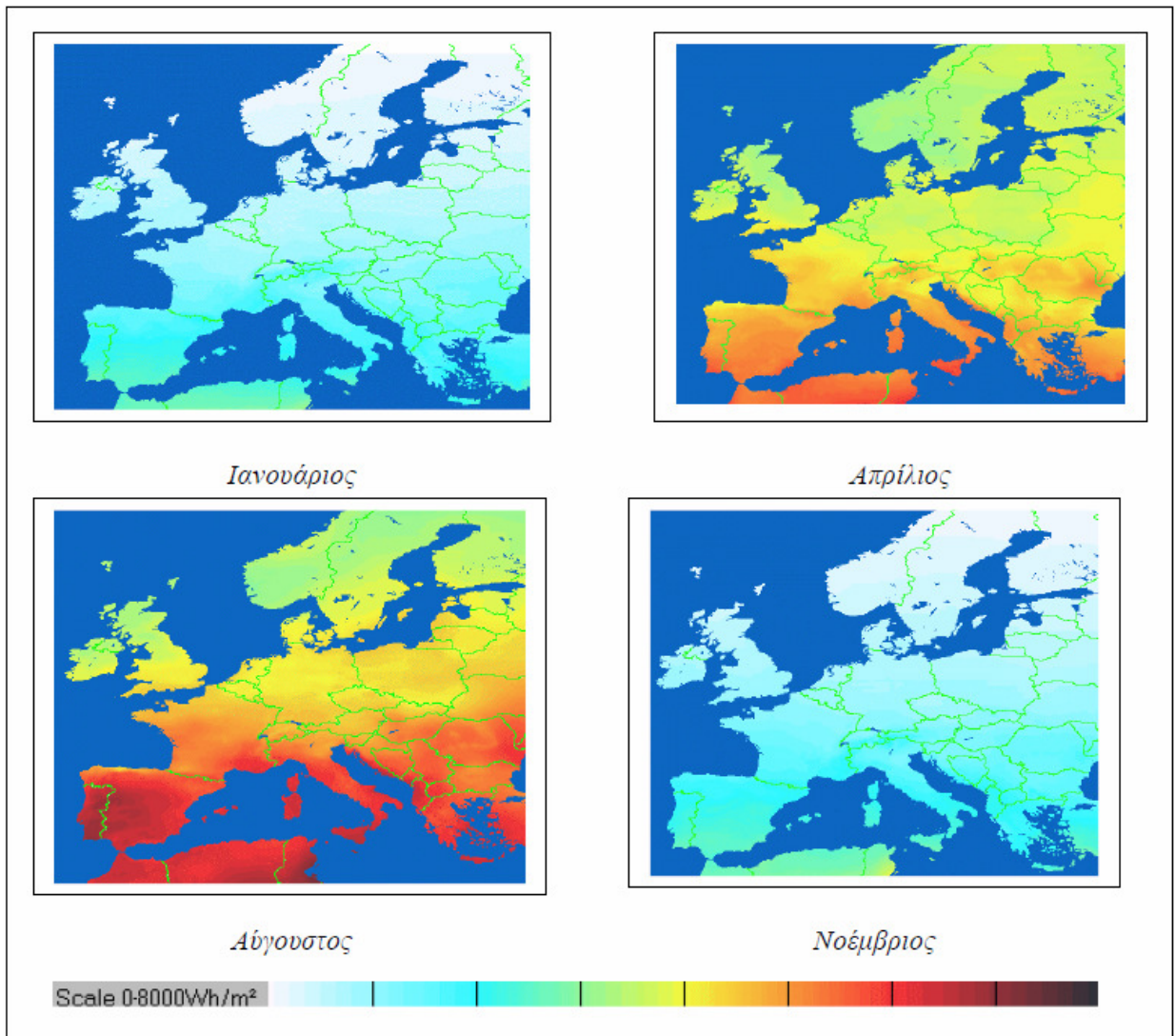
Οι τιμές βέλτιστης κλίσης (β) είναι σχεδόν ίδιες για περιοχές με ίδιο γεωγραφικό πλάτος. Στην Ελλάδα, η μεταβολή της κλίσης ενός ηλιακού συστήματος σε εποχική βάση, αυξάνει την προσπίπτουσα ηλιακή ακτινοβολία κατά περίπου **5%** ως προς την προσπίπτουσα σε σύστημα σταθερής ετήσιας κλίσης, ενώ η μεταβολή της κλίσης σε μηνιαία βάση προκαλεί αύξηση της ετήσιας ακτινοβολίας κατά περίπου **6%**.

Συστήματα περιστρεφόμενων βάσεων υπάρχουν ενός ή δύο αξόνων. Οι βάσεις με έναν άξονα περιστροφής διατηρούν την συλλεκτική επιφάνεια ενός ηλιακού συστήματος σε σταθερή κλίση αλλά με προσανατολισμό ίσο με το ηλιακό αζιμούθιο γ_s . Οι βάσεις με δύο άξονες περιστροφής μετακινούν την συλλεκτική επιφάνεια του συστήματος σε κλίση (β) ίση με το ηλιακό ύψος (α) και με προσανατολισμό (γ) ίσο με το ηλιακό αζιμούθιο γ_s , δηλαδή έτσι ώστε να ακολουθεί την κίνηση του ηλίου. Στην Ελλάδα, συστήματα περιστρεφόμενων βάσεων ενός άξονα αυξάνουν την προσπίπτουσα ηλιακή ακτινοβολία σε ποσοστό περίπου 23÷25% ως προς την προσπίπτουσα σε σύστημα σταθερής ετήσιας κλίσης, ενώ στην περίπτωση περιστρεφόμενων βάσεων δύο αξόνων η αύξηση ανέρχεται περίπου στο 28÷30% (σύμφωνα με την Τ.Ο.Τ.Ε.Ε. 20701-3/2010) [3]

Επομένως, σύμφωνα με τα παραπάνω, ένα **σημαντικό σημείο που πρέπει να τονιστεί** είναι ότι παίζει **πολύ μεγαλύτερο ρόλο** στην αύξηση της προσλαμβανόμενης ακτινοβολίας **η συνεχής περιστροφή του συλλέκτη** από την ανατολή προς τη δύση κατά τη διάρκεια της μέρας **σε σχέση με την συνεχή αλλαγή της κλίσης αυτού.**

1.3 Τιμές ηλιακής ακτινοβολίας

Μέσες μηνιαίες τιμές ημερήσιας ηλιακής ακτινοβολίας σε οριζόντιο επίπεδο (ESRA Screen – European Solar Radiation Atlas)



[11]

**ΜΕΣΗ ΜΗΝΙΑΙΑ ΗΛΙΑΚΗ ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑ ΣΕ ΚΕΚΛΙΜΕΝΕΣ ΕΠΙΦΑΝΕΙΕΣ ΜΕ
ΝΟΤΙΟ ΚΑΙ ΤΥΧΑΙΟ ΠΡΟΣΑΝΑΤΟΛΙΣΜΟ ΓΙΑ ΤΗΝ ΠΕΡΙΟΧΗ ΤΗΣ ΑΘΗΝΑΣ**

Στον παρακάτω πίνακα δίνονται οι τιμές της μέσης μηνιαίας ακτινοβολίας για κεκλιμένες επιφάνειες 90° και 45° και για διάφορους προσανατολισμούς.

ΑΘΗΝΑ- ΕΛΛΗΝΙΚΟ: Μέση Ακτινοβολία (kWh/m ²)											
Μήνες	Οριζόντιο επίπεδο	Για κλίση επιφάνειας 90°					Για κλίση επιφάνειας 45°				
		Β	ΒΑ/ΒΔ	Α/Δ	ΝΑ/ΝΔ	Ν	Β	ΒΑ/ΒΔ	Α/Δ	ΝΑ/ΝΔ	Ν
ΙΑΝ	63	19	21	43	75	95	23	30	58	89	104
ΦΕΒ	79	24	28	49	73	88	30	42	69	95	108
ΜΑΡ	118	37	48	71	89	95	52	75	103	126	135
ΑΠΡ	154	49	65	86	93	89	94	108	131	146	151
ΜΙΑ	195	69	92	111	105	88	143	151	168	174	171
ΙΟΥΝ	214	78	102	119	107	85	165	169	182	183	178
ΙΟΥΛ	222	78	105	125	114	92	167	173	191	194	189
ΑΥΓ	203	64	91	119	119	103	132	148	177	190	190
ΣΕΠΤ	153	43	60	91	108	110	73	98	133	158	167
ΟΚΤ	109	31	37	65	95	113	37	58	94	128	144
ΝΟΕ	71	20	23	48	82	103	25	33	65	98	114
ΔΕΚ	56	17	18	40	73	94	20	25	53	83	98

[3]

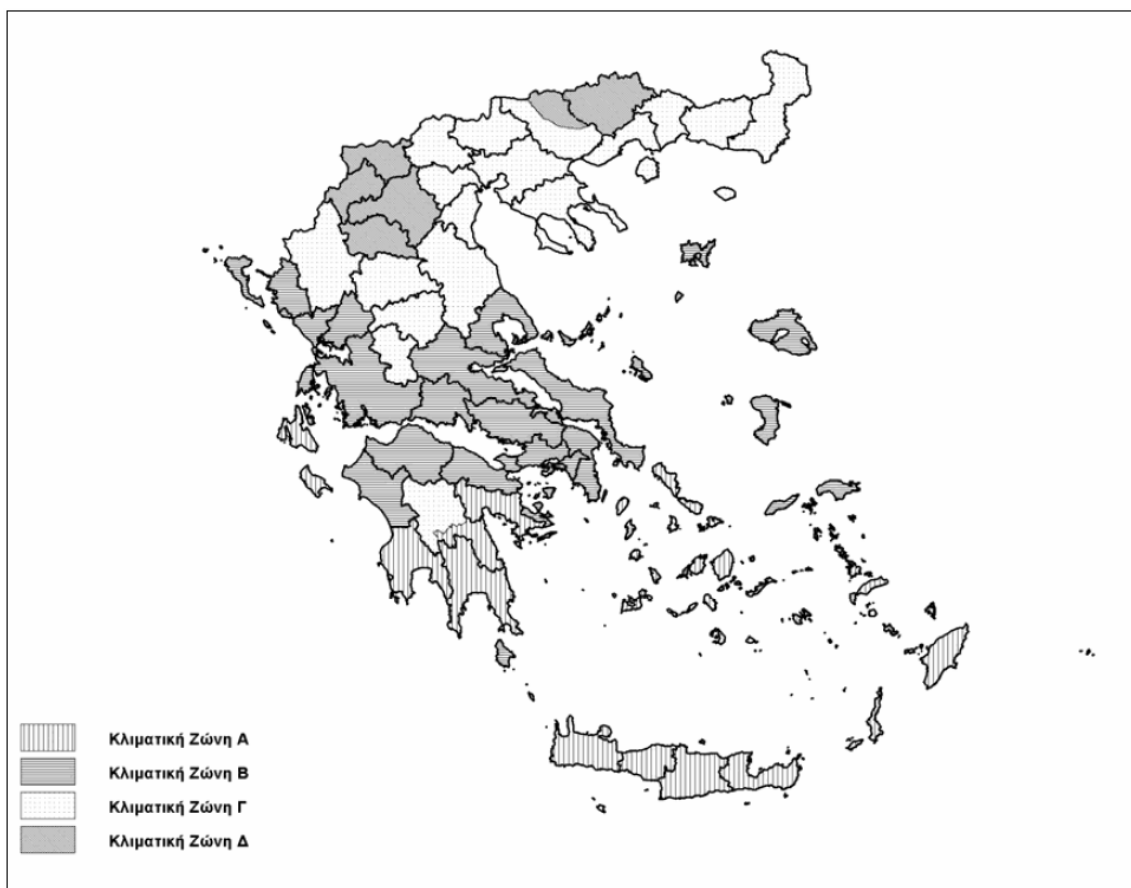
1.4 Ηλιακή ακτινοβολία σε κεκλιμένο επίπεδο

Η γνώση της ηλιακής ακτινοβολίας που δέχεται ένα κεκλιμένο επίπεδο είναι απαραίτητη στις περισσότερες εφαρμογές και μελέτες των ηλιακών συστημάτων. Επειδή όμως στους περισσότερους μετεωρολογικούς σταθμούς είναι διαθέσιμη συνήθως η ολική ηλιακή ακτινοβολία στο οριζόντιο επίπεδο, θα πρέπει να δοθεί μέθοδος υπολογισμού της ακτινοβολίας στο κεκλιμένο επίπεδο σε ωριαία ή μηνιαία βάση. Παρακάτω δίνονται οι σχέσεις για τον υπολογισμό της ηλιακής ακτινοβολίας στο κεκλιμένο επίπεδο σε ωριαία και μηνιαία βάση.

Στη βιβλιογραφία δίνονται αρκετοί τύποι υπολογισμού της ακτινοβολίας σε οριζόντιο επίπεδο, ανάλογα με τις γεωγραφικές συντεταγμένες, την ημέρα του έτους και την ώρα της ημέρας. Ωστόσο, ενώ οι σχέσεις αυτές μπορούν να είναι πολύ χρήσιμες για υπολογισμούς και προβλέψεις της συμπεριφοράς ενός συλλέκτη, στην περίπτωσή μας θεωρούμε ότι είναι επαρκής και μάλλον πιο ακριβής μέθοδος, η λήψη ιστορικών μετρήσεων της ακτινοβολίας σε οριζόντιο επίπεδο από μετεωρολογικούς σταθμούς που βρίσκονται πολύ κοντά στο σημείο που έλαβαν χώρα οι μετρήσεις μας.

Επομένως, θα αναφερθούμε απλά στην αναγωγή της ακτινοβολίας από οριζόντιο σε κεκλιμένο επίπεδο.

Για την απλοποίηση της μελέτης των ηλιακών συστημάτων, η χώρα μας χωρίζεται σε 4 ζώνες ως ακολούθως:



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

Η μέση μηνιαία ακτινοβολία σε κεκλιμένο επίπεδο H_T εκφράζεται ως εξής:

$$H_T = R \cdot H \quad (\text{σχέση 1.4.1})$$

Όπου

H: η μέση μηνιαία ακτινοβολία σε οριζόντιο επίπεδο εκτός ατμόσφαιρας

R: ο συντελεστής μετατροπής που δίνεται από τον τύπο

R

$$= \left(1 - \frac{H_d}{H}\right) R_b + \frac{H_d}{H} \frac{1 + \cos s}{2} + r \frac{1 - \cos s}{2}$$

(σχέση 1.4.2)

όπου:

H_d: η μέση μηνιαία έμμεση ακτινοβολία σε οριζόντιο επίπεδο εκτός ατμόσφαιρας

R_b: ο λόγος της μέσης μηνιαίας άμεσης ακτινοβολίας στο κεκλιμένο επίπεδο προς αυτή σε οριζόντιο επίπεδο

s: η κλίση της επιφάνειας ως προς το οριζόντιο επίπεδο

r: ο συντελεστής ανάκλασης του εδάφους

Συντελεστές ανάκλασης εδάφους

Υλικό επικάλυψης εδάφους	Ανακλαστικότητα (W/m ²)
Κάλυψη χιονιού, φρέσκια	0,75 - 0,95
Κάλυψη χιονιού, παλαιά	0,40 - 0,70
Σωροί ελαφριάς άμμου	0,30 - 0,60
Τσιμεντένιες επιφάνειες	0,30 - 0,50
Χιόνι σκληρημένο	0,20 - 0,50
Γρασίδι	0,20 - 0,30
Τούβλο, διαφόρων χρωμάτων	0,23 - 0,48
Έδαφος με χρώμα άμμου	0,15 - 0,40
Λιβάδι	0,12 - 0,30
Ξύλα	0,05 - 0,20
Έδαφος με σκουρόχρωμη καλλιέργεια	0,07 - 0,10
Ασφαλτοτάπητας	<0,10 - 0,15
Σχιστόλιθος, σκουρόχρωμος άργιλος	>0,07
Μπλε πέτρα (ψαμμίτης)	0,18
Ξηρό γρασίδι	0,32
Φλοιοί	0,23 - 0,48
Πράσινοι αγροί	0,03 - 0,15
Πράσινα φύλλα	0,25 - 0,32
Επιφάνειες νερού, θάλασσα	0,03 - 0,10

Η Αθήνα όπου πραγματοποιούμε τις μετρήσεις μας βρίσκεται στην κλιματική Ζώνη Β της Ελλάδας στην οποία σύμφωνα με τη σχέση 1.4.2 ο συντελεστής R κυμαίνεται στις παρακάτω μέσες τιμές ανάλογα με τον μήνα και με τη γωνία κλίσης:

Μέσες τιμές συντελεστή R

ΖΩΝΗ 2										
ΚΛΙΣΗ	0°	10°	20°	30°	40°	50°	60°	70°	80°	90°
I	1	1,19	1,36	1,49	1,59	1,65	1,67	1,65	1,59	1,49
Φ	1	1,13	1,24	1,32	1,36	1,38	1,37	1,32	1,24	1,13
M	1	1,07	1,13	1,16	1,17	1,14	1,10	1,02	0,93	0,81
A	1	1,03	1,03	1,02	0,99	0,93	0,86	0,77	0,66	0,55
M	1	0,99	0,97	0,93	0,88	0,80	0,71	0,61	0,51	0,40
I	1	0,98	0,94	0,89	0,82	0,74	0,65	0,53	0,44	0,33
I	1	0,99	0,96	0,91	0,85	0,77	0,67	0,57	0,46	0,35
A	1	1,02	1,01	0,99	0,95	0,88	0,80	0,70	0,58	0,46
Σ	1	1,06	1,11	1,12	1,11	1,08	1,02	0,93	0,83	0,71
O	1	1,12	1,22	1,29	1,33	1,34	1,32	1,26	1,18	1,06
N	1	1,19	1,35	1,49	1,58	0,64	0,66	0,63	1,56	1,46
Δ	1	1,20	1,38	1,53	1,64	1,71	1,74	1,72	1,66	1,56

Το R_b, για επιφάνειες που είναι στραμμένες ακριβώς προς το νότο, δίνεται σαν συνάρτηση του γεωγραφικού πλάτους φ και της κλίσης της επιφάνειας s:

$$R = \frac{\cos(\varphi - s) \cdot \cos\delta \cdot \sin\omega'_s + \left(\frac{\pi}{180}\right) \omega_s \cdot \sin(\varphi - s) \cdot \sin\delta}{\cos\varphi \cdot \cos\delta \cdot \sin\omega_s + \left(\frac{\pi}{180}\right) \omega_s \cdot \sin\varphi \cdot \sin\delta}$$

Όπου

ω_s: η ωριαία γωνία που δύνει ο ήλιος σε οριζόντιο επίπεδο

$$\omega_s = \arccos(-\tan\varphi \cdot \tan\delta)$$

η ωριαία γωνία που δύνει ο ήλιος σε κεκλιμένη επιφάνεια

$$\omega'_s = \min\left\{\omega_s, \arccos(-\tan(\varphi - s) \cdot \tan\delta)\right\}$$

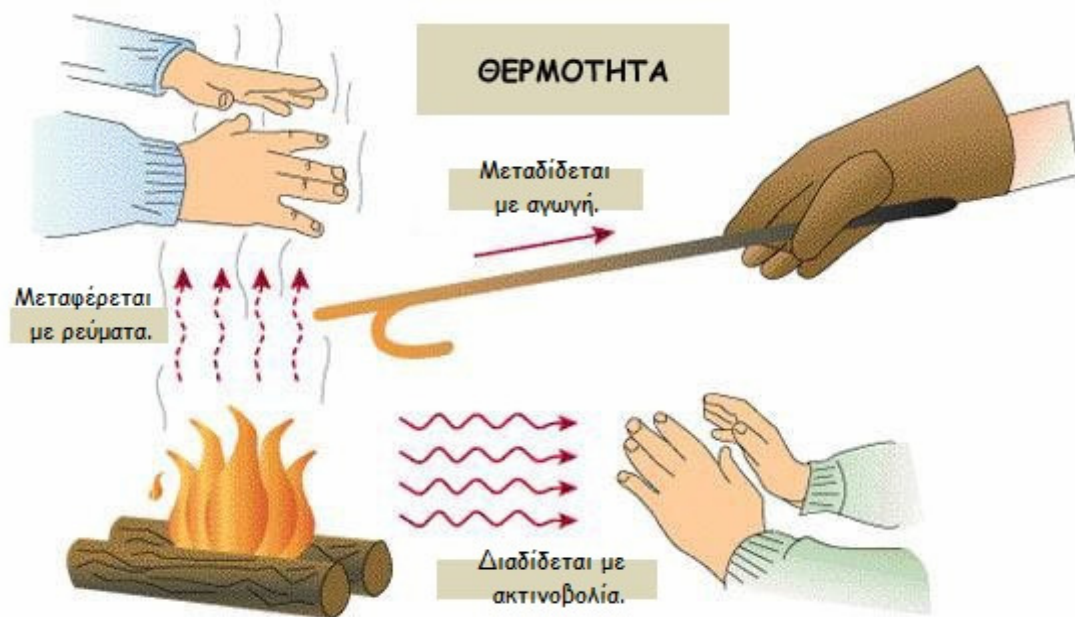
δ: η ηλιακή απόκλιση

$$\delta = 23,45 \sin(360 \cdot (284 + n)/365)$$

n: η ημέρα του έτους κατά αύξοντα αριθμό

[3], [13]

1.5 Τρόποι μετάδοσης θερμότητας



Οι τρόποι μετάδοσης της θερμότητας είναι τρεις: Αγωγή, Συναγωγή (ή Μεταφορά) και Ακτινοβολία

1.5.1 Μετάδοση της θερμότητας με αγωγή

Σύμφωνα με τον Νόμο του Φουριέ, η μετάδοση θερμότητας με αγωγή εκφράζει τη ροή θερμότητας Q από ένα σώμα στο άλλο μέσω επαφής και είναι ανάλογη με τη διαφορά θερμοκρασίας τους. Ειδικότερα ισχύει:

$$Q = \lambda \cdot A \cdot \frac{\Delta T}{\Delta x}$$

Όπου λ η θερμική αγωγιμότητα του θερμαινόμενου υλικού και εξαρτάται από το υλικό που χρησιμοποιούμε προς μελέτη, A είναι η επιφάνεια επαφής και Δx το πάχος του υλικού.

1.5.2 Μετάδοση της θερμότητας με μεταφορά (ή συναγωγή)

Στα υγρά και τα αέρια η θερμότητα διαδίδεται με μεταφορά. Κατά την μεταφορά αυτή, ποσότητες υγρού ή αερίου θερμαίνονται και μεταφέρονται σε ψυχρότερη περιοχή, όπου και προκαλούν την θέρμανσή της. Μπορεί να υπάρξει διάδοση μεταξύ στερεού και υγρού ή αερίου σώματος. Η γενική σχέση είναι:

$$Q = h \cdot A \cdot \Delta T$$

όπου:

h ο συντελεστής μεταφοράς ο οποίος εξαρτάται από το ρευστό και από την ταχύτητα

A η επιφάνεια με την οποία το ρευστό βρίσκεται σε επαφή

ΔT η διαφορά θερμοκρασιών ρευστού και επιφάνειας

Η μεταφορά (ή συναγωγή) διακρίνεται σε Ελεύθερη (Free Convection) και Εξαναγκασμένη (Forced Convection).

Όταν το ρευστό βρίσκεται σε ηρεμία έχουμε ελεύθερη μεταφορά και η κίνηση του είναι αποτέλεσμα ανωστικών δυνάμεων που δημιουργούνται λόγω διαφοράς πυκνότητας η οποία οφείλεται στην αύξηση ή τη μείωση της θερμοκρασίας του.

Όταν το ρευστό έχει κάποια ταχύτητα έχουμε εξαναγκασμένη μεταφορά. Στην εξαναγκασμένη μεταφορά έχουμε μεγαλύτερο ρυθμό μετάδοσης θερμότητας από ότι στην ελεύθερη μεταφορά λόγω αύξησης του συντελεστή μετάδοσης θερμότητας h .

1.5.3 Μετάδοση της θερμότητας με ακτινοβολία

Για την μετάδοση της θερμότητας με αγωγή ή με μεταφορά χρειάζεται η παρουσία της ύλης (στερεά, υγρά ή αέρια). Η θερμότητα όμως διαδίδεται και στο κενό. Γνωστό παράδειγμα στη φύση είναι η θέρμανση της Γης από τον Ήλιο, όπου δεν υπάρχει μέσο διάδοσης.

Ο τρόπος αυτός διάδοσης της θερμότητας λέγεται διάδοση με ακτινοβολία.

Η θερμική ακτινοβολία διαδίδεται στο χώρο με ηλεκτρομαγνητικά κύματα (όμοια με τα φωτεινά), απορροφάται από τα διάφορα σώματα και τα θερμαίνει.

Η μετάδοση θερμότητας με ακτινοβολία θεωρείται συνήθως αμελητέα σε χαμηλές θερμοκρασίες και έτσι δεν λαμβάνεται υπόψιν. Για μέταλλα, π.χ. δεν συνυπολογίζεται για θερμοκρασίες χαμηλότερες της θερμοκρασίας ερυθροποίησης του μετάλλου. [5]

1.5.3.1 Μετάδοση θερμότητας με ακτινοβολία. Πώς μεταδίδεται. Πώς θερμαίνει ένα σώμα. Πώς δεσμεύεται σε έναν ηλιακό συλλέκτη.

Στην περίπτωση του ηλιακού συλλέκτη θέρμανσης αέρα και της μεταφοράς αυτού στο εσωτερικό μίας κατοικίας, συναντάμε και τις τρεις μορφές μετάδοσης θερμότητας που αναφέρθηκαν παραπάνω.

Ωστόσο, αυτή που μας ενδιαφέρει περισσότερο και αποτελεί την πηγή της όλης προς αξιοποίηση ενέργειας, είναι η μετάδοση της θερμότητας με ακτινοβολία. Μεταξύ του ήλιου και της γης μεσολαβεί πρακτικά κενό και επομένως καμία άλλη μορφή μετάδοσης ενέργειας δεν λαμβάνει χώρα. Η ενέργεια που εκπέμπεται από τον ήλιο φθάνει στη γη **ταξιδεύοντας στο κενό μέσω ηλεκτρομαγνητικών κυμάτων**. Κανένας άλλος τρόπος μετάδοσης ενέργειας δεν λαμβάνει χώρα. Η ενέργεια αυτή προσπίπτει στον ηλιακό συλλέκτη και στη συνέχεια μετατρέπεται σε θερμότητα και μεταδίδεται με αγωγή, συναγωγή και ακτινοβολία από τα διάφορα μέρη του συλλέκτη.

Η μετατροπή της προσπίπτουσας ενέργειας σε θερμότητα συμβαίνει κατά τη δέσμευση της ακτινοβολούμενης ενέργειας. Ένα σώμα που δεσμεύει τις ηλιακές ακτίνες και δεν τις αντανακλά ή δεν τις αφήνει να το διαπεράσουν, θερμαίνεται περισσότερο από ένα άλλο που κατά ένα μεγάλο ποσοστό τις αντανακλά ή απλά τις διαθλά για παράδειγμα. Έτσι, ένα μαύρο

σώμα με μεγάλη θερμοχωρητικότητα, δεσμεύει την προσπίπτουσα ακτινοβολία και θερμαίνεται.

Η θέρμανση αυτή πρακτικά συμβαίνει διότι η ενέργεια που προσπίπτει στο σώμα **θέτει σε κίνηση τα μόρια αυτού** με αποτέλεσμα να εκλύεται θερμότητα.

Με λίγα λόγια, για να έχουμε θέρμανση με ακτινοβολία, χρειαζόμαστε την ύπαρξη κάποιου υλικού μέσου, κάποιου σώματος. Όταν η ακτινοβολία ταξιδεύει στο κενό από τον ήλιο στη γη, **ο ενδιάμεσος κενός χώρος δεν θερμαίνεται.**

Όταν φτάνει στη γήινη ατμόσφαιρα, συναντάει τα μόρια του αέρα τα οποία είναι σωματίδια και επομένως τα θέτει σε κίνηση, αυτά συγκρούονται μεταξύ τους και ο αέρας θερμαίνεται. Ωστόσο, η θερμοχωρητικότητα του αέρα στην ατμόσφαιρα είναι αρκετά μικρή και δεν θα μπορούσε ποτέ να μετατραπεί ο ίδιος σε ισχυρή πηγή θερμότητας. Αυτό που συμβαίνει είναι ότι η ηλιακή ακτινοβολία θερμαίνει την επιφάνεια της γης (η οποία έχει πολύ μεγαλύτερη θερμοχωρητικότητα) και η οποία στη συνέχεια αντανακλά θερμότητα στην ατμόσφαιρα (με αγωγή, συναγωγή και ακτινοβολία). **Έτσι θερμαίνεται ο αέρας γύρω μας.**

Στην περίπτωση ενός ηλιακού συλλέκτη αέρα συμβαίνει λίγο πολύ το ίδιο με την γήινη ατμόσφαιρα. Οι ηλιακές ακτίνες διαπερνούν τον υαλοπίνακα, θερμαίνοντάς τον λίγο (επιβραδύνονται και αποδίδουν κάποια από την ενέργειά τους) και στη συνέχεια προσπίπτουν σε μία σκούρα, ειδικά επιλεγμένη, επιφάνεια με μεγάλη θερμοχωρητικότητα, θερμαίνοντάς την πολύ. Η επιφάνεια αυτή δεσμεύει την προσπίπτουσα ενέργεια και την μεταδίδει στον περιεχόμενο εντός του συλλέκτη αέρα με ακτινοβολία, αγωγή και συναγωγή.

Πώς ακτινοβολούν θερμότητα τα σώματα.

Αυτό που γίνεται ξεκάθαρο από τα παραπάνω, είναι ότι η φύση του κάθε σώματος παίζει καθοριστικό ρόλο στη δέσμευση, αποθήκευση και επανεκπομπή της προσλαμβανόμενης ηλιακής ενέργειας.

Το υλικό, η μάζα, το σχήμα, η επιφάνεια, το χρώμα του σώματος επηρεάζουν κατά πολύ τις ιδιότητές του όσον αφορά στην διαχείριση της ηλιακής ενέργειας. Και επομένως

επηρεάζουν και τους κατασκευαστές ηλιακών συλλεκτών στην επιλογή υλικών που θα κάνουν.

Ένα χαρακτηριστικό της ύλης που δεν είναι εξ' αρχής αυτονόητο είναι ότι τα σώματα που απορροφούν έντονα θερμότητα, ακτινοβολούν επίσης έντονα. Μία μαύρη και τραχιά επιφάνεια ακτινοβολεί πιο έντονα από μία άσπρη και λεία.

Το γεγονός ότι μία λεία επιφάνεια ακτινοβολεί λιγότερο από μία τραχιά, εξηγείται εύκολα, καθώς η τραχύτητα πρακτικά αυξάνει την επιφάνεια και επομένως την συναλλαγή με το περιβάλλον.

Πώς εξηγείται όμως ότι τα σκούρα χρώματα ακτινοβολούν εντονότερα και επομένως κρυώνουν γρηγορότερα από τα ανοιχτόχρωμα;

Κατ' αρχήν να σημειωθεί εδώ ότι ένα υλικό εμφανίζεται σκούρο ή ανοιχτόχρωμο εξαιτίας κάποιων ιδιοτήτων του. Το σκουρόχρωμο υλικό έχει σαν χαρακτηριστικό να απορροφάει τις ακτινοβολίες που εκπέμπονται από διάφορες πηγές γύρω του, μία εκ των ακτινοβολιών αυτών είναι και η φωτεινή.

Οι ιδιότητες αυτές που έχει το υλικό **συνεχίζουν να υφίστανται και στο απόλυτο σκοτάδι**, απλά το φως τις κάνει αντιληπτές στο ανθρώπινο μάτι.

Για να κατανοήσουμε τι συμβαίνει στην πραγματικότητα, θα πρέπει να καταλάβουμε αρχικά πώς εκπέμπεται το φως και πώς απορροφάται. Ουσιαστικά, όταν ένα φωτόνιο προσπίπτει στην επιφάνεια ενός σώματος, χτυπάει ένα ηλεκτρόνιο, δίνοντάς του κάποια ενέργεια, αυξάνοντας δηλαδή την ενέργειά του.

Το αν θα απορροφηθεί ή όχι εξαρτάται από την δομή των ηλεκτρονίων στο άτομο. **Αν υπάρχει δυνατότητα** να μετακινηθεί κάπου το ηλεκτρόνιο ώστε να αυξήσει το ενεργειακό του επίπεδο (π.χ. σε ανώτερη στοιβάδα) και να μείνει εκεί, τότε θα μετακινηθεί, και επομένως θα απορροφήσει το φως. Αν όχι, τότε το φως δεν είναι δυνατόν να απορροφηθεί και θα συνεχίσει την πορεία του. Αν απορροφηθεί, το υλικό φαίνεται μαύρο, αν όχι, φαίνεται άσπρο (διότι το φως ανακλάται). Στην πραγματικότητα υπάρχουν πολλές ενδιάμεσες αποχρώσεις φυσικά, ανάλογα με την απορρόφηση.

Αυτό βέβαια μας κάνει να συμπεράνουμε ότι αν υπάρχει κάποιο ανώτερο ενεργειακό επίπεδο για τα ηλεκτρόνια να μετακινηθούν σε ένα συγκεκριμένο υλικό, θα υπάρχει αντίστοιχα η δυνατότητα επιστροφής των ηλεκτρονίων στο αρχικό χαμηλό ενεργειακό επίπεδο, η δομή δηλαδή του συγκεκριμένου υλικού είναι τέτοια που επιτρέπει αυτή την μετακίνηση. Κατά την

μετακίνηση των ηλεκτρονίων σε χαμηλότερο ενεργειακό επίπεδο, **το υλικό εκπέμπει ενέργεια**. Οπότε, αν κάτι είναι καλό στο να απορροφά ενέργεια, είναι επίσης καλό στο να εκπέμπει.

Δεν πρέπει να συγχέουμε την αντανάκλαση με την εκπομπή φωτός και γενικότερα ακτινοβολίας. Τα λευκά σώματα αντανακλούν έντονα την ακτινοβολία, ωστόσο δεν την εκπέμπουν έντονα. Σε ένα απόλυτα σκοτεινό δωμάτιο δύο σώματα ίδιας ενεργειακής στάθμης, ένα άσπρο και ένα μαύρο, ακτινοβολούν διαφορετικά. Το μαύρο ακτινοβολεί περισσότερο, δηλαδή το μαύρο είναι πιο πιθανό να το δούμε. Ωστόσο, είναι δύσκολο να το πιστέψει κανείς γιατί ακόμα και αν πειραματιστεί, είναι πιθανό το δωμάτιο να μην είναι απόλυτα σκοτεινό, οπότε το λευκό σώμα θα αντανακλά το ελάχιστο υπάρχον φως και θα φαίνεται φωτεινότερο από το μαύρο.

Θα μπορούσε να πει κάποιος ότι το χειμώνα φοράμε μαύρα ρούχα επειδή μαζεύουν την ηλιακή ακτινοβολία ενώ το καλοκαίρι τα λευκά την αντανακλούν. Αυτό είναι αλήθεια, γιατί στις εν λόγω θερμοκρασίες, η πρόσληψη ηλιακής ενέργειας είναι πολύ υψηλότερη από την εκπομπή (παρότι το μαύρο χρώμα συνεχίζει να εκπέμπει μεγαλύτερα ποσά θερμότητας, προσλαμβάνει ωστόσο ακόμα μεγαλύτερα). [8]

1.6 Αρχή λειτουργίας θερμοκηπίου – Μήκη κύματος ακτινοβολιών

Το τζάμι του θερμοκηπίου παγιδεύει την θερμική ενέργεια ακριβώς όπως η γήινη ατμόσφαιρα διατηρεί τον πλανήτη ζεστό: μετασχηματίζοντας την ηλιακή ακτινοβολία σε θερμική και στη συνέχεια με συναγωγή του αέρα εντός του θερμοκηπίου. Η ηλιακή ακτινοβολία φθάνει στο θερμοκήπιο, διαπερνάει το τζάμι και απορροφάται από το χώμα και τα φυτά. Αυτά την μετατρέπουν σε θερμική ενέργεια, η οποία δεν μπορεί να δραπετεύσει από το τζάμι. Ο αέρας εντός του θερμοκηπίου θερμαίνεται με συναγωγή, δηλαδή ο θερμός αέρας που είναι κοντά στο έδαφος κινείται ανοδικά και ο ψυχρότερος αέρας κοντά στην οροφή του θερμοκηπίου κινείται καθοδικά.

Ο ήλιος παρέχει τρεις βασικούς τύπους φωτεινής ακτινοβολίας: υπεριώδη (UV) ακτινοβολία, ορατή ακτινοβολία και υπέρυθη ακτινοβολία. Όλα τα παραπάνω είδη ακτινοβολιών έχουν **σχετικά μικρό μήκος κύματος και διαπερνούν εύκολα σχεδόν κάθε είδος γυαλιού**. Μόλις βρεθούν εντός του θερμοκηπίου, τα κύματα αυτά απορροφούνται από το χώμα, τα φυτά και τα διάφορα αντικείμενα και μετατρέπονται σε θερμική ενέργεια. Τα παραπάνω με τη σειρά τους ακτινοβολούν την θερμική αυτή ενέργεια προς το περιβάλλον γύρω τους, ωστόσο **το μήκος κύματος της ακτινοβολίας αυτής είναι πολύ μεγαλύτερο από αυτό των κυμάτων φωτός με αποτέλεσμα να μην μπορεί να διαπεράσει το τζάμι και να παραμείνει**

παγιδευμένο στο εσωτερικό του θερμοκηπίου. Αυτή η διαδικασία αναφέρεται ως **το φαινόμενο του θερμοκηπίου**.

1.7 Εκμετάλλευση της ηλιακής ενέργειας

Όσον αφορά την εκμετάλλευση της ηλιακής ενέργειας, θα μπορούσαμε να πούμε ότι χωρίζεται σε τρεις κατηγορίες εφαρμογών: τα παθητικά ηλιακά συστήματα, τα ενεργητικά ηλιακά συστήματα, και τα φωτοβολταϊκά συστήματα. Τα παθητικά και τα ενεργητικά ηλιακά συστήματα εκμεταλλεύονται τη θερμότητα που εκπέμπεται μέσω της ηλιακής ακτινοβολίας, ενώ τα φωτοβολταϊκά συστήματα στηρίζονται στη μετατροπή της ηλιακής ακτινοβολίας σε ηλεκτρικό ρεύμα μέσω του φωτοβολταϊκού φαινομένου.



[4]

1.7.1 Παθητικά Ηλιακά Συστήματα Θέρμανσης

Τα παθητικά ηλιακά συστήματα στα κτίρια αξιοποιούν την ηλιακή ενέργεια για θέρμανση των χώρων το χειμώνα, καθώς και για παροχή φυσικού φωτισμού.

Τα παθητικά ηλιακά συστήματα θέρμανσης συλλέγουν την ηλιακή ενέργεια, την αποθηκεύουν υπό μορφή θερμότητας και τη διανέμουν στο χώρο.

Η συλλογή της ηλιακής ενέργειας βασίζεται στο φαινόμενο του θερμοκηπίου και ειδικότερα, στην είσοδο της ηλιακής ακτινοβολίας μέσω του γυαλιού ή άλλου διαφανούς υλικού και τον εγκλωβισμό της προκύπτουσας θερμότητας στο εσωτερικό του χώρου που καλύπτεται από το γυαλί. Όλα τα παθητικά ηλιακά συστήματα πρέπει να έχουν προσανατολισμό περίπου νότιο, ώστε να υπάρχει ηλιακή πρόσπτωση στα ανοίγματα κατά τη μεγαλύτερη διάρκεια της ημέρας το χειμώνα.

Το συνηθέστερο παθητικό ηλιακό σύστημα (σύστημα άμεσου κέρδους) βασίζεται στην αξιοποίηση των παραθύρων κατάλληλου προσανατολισμού, σε συνδυασμό με την κατάλληλη θερμική μάζα (βαριά υλικά, όπως πέτρα, πλάκες, μπετόν στους τοίχους και στα δάπεδα, χωρίς να είναι καλυμμένα, π.χ. από χαλιά), η οποία απορροφά μέρος της θερμότητας και την «προσφέρει» στο χώρο αργότερα και έτσι διατηρείται ο χώρος θερμός για πολλές ώρες. Ένα νότιο οριζόντιο σκίαστρο μπορεί να εμποδίσει τον καλοκαιρινό ήλιο που έρχεται από πιο ψηλά να μπει απ' ευθείας στο χώρο.

Τα υπόλοιπα παθητικά συστήματα είναι συστήματα έμμεσου κέρδους και ταξινομούνται στις παρακάτω κατηγορίες:

Ηλιακοί τοίχοι: Έχουν στην εξωτερική τους πλευρά, σε μικρή απόσταση από την τοιχοποιία τζάμι (υαλοπίνακα) και λειτουργούν ως ηλιακοί συλλέκτες, μεταφέροντας τη θερμότητα είτε μέσω του υλικού του τοίχου (τοίχος θερμικής αποθήκευσης), είτε μέσω θυρίδων (θερμοσιφωνικό πανέλο) στον εσωτερικό χώρο. Συνδυασμός των δύο λειτουργιών είναι ο τοίχος μάζας με θυρίδες τοίχος Trombe – Michel.

Ηλιακοί χώροι (θερμοκήπια): Είναι κλειστοί χώροι που ενσωματώνονται σε νότια τμήματα του κτιριακού κελύφους και περιβάλλονται από υαλοστάσια. Η ηλιακή θερμότητα από το θερμοκήπιο μεταφέρεται στους κυρίως χώρους του κτιρίου μέσω ανοιγμάτων ή και διαπερνά τον τοίχο.

Ηλιακά αίθρια: είναι εσωτερικοί χώροι του κτιρίου οι οποίοι έχουν στην οροφή τους τζάμι και λειτουργούν όπως τα θερμοκήπια.

Όλα τα Παθητικά Ηλιακά Συστήματα πρέπει να συνδυάζονται με την απαιτούμενη θερμική προστασία (θερμομόνωση) και την απαιτούμενη θερμική μάζα του κτιρίου, η οποία αποθηκεύει και αποδίδει τη θερμότητα στο χώρο με χρονική υστέρηση, ομαλοποιώντας έτσι

την κατανομή της θερμοκρασίας μέσα στο εικοσιτετράωρο. Τα παθητικά ηλιακά συστήματα θα πρέπει το καλοκαίρι να συνδυάζονται με ηλιοπροστασία και συχνά με δυνατότητα αερισμού.

1.7.2 Ενεργητικά Ηλιακά Συστήματα Θέρμανσης

Ενεργητικά ηλιακά συστήματα είναι όσα συλλέγουν την ηλιακή ακτινοβολία, και στη συνέχεια τη μεταφέρουν με τη μορφή θερμότητας σε νερό, σε αέρα ή σε κάποιο άλλο ρευστό. Η τεχνολογία που εφαρμόζεται είναι αρκετά απλή και υπάρχουν πολλές δυνατότητες εφαρμογής της σε θερμικές χρήσεις χαμηλών θερμοκρασιών. Η πλέον διαδεδομένη εφαρμογή των συστημάτων αυτών είναι η παραγωγή ζεστού νερού χρήσης, οι γνωστοί σε όλους ηλιακοί θερμοσίφωνες.

Η επιφάνεια ηλιακών συστημάτων που βρίσκονται σε λειτουργία στη χώρα μας είναι περίπου 2.800.000 m² (στοιχεία 2001). Ήδη, περισσότερες από 1.000.000 ελληνικές οικογένειες καλύπτουν περίπου 80% των ετησίων αναγκών τους σε ζεστό νερό χρήσης με ηλιακό θερμοσίφωνα. Η απόδοση των ηλιακών συλλεκτών και η ποιότητα τους γενικά έχουν βελτιωθεί τα τελευταία χρόνια. Η Ελλάδα είναι ο μεγαλύτερος εξαγωγέας σε όλη την Ευρώπη και μάλιστα σε χώρες με ιδιαίτερη βιομηχανική παράδοση, όπως η Γερμανία.

Ένα τυπικό σύστημα παραγωγής ζεστού νερού αποτελείται από επίπεδους ηλιακούς συλλέκτες, ένα δοχείο αποθήκευσης της θερμότητας και σωληνώσεις. Η ηλιακή ακτινοβολία απορροφάται από το συλλέκτη και η συλλεγόμενη θερμότητα μεταφέρεται στο δοχείο αποθήκευσης. Οι επίπεδοι ηλιακοί συλλέκτες τοποθετούνται συνήθως στην οροφή του κτιρίου, με νότιο προσανατολισμό και κλίση 30°-60° ως προς τον ορίζοντα, ώστε να μεγιστοποιηθεί το ποσό της ακτινοβολίας που συλλέγεται ετησίως.

Πέρα από την οικιακή χρήση, η οποία είναι και η πιο διαδεδομένη σήμερα, ενεργητικά ηλιακά συστήματα μπορούν να χρησιμοποιηθούν οπουδήποτε απαιτείται θερμότητα χαμηλής θερμοκρασιακής στάθμης. Έτσι, η χρήση της ηλιακής ενέργειας για την παραγωγή ψύξης, για τον κλιματισμό χώρων και άλλες εφαρμογές, εμφανίζεται ως μία από τις πολλά υποσχόμενες προοπτικές, λόγω της αυξημένης ηλιακής ακτινοβολίας ακριβώς την εποχή που απαιτούνται τα ψυκτικά φορτία. Υπάρχουν ήδη μερικές επιτυχημένες εφαρμογές τέτοιων συστημάτων στη χώρα μας και αναμένεται να έχουν ταχεία ανάπτυξη.

Μια άλλη εφαρμογή που έχει εξαπλωθεί στην Ευρωπαϊκή αγορά είναι ο συνδυασμός παραγωγής ζεστού νερού χρήσης και θέρμανσης χώρων με ενεργητικά ηλιακά συστήματα. Η χρήση των συστημάτων αυτών στις ελληνικές κλιματικές συνθήκες για τη θέρμανση χώρων, θεωρείται τεχνικά αλλά και οικονομικά αποδοτική, αν συνδυαστεί με την κατάλληλη μελέτη/κατασκευή του κτιρίου (καλή μόνωση, εκμετάλλευση των παθητικών ηλιακών ωφελειών, κ.λπ.) και τη συνεργασία του χρήστη. Μπορεί να εξοικονομήσει συμβατική ενέργεια σε νέα ή παλιά κτίρια, στα οποία έχουν ληφθεί όλα τα εφικτά μέτρα για την ελαχιστοποίηση των απωλειών και τη μεγιστοποίηση της οικονομικότητας της εγκατάστασης. Είναι πάντως, πολύ σημαντικός ο σωστός σχεδιασμός του ηλιακού συστήματος και η προσεκτική εξέταση της οικονομικότητας της εγκατάστασης για την αποφυγή λανθασμένων επιλογών και τη βελτιστοποίηση της απόδοσης.

[10]

1.8 Αέρας ως ρευστό και πλεονεκτήματά του

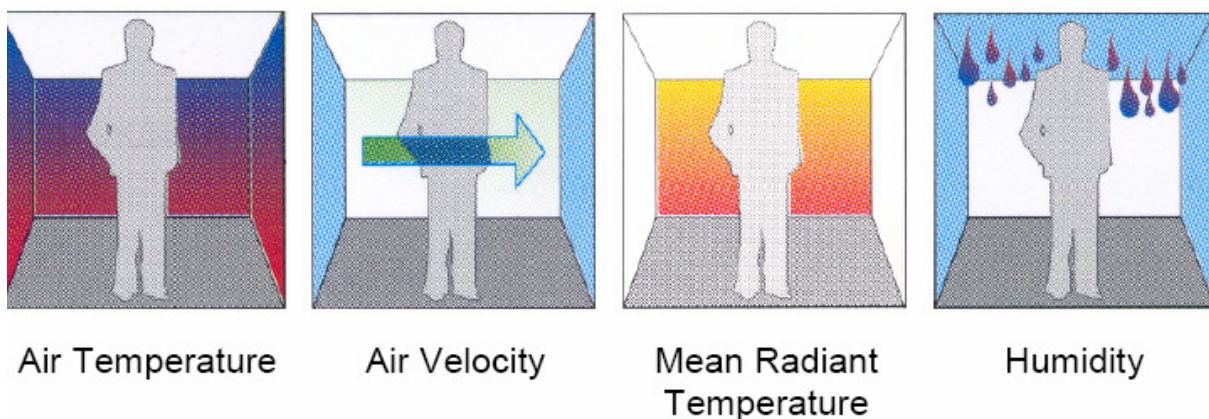
- Ο αέρας είναι ένα **δοκιμασμένο μέσο μεταφοράς θερμότητας**. Χρησιμοποιείται σε εφαρμογές κλιματισμού πάρα πολλά χρόνια. Απλά ο τρόπος θέρμανσής του είναι διαφορετικός, συχνά με ηλεκτρικούς εναλλάκτες ή διαφόρων τύπων λέβητες
- Ως γνωστό, ο αέρας έχει πολύ μικρή θερμοχωρητικότητα και επομένως θα είχε λογική η σκέψη ότι δεν αποτελεί κατάλληλο μέσο προς χρήση για μεταφορά θερμότητας. Ωστόσο η σκέψη αυτή έχει αντίλογο, καθώς σε περιπτώσεις θέρμανσης κτιρίων η μεταφορά αυτή είναι σχετικά μικρή σε απόσταση και, παρότι οι απώλειες δεν είναι αμελητέες, δεν είναι τόσες ώστε να καθιστούν απαγορευτική μία τέτοια εφαρμογή και επιπλέον συχνά αντισταθμίζονται από το **μειωμένο κατασκευαστικό και λειτουργικό κόστος** σε σχέση με άλλα συστήματα μεταφοράς θερμικής ενέργειας (με νερό για παράδειγμα).
- Επιπλέον, τέτοια συστήματα έχουν το θετικό ότι σε **περιπτώσεις μικρών διαρροών**, η ζημιά δεν είναι καταστροφική για το κτίριο και συχνά δεν χρειάζεται καν να επισκευαστεί.
- Χρησιμοποιώντας αέρα σαν μέσο θέρμανσης, έχουμε τη δυνατότητα να ελέγξουμε την **υγρασία** των χώρων διαβίωσης και εργασίας καθιστώντας έτσι πιο υγιεινό το περιβάλλον μας.
- Έχουμε συνεχή **ανανέωση** του αέρα στους εσωτερικούς χώρους που είναι πολύ υγιεινό.
- Ελέγχουμε την **ποιότητα** του αέρα.
- Έχουμε τη δυνατότητα να ελέγχουμε την **πίεση** των εσωτερικών χώρων ενός κτιρίου.
- Είναι δυνατόν να χρησιμοποιήσουμε το δίκτυο ανεμιστήρων και αεραγωγών για **βραδινό δροσισμό** του κτιρίου τις ζεστές νύχτες του καλοκαιριού.
- Με κατάλληλες μηχανολογικές προσθήκες, είναι δυνατόν το σύστημα και το υπάρχον δίκτυο αεραγωγών να χρησιμοποιηθεί αυτούσιο για **ψύξη και κλιματισμό** του κτιρίου.

1.9 Κανόνες θερμικής άνεσης

Ως θερμική άνεση, ορίζεται η κατάσταση εκείνη κατά την οποία ο εγκέφαλος εκφράζει ικανοποίηση όσον αφορά στο θερμικό περιβάλλον. Διαφορετικά, θα μπορούσαμε να πούμε ότι σε συνθήκες καλής θερμικής άνεσης το άτομο δεν επιθυμεί καμία θερμική αλλαγή στο περιβάλλον του, διότι δεν αισθάνεται ανεπιθύμητη ζέστη, ούτε ανεπιθύμητο κρύο. Η εσωτερική θερμοκρασία του ανθρώπινου σώματος είναι σταθερή και κάθε θερμότητα που δημιουργείται από αυτό πρέπει να αποβάλλεται. Για το λόγο αυτό, συνθήκες βέλτιστης θερμικής άνεσης έχουμε όταν η παραγωγή εσωτερικής θερμοκρασίας εξισώνεται με τις θερμικές απώλειες του σώματος. Η ισορροπία μεταξύ αυτών των παραμέτρων καθορίζει τις συνθήκες θερμικής άνεσης η οποία εξαρτάται από ένα συνδυασμό φυσικών, οργανικών και περιβαλλοντικών παραμέτρων. Εξαιτίας των διαφορών μεταξύ των ανθρώπων και την υποκειμενικότητα του συναισθήματος τη θερμικής άνεσης τα διαγράμματα και οι συνθήκες άνεσης που έχουν ορισθεί, ικανοποιούν την πλειοψηφία του πληθυσμού και μάλιστα ένα ποσοστό 80% του πληθυσμού.

Παράμετροι θερμικής άνεσης

- Θερμοκρασία αέρα χώρου
- Μέση θερμοκρασία ακτινοβολίας των εσωτερικών επιφανειών (MRT)
- Ταχύτητα αέρα
- Σχετική υγρασία



Αναλυτικά:

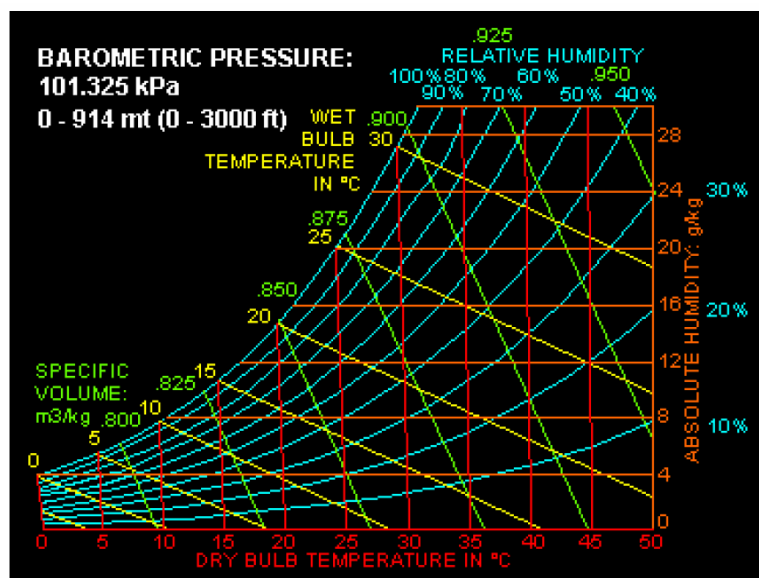
- **Θερμοκρασία αέρα χώρου:** Πρόκειται για τη θερμοκρασία ξηρού βολβού του αέρα του χώρου στον οποίο βρίσκεται το άτομο και είναι ιδιαίτερα σημαντική διότι το μεγαλύτερο ποσοστό της θερμότητας που χάνεται από το ανθρώπινο σώμα μεταφέρεται στον αέρα. Αξιοσημείωτο είναι ότι η μέγιστη διαφορά θερμοκρασίας μεταξύ του επιπέδου του πατώματος και του ταβανιού (δηλαδή η διαφορά θερμοκρασίας που αντιλαμβάνεται το άτομο μεταξύ των ποδιών και του κεφαλιού του αντίστοιχα) πρέπει να είναι μέχρι 3°C. Η δε θερμοκρασία δαπέδου συνίσταται να κυμαίνεται μεταξύ 19-29°C.
- **Μέση θερμοκρασία ακτινοβολίας των εσωτερικών επιφανειών:** Αναφέρεται στην θερμότητα που ακτινοβολείται από τις θερμές επιφάνειες του εσωτερικού χώρου. Είναι πολύ σημαντική παράμετρος, διότι επηρεάζει τη θερμότητα που χάνεται με ακτινοβολία και με αγωγιμότητα (σε περίπτωση επαφής) από το σώμα προς τις επιφάνειες. Το δέρμα απορροφά μεγάλα ποσά από αυτή τη θερμότητα, πράγμα που μπορεί, ωστόσο, να μειωθεί λόγω της ανακλαστικότητας των ρούχων. Ένα καλά μονωμένο κτίριο εξασφαλίζει θερμοκρασία της εσωτερικής επιφάνειας των εξωτερικών τοίχων πολύ κοντά στη θερμοκρασία χώρου, περιορίζοντας έτσι τις απώλειες της ακτινοβολούμενης θερμότητας, με αποτέλεσμα την επίτευξη καλύτερης θερμικής άνεσης.

- **Ταχύτητα αέρα:** Μέσα στα κτήρια, οι ταχύτητες του αέρα είναι μικρότερες από 0.2 m/s. Η σχετική όμως ταχύτητα του αέρα που οφείλεται στη δραστηριότητα του ατόμου ποικίλει από 0-0,1 για δουλειά γραφείου, έως 0.5-2 m/s, για πιο έντονες δραστηριότητες.
- **Σχετική υγρασία:** Όταν το νερό θερμαίνεται και εξατμίζεται στο περιβάλλοντα χώρο, παρέχει ως αποτέλεσμα υγρασία στον αέρα του χώρου. Σχετική υγρασία είναι ο λόγος του ποσού της υγρασίας στον αέρα προς την υγρασία που θα περιείχε, αν ήταν κορεσμένος στην ίδια θερμοκρασία και πίεση. Σχετική υγρασία ποσοστού 40% έως 70%, δεν έχει ιδιαίτερη επίδραση στη θερμική άνεση. Σε κάθε περίπτωση, η σχετική υγρασία πρέπει να είναι πάνω από 20% ώστε να εμποδίζεται η αποξήρανση των βλεννογόνων και κάτω από 80% για την αποφυγή σχηματισμού μούχλας στο κτίριο.

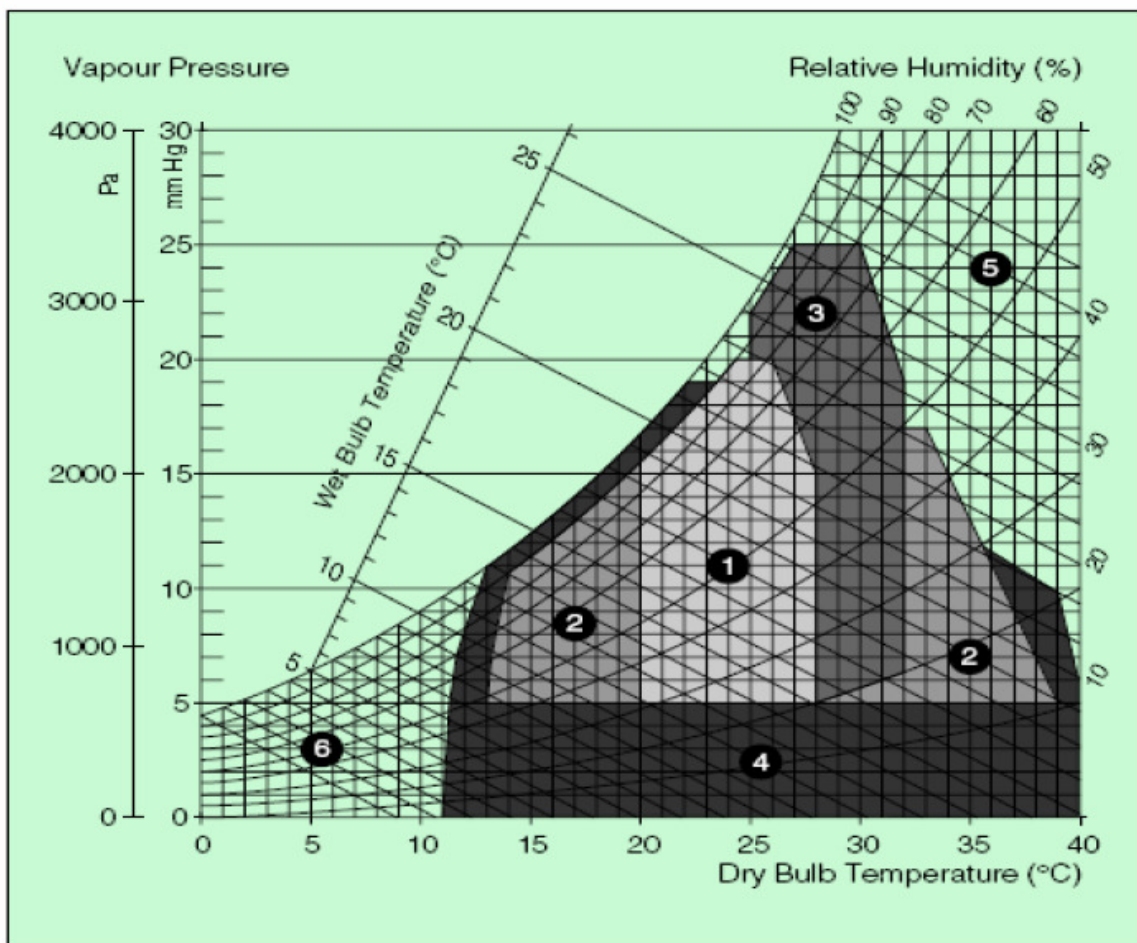
Σχέση θερμοκρασίας-σχετικής υγρασίας για θερμική άνεση, (ASHRAE 55-2004)

ΣΥΝΘΗΚΕΣ	ΣΧΕΤΙΚΗ ΥΓΡΑΣΙΑ	ΑΠΟΔΕΚΤΗ ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ ΧΩΡΟΥ (°C)
Καλοκαίρι (ελαφριά ένδυση)	30%	24,5-28
	60%	23-25,5
Χειμώνας (ζεστός ρουχισμός)	30%	20,5-25,5
	60%	20-24

Ψυχομετρικό Διάγραμμα



Διάγραμμα ένδειξης θερμικής άνεσης σε συνθήκες εσωτερικού χώρου. 1) Ζώνη θερμικής άνεσης, 2) Ζώνη εφαρμογής παθητικών συστημάτων θέρμανσης, 3) Ζώνη ανάγκης αερίσμου, 4) Ζώνη επίδρασης στους χρήστες, 5) Ζώνη ανάγκης θέρμανσης



1.10 Στάθμη της τεχνολογίας

Η αξιοποίηση της ηλιακής ενέργειας δεν είναι νέα ιδέα. Η πιο κλασική περίπτωση, όπως γνωρίζουμε, είναι αυτή του **ηλιακού θερμοσίφωνα**, ο οποίος ζεσταίνει νερό για οικιακή χρήση με τη βοήθεια της επιφάνειας ενός **επίπεδου ηλιακού συλλέκτη**. Το ζεστό νερό οδηγείται σε μία θερμικά μονωμένη δεξαμενή όπου έχει τη δυνατότητα να διατηρείται σε ικανοποιητικά υψηλή θερμοκρασία για αρκετές ώρες μετά τη θέρμανσή του.

Ο συλλέκτης που χρησιμοποιείται στον ηλιακό θερμοσίφωνα αποτελεί την πρακτική εφαρμογή της απλούστερης φαινομενικά ιδέας για την αξιοποίηση της ενέργειας από τον ήλιο. Ήταν δηλαδή σχεδόν προφανές ότι αν κάποιος τοποθετήσει κάτω από τον ήλιο έναν αγωγό νερού με κάποιο ικανοποιητικό μήκος, το νερό που θα διαρρέει τον αγωγό θα εξέρχεται σε θερμοκρασία υψηλότερη αυτής της εισαγωγής του, πόσω μάλλον αν λάβει κάποιος κατάλληλα μέτρα ώστε να μεγιστοποιήσει τη θέρμανση του εν λόγω αγωγού.

Έτσι, στην περίπτωση του ηλιακού θερμοσίφωνα, το σύστημα που επινοήθηκε ήταν να εσωκλείεται ο αγωγός σε ένα ορθογώνιο παραλληλεπίπεδο κουτί – πάνελ, η επάνω επιφάνειά του να είναι από διαφανές υλικό (π.χ. τζάμι), το οποίο να μεγιστοποιεί όσο το δυνατόν την μόνωση από το κρύο του περιβάλλοντος για τους ψυχρούς μήνες και επίσης να μεγιστοποιείται η πρόσληψη και ο εγκλωβισμός της ηλιακής ακτινοβολίας στο εσωτερικό του συλλέκτη ώστε αυτή να μετατρέπεται σε θερμότητα και να προσδίδεται στο νερό χρήσης.

Έτσι επιτεύχθηκε η **αποτελεσματική θέρμανση του νερού ακόμη και τους χειμερινούς μήνες**, πράγμα όχι αρχικά προφανές.

Αυτό σημαίνει ότι η ενέργεια που μας στέλνει ο ήλιος σε μορφή ακτινοβολίας είναι αξιοποιήσιμη και δεν χρειάζεται κατ' ανάγκη να έχει εξ αρχής τη μορφή θερμότητας.

Μία άλλη περίπτωση ηλιακού συλλέκτη σήμερα, είναι ο **φωτοβολταϊκός συλλέκτης** που, με αξιοποίηση του φωτοηλεκτρικού φαινομένου, έχει τη δυνατότητα να μετατρέπει την ενέργεια από ηλιακή ακτινοβολία απευθείας σε ηλεκτρική ενέργεια. Η χρήση φωτοβολταϊκών συλλεκτών για την παραγωγή ρεύματος σήμερα είναι πολύ διαδεδομένη και γίνονται συνεχείς προσπάθειες από πλευράς τεχνολογίας για την βελτίωση και την μεγαλύτερη αποδοτικότητά τους. Ωστόσο, παρότι η ηλεκτρική ενέργεια που παράγουν είναι μία πολύ χρήσιμη, άμεσα αξιοποιήσιμη και εύκολα μετατρέψιμη μορφή ενέργειας, η απόδοση των φωτοβολταϊκών συλλεκτών έως σήμερα δεν έχει επιτευχθεί να είναι αρκετά υψηλή και έτσι συχνά η επένδυση σε φωτοβολταϊκά συστήματα δεν είναι αρκετά συμφέρουσα οικονομικά.

Ενδεικτικά, στην σημερινή εποχή ο τυπικός βαθμός απόδοσης ενός **φωτοβολταϊκού στοιχείου** βρίσκεται στο 13 – 19%, ο οποίος, συγκρινόμενος με την απόδοση άλλου συστήματος (συμβατικού, αιολικού, υδροηλεκτρικού κλπ.), παραμένει ακόμη αρκετά χαμηλός.

Την ίδια στιγμή, ο βαθμός απόδοσης των συλλεκτών των σύγχρονων ηλιακών θερμοσίφωνων φτάνει περίπου το 60%.

Επομένως, η ενέργεια από την ηλιακή ακτινοβολία **είναι δυνατόν να αξιοποιηθεί σε μεγαλύτερο βαθμό μετατρέπόμενη άμεσα σε θερμότητα παρά μετατρέπόμενη πρώτα σε ηλεκτρική ενέργεια** και στη συνέχεια σε όποια άλλη μορφή ενέργειας. Ωστόσο, η θερμότητα δεν είναι τόσο χρήσιμη μορφή ενέργειας γιατί δεν μπορεί εύκολα να μετατραπεί σε άλλη μορφή και επειδή δεν είναι εύκολη η μακρόχρονη αποθήκευσή της.

Παρόλα αυτά, τα τελευταία χρόνια έχουν αναπτυχθεί διάφορες τεχνολογίες που δείχνουν ότι η θερμική ενέργεια ίσως να έχει και μεγαλύτερη χρηστικότητα από ό,τι μέχρι σήμερα θεωρούσαμε.

Χαρακτηριστικές είναι οι διάφορες προσπάθειες που έχουν γίνει στο παρελθόν για την **αποθήκευση της θερμικής ενέργειας**. Ξεκινώντας από την κλασική περίπτωση της αποθήκευσης σε **θερμό νερό** και της απόδοσής της τις βραδινές ώρες (πρακτική του ηλιακού θερμοσίφωνα), η μέθοδος αυτή βρήκε εφαρμογή και στη θέρμανση χώρων (εκτός από το

ζεστό νερό χρήσης), με την μόνη μετατροπή ότι η **δεξαμενή** σε αυτή την περίπτωση είναι πολύ μεγαλύτερη και το θερμό νερό φυσικά οδηγείται στο δίκτυο κεντρικής θέρμανσης.

Άλλη περίπτωση αποθήκευσης της θερμικής ενέργειας είναι τα διάφορα **πετρώματα**, π.χ. ηφαιστειακά, που έχουν **υψηλό συντελεστή θερμοχωρητικότητας** και είναι δυνατόν να διατηρήσουν τη θερμότητά τους για αρκετές ώρες. Οι πέτρες ως μέσω αποθήκευσης της θερμικής ενέργειας, **έχουν εφαρμογή και σε περιπτώσεις θέρμανσης με αέρα**, είναι δυνατόν δηλαδή να παραλάβουν την θερμότητα από θερμό αέρα που θα έχει θερμανθεί από τον ήλιο κατά τη διάρκεια της ημέρας και να αποδώσουν τη θερμότητα που θα έχουν διατηρήσει κατά τις βραδινές ώρες.

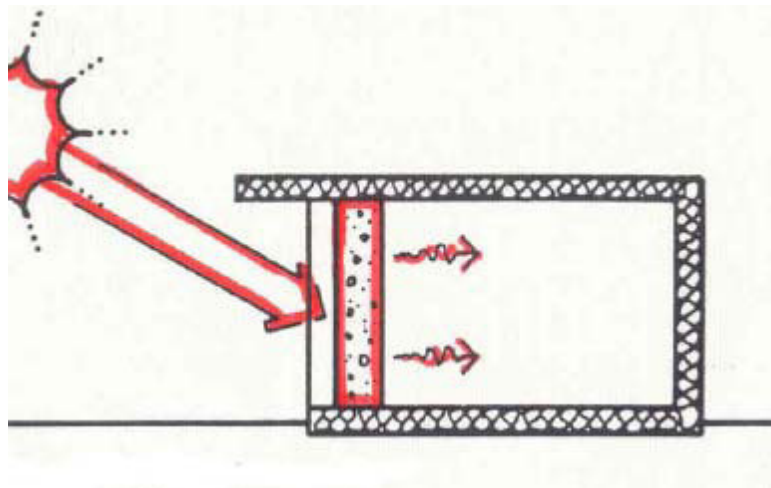
Η πιο σύγχρονη εξέλιξη γύρω από τα υλικά αποθήκευσης θερμότητας, είναι τα **Υλικά Αλλαγής Φάσης (PCM – Phase Change Materials)** που έχουν τη δυνατότητα να διατηρούν και να αποθηκεύουν τη θερμική ενέργεια για πολύ μεγαλύτερο χρονικό διάστημα και να την αποδίδουν κατ' επιλογήν, τις στιγμές που τη χρειαζόμαστε. Τα πιο απλά τέτοια υλικά είναι κάποια λιωμένα άλατα που έχουν σαν χαρακτηριστικό να αποθηκεύουν τη θερμότητα κατά την μετατροπή τους από τη μία φάση στην άλλη (από στερεό σε υγρό) και να την αποδίδουν κατά τη αντίθετη διαδικασία.

Έτσι, εκτός από τις οικιακές εφαρμογές όπου μπορούμε να θερμάνουμε, μέσω ηλιακής θέρμανσης αέρα ή νερού ή κάποιου ρευστού, ένα κατάλληλο PCM και να χρησιμοποιήσουμε την αποθηκευμένη ενέργεια την ίδια νύχτα, την επόμενη μέρα ή και κάποιες μέρες μετά, τα PCM βρίσκουν εφαρμογή και σε πολύ πιο μακρόχρονη αποθήκευση θερμότητας. Έτσι, σε κάποιες χώρες (Καναδάς, Ισπανία) έχει ήδη επιτευχθεί η αποθήκευση σε μεγάλες δεξαμενές με PCM θερμότητας για ένα ολόκληρο εξάμηνο. Χρησιμοποιώντας ηλιακούς συλλέκτες για τη θέρμανση νερού και ατμοποίησή του, έχει επιτευχθεί να ηλεκτροδοτηθεί (μέσω εκτόνωσης του ατμού σε ατμοστροβίλους) **μία ολόκληρη πόλη** στην Αλμπέρτα του Καναδά, **καθ' όλη τη διάρκεια του έτους**, το καλοκαίρι με απευθείας θέρμανση του νερού από τους συλλέκτες και το χειμώνα με θέρμανση και ατμοποίηση του νερού από την αποθηκευμένη ενέργεια στη **δεξαμενή αποθήκευσης** του PCM.

Αν αναλογιστούμε τις θερμοκρασίες και την ηλιοφάνεια που επικρατούν στον Καναδά κατά τη διάρκεια του έτους σε σχέση με την Ελλάδα, καταλαβαίνουμε τις δυνατότητες που υπάρχουν για αξιοποίηση της ηλιακής ενέργειας στην Ελλάδα, με τη χρήση καταλλήλων υλικών αλλαγής φάσης για την αποθήκευσή της.

Ένα από τα πρώτα συστήματα αξιοποίησης της ηλιακής ακτινοβολίας για θέρμανση εσωτερικών χώρων είναι ο **ηλιακός τοίχος**, ο οποίος είναι κατά κάποιον τρόπο ο πρόδρομος του ηλιακού συλλέκτη. Η λειτουργία του αφορά στην **θέρμανση αέρα** και είναι πολύ κοντά στο αντικείμενο που μελετάμε στην παρούσα εργασία. Περιγράφεται αναλυτικά στην επόμενη παράγραφο.

1.11.1 Ηλιακός τοίχος. Τοίχος Trombe-Michel



Ο ηλιακός τοίχος είναι ένα παθητικό σύστημα **έμμεσου ηλιακού κέρδους**.

Τα συστήματα αυτά, εκμεταλλεύονται την ηλιακή ακτινοβολία σύμφωνα με την εξής αλληλουχία: **ήλιος→συλλογή→αποθήκευση→θέρμανση**

Ο ηλιακός τοίχος αποτελείται από έναν τοίχο χωρίς θερμομόνωση και μία εξωτερική γυάλινη επιφάνεια.

(Τα συστήματα **άμεσου ηλιακού κέρδους** αντίθετα είναι αυτά που δεν περιλαμβάνουν την αποθήκευση στην λογική τους, αλλά αφορούν περισσότερο στον σωστό προσανατολισμό των

κτιρίων και στα κατάλληλα ανοίγματα και κατάλληλα συστήματα σκίασης, ώστε να εκμεταλλευόμαστε στο μέγιστο την ηλιακή ακτινοβολία, όταν το επιθυμούμε)

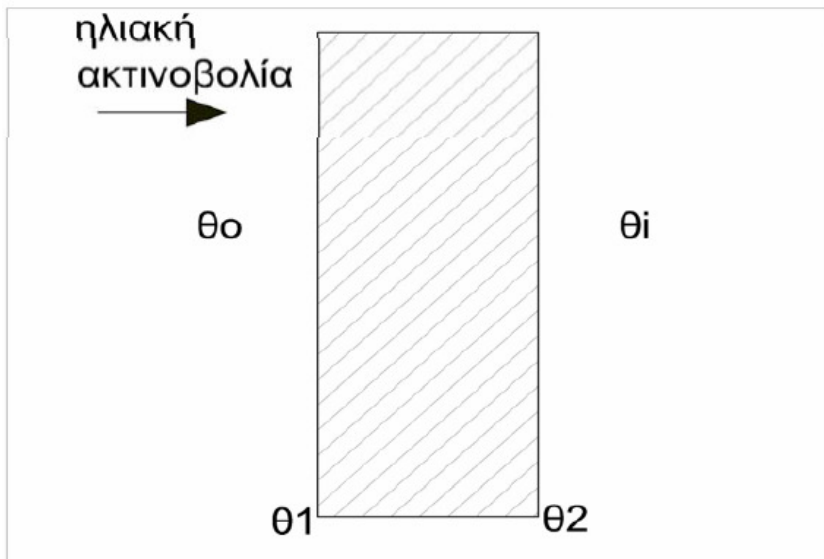
Οι ηλιακοί τοίχοι ή τοίχοι θερμικής αποθήκευσης μπορεί να είναι

- απλοί τοίχοι μάζας (μη θερμοσιφωνικής ροής και χωρίς θυρίδες) συμπαγούς κατασκευής, είτε αποτελούμενοι από δοχεία νερού (τοίχος νερού), ή από υλικά αλλαγής φάσης
- τοίχοι μάζας θερμοσιφωνικής ροής (Trombe - Michel)
- θερμοσιφωνικό πανέλο /Τοίχος Barra Constantini

Από μετρήσεις έχει προκύψει ότι μπορούν να συνεισφέρουν σε εξοικονόμηση ενέργειας για θέρμανση κατοικιών σε ποσοστό 10-40% (μεγαλύτερη συνεισφορά εξοικονόμησης σε περιοχές με σχετικά ήπιο κλίμα). Η απόδοση του συστήματος εξαρτάται από το μέγεθος της επιφάνειας του τοίχου, το πάχος και τα υλικά κατασκευής και το χρώμα της εξωτερικής επιφάνειας.

Σε κάθε περίπτωση πρέπει να συνδυάζονται με υαλοστάσια προσανατολισμένα προς το νότο, έτσι ώστε να επιτυγχάνεται η ηλιακή συλλογή. Η θερμική ενέργεια απορροφάται από τον τοίχο, θερμαίνει την εξωτερική του επιφάνεια, στη συνέχεια μεταφέρεται με αγωγή σε όλη τη μάζα του και τελικά φτάνει στην εσωτερική του πλευρά. Ο χρόνος που μεσολαβεί ανάμεσα στη μέγιστη εξωτερική θερμοκρασία του τοίχου και την μέγιστη εσωτερική αντίστοιχα, η οποία θα είναι ελαττωμένη κατά το ποσό θερμότητας που απορροφήθηκε από τη μάζα του τοίχου, ονομάζεται χρονική υστέρηση. Αυξανόμενου του πάχους και της θερμοχωρητικότητας του τοίχου, επιτυγχάνεται μεγαλύτερη χρονική υστέρηση και γι' αυτό έχουμε μειωμένο άμεσο θερμικό κέρδος. Επιθυμητή είναι η υστέρηση 6-8 ωρών, ώστε να αξιοποιούμε την θερμική συλλογή του τοίχου κατά τη διάρκεια της νύχτας.

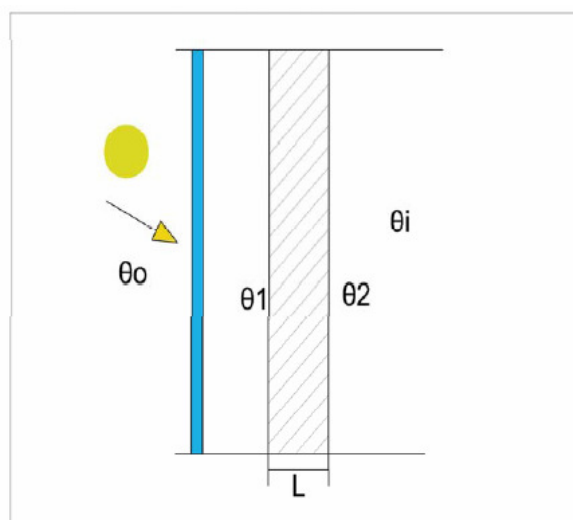
Ανάλυση Μεταφοράς Θερμότητας σε ένα δομικό στοιχείο



Δομικό στοιχείο

Κατά τη μεταφορά θερμότητας σε ένα δομικό στοιχείο (παράθυρα, οροφές, πατώματα) λαμβάνουν χώρα ταυτόχρονα **όλοι οι μηχανισμοί μετάδοσης θερμότητας**, δηλαδή, η συναγωγή, η αγωγή και η ακτινοβολία θερμότητας. Η εικόνα δείχνει ένα δομικό στοιχείο στο οποίο πραγματοποιούνται οι εξής διεργασίες:

- **Συναγωγή** μεταξύ του εξωτερικού ρεύματος αέρα, θερμοκρασίας θ_0 και της εξωτερικής επιφάνειας του τοίχου θερμοκρασίας θ_1
- **Αγωγή** θερμότητας δια μέσου του τοίχου
- **Συναγωγή** μεταξύ της εσωτερικής επιφάνειας του τοίχου, θερμοκρασίας θ_2 και του εσωτερικού αέρα θερμοκρασίας θ_i
- **Ακτινοβολία** θερμότητας από τον τοίχο και προς τις δύο κατευθύνσεις, δηλαδή προς τον εξωτερικό και εσωτερικό αέρα

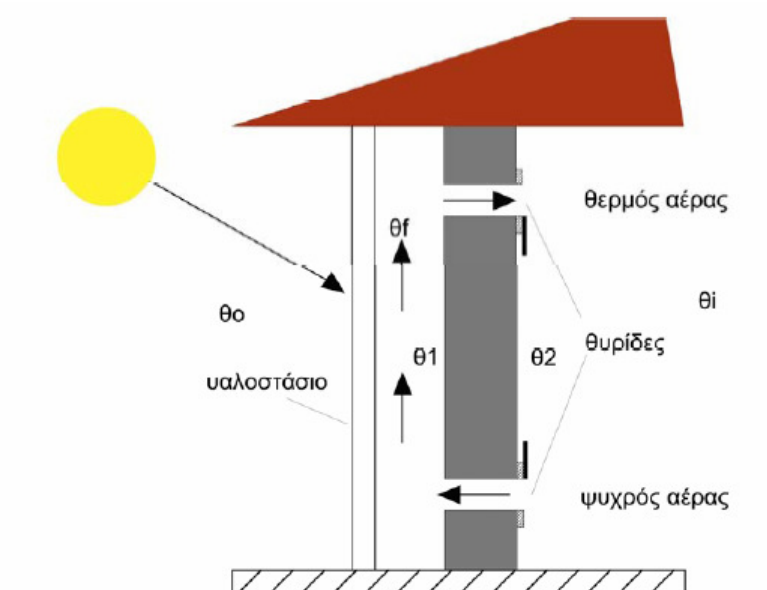


Ηλιακός τοίχος

Τοίχος Trombe

Πρόκειται για τοίχο θερμικής αποθήκευσης, που μελετήθηκε ιδιαίτερα στη Γαλλία από τους F.Trombe και J.Michel, κατασκευασμένος από μπετόν, με θυρίδες, μέσω των οποίων μεταφέρεται με φυσική κυκλοφορία του αέρα μέρος της συλλεγόμενης θερμότητας από το διάκενο μεταξύ τοίχου και υαλοπίνακα προς στον εσωτερικό χώρο. Ο τοίχος είναι συνήθως πάχους 30-40cm, βαμμένος σε σκούρο χρώμα από την εξωτερική του πλευρά για αύξηση της απορρόφησης της ηλιακής ακτινοβολίας. Συνδυάζεται με μια γυάλινη επιφάνεια (υαλοστάσιο) σε μικρή απόσταση εμπρός από τον τοίχο. Στο άνω και κάτω τμήμα του τοίχου υπάρχουν θυρίδες ώστε να διευκολύνεται η φυσική κυκλοφορία του αέρα. Όσον αφορά στη συναλλαγή ενέργειας, τμήμα της προσπίπτουσας ηλιακής ακτινοβολίας ανακλάται από τη γυάλινη επιφάνεια, κάποιο ποσό θερμικής ενέργειας απορροφάται από τον τοίχο και έπειτα ένα τμήμα ακτινοβολείται προς τα έξω (χάνεται), ενώ ένα σημαντικό ποσό ακτινοβολείται προς τον εσωτερικό χώρο με κάποια χρονική υστέρηση. Επιπρόσθετη θερμική ενέργεια έχουμε από την θερμότητα που μεταφέρεται από τον αέρα του διακένου.

Η λειτουργία του ηλιακού αυτού τοίχου βασίζεται στην φυσική κυκλοφορία του αέρα ανάμεσα στο γυαλί και τον τοίχο και μέσα από τις θυρίδες, λόγω της διαφοράς θερμοκρασίας (Ο θερμός αέρας ανεβαίνει στα υψηλότερα επίπεδα λόγω της μικρότερης πυκνότητας του και ο ψυχρός αέρας καταλαμβάνει τα χαμηλότερα στρώματα).



Τους χειμερινούς μήνες, κατά τη διάρκεια της ημέρας, ο αέρας στο διάκενο μεταξύ του τοίχου και του υαλοστασίου θερμαίνεται λόγω της προσπίπτουσας ακτινοβολίας, κινείται προς τα πάνω και εισέρχεται στον εσωτερικό χώρο μέσω των άνω θυρίδων. Ο ψυχρότερος αέρας από τον εσωτερικό χώρο, που κινείται στα χαμηλότερα επίπεδα, μπαίνει από τις κάτω θυρίδες στο διάκενο, θερμαίνεται και ανέρχεται. Έτσι δημιουργείται μια συνεχή ροή θερμότητας προς το χώρο. Τις νυχτερινές ώρες και τις νεφοσκεπείς ημέρες η λειτουργία αντιστρέφεται. 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. Η θέρμανση του χώρου, πετυχαίνεται με την ακτινοβολία της αποθηκευμένης από τον τοίχο θερμικής ενέργειας. 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.

Τους καλοκαιρινούς μήνες, κλείνει η επάνω θυρίδα και ταυτόχρονα ανοίγει ένα τμήμα του υαλοστασίου στο επάνω μέρος του (φεγγίτης). Έτσι απομακρύνεται ο ζεστός αέρας προς τα έξω. Για καλύτερη λειτουργία απαιτείται ηλιοπροστασία της συλλεκτικής επιφάνειας κατά τη διάρκεια του καλοκαιριού με κινητά εξωτερικά πετάσματα. [7]

1.12 Υλικά

1.12.1 Κατάλληλα υλικά για κατασκευή ηλιακών συλλεκτών αέρα

Όπως είναι λογικό, τα υλικά που χρησιμοποιούνται σε συστήματα αξιοποίησης της ηλιακής ακτινοβολίας, θα πρέπει, εκτός από τη συμβολή τους στη μεγιστοποίηση της απόδοσης της κατασκευής, να είναι ανθεκτικά στην μακρόχρονη έκθεσή τους στον ήλιο αλλά και στα υπόλοιπα καιρικά φαινόμενα.

Θα πρέπει φυσικά να μην είναι υπερβολικά εύφλεκτα. Επίσης, θα πρέπει να μην είναι πολύ ευαίσθητα σε καμπτικές καταπονήσεις γιατί ενδέχεται να δέχονται ισχυρές πιέσεις από την

ορμή του ανέμου και της βροχής ή και λόγω του βάρους μίας πιθανής χιονόπτωσης, ανάλογα πάντα με την κλίση που είναι τοποθετημένο το σύστημα.

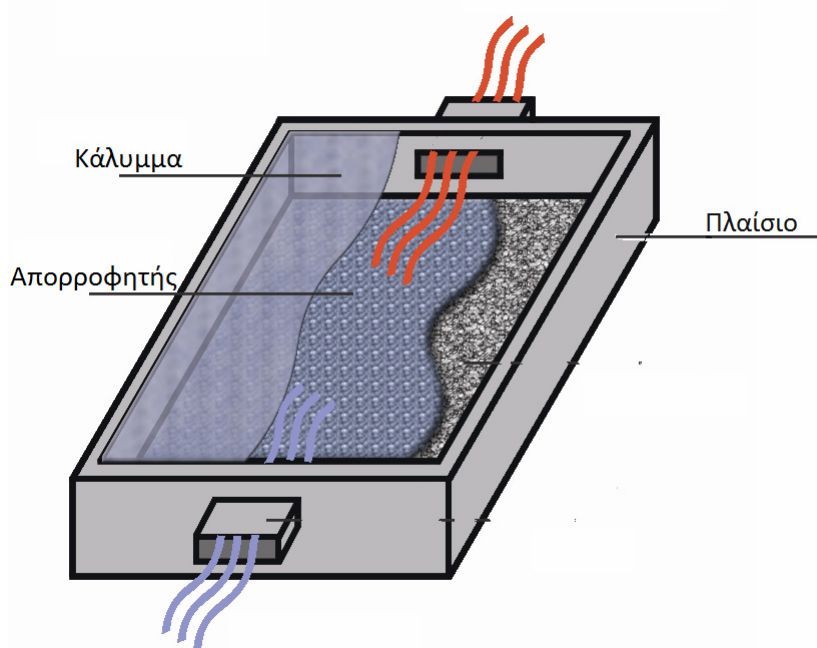
Αρκετά σημαντικό ρόλο στην επιλογή των υλικών (ή έστω στην διαδικασία κατασκευής ενός συλλέκτη) μπορεί να παίζει το κατά πόσο ένα υλικό έχει μεγάλες συστολές και διαστολές με την διακύμανση της θερμοκρασίας.

Συνήθη χρησιμοποιούμενα υλικά

Ο ηλιακός συλλέκτης αέρα αποτελείται από τρία βασικά μέρη:

- Το **πλαίσιο**
- Τον **απορροφητή** (ακτινοβολίας)
- Το **κάλυμμα**

Επιπλέον, μπορεί εντός ή εκτός του πλαισίου να υπάρχει κατάλληλη **μόνωση**.



Το πλαίσιο

Υλικά που χρησιμοποιούνται συνήθως για την κατασκευή του πλαισίου του συλλέκτη είναι διάφορα μέταλλα όπως χάλυβας ή αλουμίνιο, ξύλο ή πλαστικό.

Ο απορροφητής

Ως απορροφητής μπορεί να χρησιμοποιηθεί οποιοδήποτε υλικό μπορεί να αυξήσει την πρόσληψη ακτινοβολίας όπως πχ

- Το ίδιο το πλαίσιο με κατάλληλη μαύρη επίστρωση (βαφή)
- Χαλύβδινη μεταλλική λαμαρίνα απλή ή διάτρητη
- Εύκαμπτος αγωγός αλουμινίου (σπιδάλ) μέσω του οποίου διέρχεται ο αέρας
- Κατάλληλη επιφάνεια όπως πχ πλαστική μεμβράνη, πολυαιθυλένιο HDPE

Το κάλυμμα

Το κάλυμμα του συλλέκτη είναι συνήθως από κάποιο διαφανές υλικό, όπως απλός ή διπλός υαλοπίνακας, πολυκαρβονικό, ακρυλικό ή άλλο υλικό συμπαγές ή και με διάκενο

1.12.2 Ιδιότητες Υλικών

Θερμική αγωγιμότητα υλικών στους 25°C

Χάλυβας	43
Ξύλο	0,07
Απλός υαλοπίνακας	0,96
Διπλός υαλοπίνακας	0,96
Αλουμίνιο	205
HDPE	0,42 – 0,51
Πολυκαρβονικό	0,19
Αέρας	0,024

[14]

1.12.3 Υλικά κατάλληλα για αποθήκευση ενέργειας - PCM (Υλικά αλλαγής φάσης)

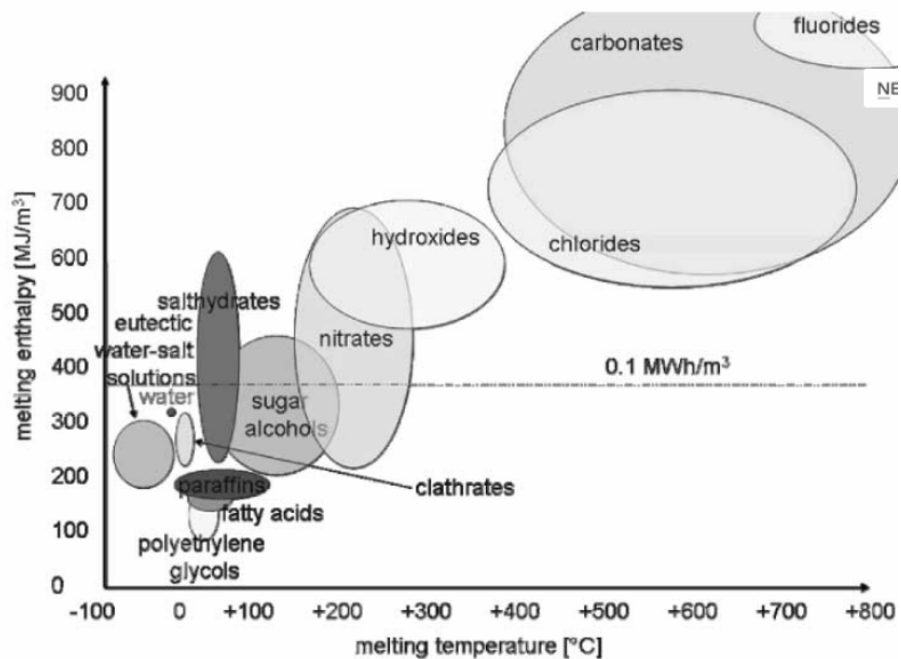
Υλικά αλλαγής φάσης - ή PCMs, όπως είναι διεθνώς γνωστά (από τα αρχικά Phase Change Materials) - ονομάζονται τα υλικά που προσφέρονται για αξιοποίηση της λανθάνουσας θερμότητας που αποθηκεύουν ή αποδίδουν κατά την αλλαγή φάσης τους (δηλαδή, κατά τη μεταβολή από στερεό σε υγρό ή από υγρό σε αέριο και αντίστροφα).

Ένα υλικό πολύ γνωστό για τις αλλαγές φάσης του είναι το νερό. Το νερό, στη θερμοκρασία 0°C, προκειμένου να αλλάξει φάση, από στερεό (πάγος) σε υγρό, χρειάζεται να απορροφήσει

ενέργεια ίση με 334 kJ/kg. Η ενέργεια αυτή ονομάζεται λανθάνουσα θερμότητα τήξης γιατί δεν προκαλεί αύξηση της θερμοκρασίας του (δηλαδή, δεν είναι αντιληπτή με τις αισθήσεις) αλλά αποδίδεται στη μεταβολή των δεσμών και της κινητικής ενέργειας των μορίων του. Ομοίως, για την εξάτμιση του νερού, στους 100°C, δηλαδή για τη μετατροπή από την υγρή στην αέρια φάση, θα πρέπει να απορροφήσει, ως λανθάνουσα θερμότητα εξάτμισης, ενέργεια ίση με 2260 kJ/kg. Αντίστροφα, κατά την ψύξη του νερού, στις θερμοκρασίες αλλαγής φάσης, οι κατά περίπτωση λανθάνουσες θερμότητες ελευθερώνονται. Στο διάγραμμα του σχήματος 1 φαίνεται ότι με συνεχή και σταθερό ρυθμό θέρμανση μιας ποσότητας νερού επιτυγχάνουμε σταθερή αύξηση της θερμοκρασίας του, εκτός από τις θερμοκρασίες των 0 και 100°C, όπου η προσφορά θερμικής ενέργειας (σε ποσότητες 334 και 2260 kJ/kg αντίστοιχα) δεν προκαλεί αύξηση της θερμοκρασίας αλλά μεταβολή φάσης. Το ίδιο διάγραμμα ισχύει και κατά την αντίστροφη διαδικασία, της ψύξης, όπου πλέον κατά την αλλαγή φάσης (από ατμό σε υγρό και από υγρό σε πάγο) η αποθηκευμένη λανθάνουσα θερμότητα επιστρέφεται στο περιβάλλον.

Οι ανταλλαγές ενέργειας με το περιβάλλον που συνοδεύουν τις μεταβολές φάσης των υλικών εκδηλώνονται σε φυσικά φαινόμενα και, ακόμη, αξιοποιούνται σε διάφορες εφαρμογές. Ένα χαρακτηριστικό παράδειγμα που βασίζεται και πάλι στο νερό είναι η χρήση πάγου για την ψύξη ενός ποτού σε ποτήρι. Το λιώσιμο του πάγου συνοδεύεται με απορρόφηση λανθάνουσας θερμότητας τήξης από το ποτό που έτσι ψύχεται.

Κλάσεις υλικών που μπορούν να χρησιμοποιηθούν ως PCMs και τα αντίστοιχα τυπικά εύρη τιμών θερμοκρασίας τήξης και λανθάνουσας θερμότητας τήξης (melting enthalpy).

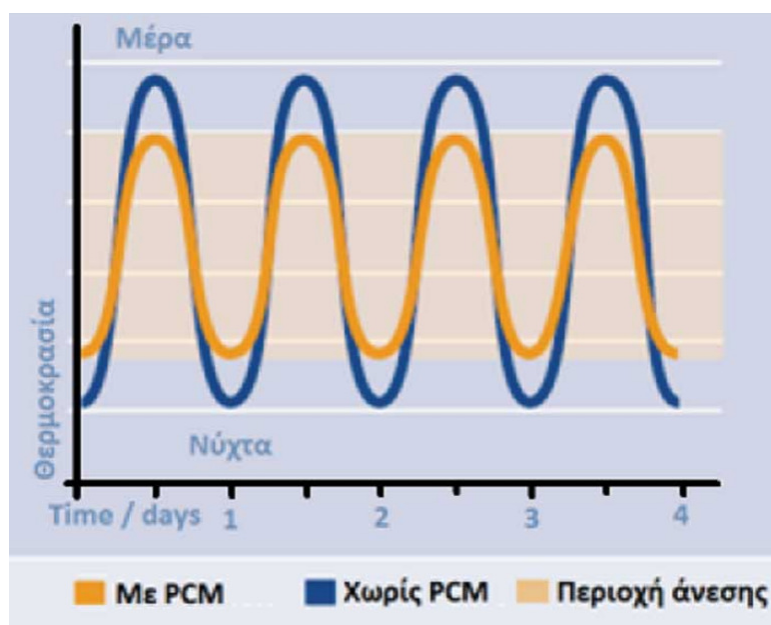


Οι μηχανισμοί ανταλλαγών θερμότητας μεταξύ των υλικών μεγάλης θερμικής μάζας και του περιβάλλοντος αξιοποιούνται ανέκαθεν για τον έλεγχο της εσωτερικής θερμοκρασίας στα κτίρια. Ήδη, τα PCMs, με την ικανότητά τους να αποθηκεύουν (και να αποδίδουν) λανθάνουσα θερμότητα, αυξάνουν σημαντικά την απόδοσή τους.

Αυτό μπορούμε να το κατανοήσουμε με ένα παράδειγμα.

Θεωρούμε ένα κτίριο στο κέλυφος του οποίου υπάρχουν ποσότητες PCM με θερμοκρασία αλλαγής φάσης έστω τους 25°C. Αν (και όταν) η θερμοκρασία του αέρα στο εσωτερικό του κτιρίου υπερβεί τους 25°C, τα PCM θα αρχίσουν να τήκονται απορροφώντας παράλληλα θερμική ενέργεια από το περιβάλλον. Η απορροφούμενη στο στάδιο αυτό θερμότητα είναι λανθάνουσα, δηλαδή, δε συνεπάγεται αύξηση της θερμοκρασίας του υλικού. Όμως, αφαιρούμενη από το περιβάλλον, εμποδίζεται από του προκαλέσει αύξηση της θερμοκρασίας άλλων υλικών και του αέρα. Έχουμε με άλλα λόγια συγκράτηση της ανόδου της θερμοκρασίας περιβάλλοντος. Αν (και όταν) ολοκληρωθεί η διαδικασία αλλαγής φάσης (τήξη) του υλικού και η θερμοκρασία περιβάλλοντος εξακολουθεί να παραμένει μεγαλύτερη των 25°C, τότε το (τηγμένο πλέον) υλικό θα συνεχίσει να συμπεριφέρεται συμβατικά, δηλαδή, να απορροφά θερμότητα και να αυξάνει η θερμοκρασία του. Κατά την αντίστροφη διαδικασία, της ψύξης, όταν η θερμοκρασία πέσει κάτω από τους 25°C, τα PCMs αρχίζουν να στερεοποιούνται και παράλληλα να αποδίδουν την αποθηκευμένη λανθάνουσα θερμότητα στο περιβάλλον. Η απελευθερούμενη ποσότητα θερμικής ενέργειας συγκρατεί την πτώση της θερμοκρασίας του περιβάλλοντος

Η επίδραση των PCMs στην εσωτερική θερμοκρασία στα κτίρια.



Μολονότι το αποτέλεσμα στο παράδειγμα είναι ποιοτικά παρόμοιο με αυτό του επιτυγχάνεται με συμβατικά υλικά μεγάλης θερμοχωρητικότητας (και στις δύο περιπτώσεις έχουμε εξομάλυνση των θερμοκρασιακών μεταβολών στο εσωτερικό του κτιρίου), η διαφορά

έγκειται στο γεγονός ότι η λανθάνουσα θερμότητα των PCMs είναι, γενικά, σημαντικά μεγαλύτερη από την ικανότητα αποθήκευσης αισθητής θερμότητα των συμβατικών δομικών υλικών (π.χ. η λανθάνουσα θερμότητα τήξης του πάγου ισοδυναμεί με τη θερμότητα που προκαλεί την άνοδο της θερμοκρασίας ίδιας ποσότητας νερού κατά 80°C). Ως αποτέλεσμα, απαιτούνται μικρότερες ποσότητες PCMs για το ίδιο αποτέλεσμα στον έλεγχο της εσωτερικής θερμοκρασίας σε ένα κτίριο. Έτσι, ενδεικτικά, η απορροφούμενη θερμότητα από γυψοσανίδα πάχους 3 εκ. που περιέχει στη μάζα της PCM σε ποσοστό 30 % (πρόκειται για προϊόν που ήδη κυκλοφορεί στο εμπόριο) ισοδυναμεί περίπου με τη θερμότητα που αποθηκεύει στα όρια των θερμοκρασιών άνεσης ένα τοίχος 18 εκ. από μπετό ή 23 εκ. από τούβλα. [12]

1.13 Γεωμετρία

Κατά καιρούς έχουν γίνει πολλές δοκιμές σχετικά με την γεωμετρία που μπορεί να έχει ένας ηλιακός συλλέκτης. Πολύ σημαντικός παράγοντας είναι ο όγκος της κατασκευής σε σχέση με τον απαγόμενο αέρα.

Η επικρατέστερη γεωμετρία ηλιακών συλλεκτών μέχρι σήμερα είναι το ορθογώνιο παραλληλεπίπεδο.

1.14 Βαθμός απόδοσης ηλιακών συστημάτων

1.14.1 Απόδοση Ηλιακού Συλλέκτη

Η στιγμιαία απόδοση η ενός ηλιακού συλλέκτη (νερού ή αέρα) σύμφωνα με τη διεθνή βιβλιογραφία [9] μπορεί να οριστεί ως ο λόγος της ωφέλιμης ισχύος που παρέχεται \dot{Q} [W] από τον συλλέκτη προς το γινόμενο της επιφάνειας του απορροφητή A [m^2] επί της ολικής ηλιακής ακτινοβολίας I [W/m^2] που δέχεται ο απορροφητής.

$$\eta = \frac{\dot{Q}}{A \cdot I}$$

Σε κλειστά συστήματα με σταθεροποιημένη ροή η ωφέλιμη θερμική ισχύς \dot{Q} [kW] ισούται με το γινόμενο της ροής μάζας \dot{m} (kg/sec) επί την μέση ειδική θερμότητα C_p σε σταθερή

περιοχή θερμοκρασίας και πίεσης [$kJ/kg \cdot K$] επί τη μεταβολή της θερμοκρασίας του αέρα κατά την είσοδο και έξοδο $\Delta T = T_0 - T_i$ [K]

$$Q = \dot{m} C_p (T_0 - T_i)$$

Από τις παραπάνω εξισώσεις προκύπτει η στιγμιαία απόδοση του ηλιακού συλλέκτη

$$Q = \frac{\dot{m} C_p (T_0 - T_i)}{AI}$$

[12]

1.14.2 Απώλειες ηλιακού συλλέκτη

Παρότι στους πειραματικούς υπολογισμούς μας δεν θα λάβουμε υπόψη τις θερμικές απώλειες των συλλεκτών προς το περιβάλλον, θα κάνουμε στο σημείο αυτό μία μικρή αναφορά για να κατανοήσουμε τον «μηχανισμό» των απωλειών.

Ο ολικός συντελεστής απωλειών του συλλέκτη, U αποτελείται από τρεις όρους:

$$U = U_u + U_d + U_s$$

U_u : συντελεστής απωλειών προς τα επάνω

U_d : συντελεστής απωλειών προς τα κάτω

U_s : συντελεστής απωλειών προς τα πλάγια

Ελαχιστοποίηση των απωλειών και βελτιστοποίηση της απόδοσης

Το μέγιστο δυνατό θερμικό κέρδος σε έναν ηλιακό συλλέκτη, επιτυγχάνεται όταν όλος ο συλλέκτης βρίσκεται κοντά στη θερμοκρασία εισόδου του ρευστού. Με τον τρόπο αυτό ελαχιστοποιούνται οι απώλειες θερμότητας.

Το παραπάνω γεγονός μας οδηγεί στο συμπέρασμα ότι δεν μας συμφέρει να αυξάνεται πάρα πολύ η θερμοκρασία του αέρα κατά την διακίνησή του δια μέσω του συλλέκτη, διότι έτσι ένα κομμάτι της προσλαμβανόμενης από ακτινοβολία ενέργειας μετατρέπεται σε απώλειες, θερμαίνοντας την κατασκευή μας και διαφεύγοντας στο περιβάλλον. Επομένως είναι καλύτερο να έχουμε μία **σχετικά υψηλή παροχή αέρα** έτσι ώστε να μην προλαβαίνει ο συλλέκτης να τον θερμάνει υπερβολικά και επομένως να στέλνουμε την μέγιστη δυνατή θερμότητα στο εσωτερικό του κτιρίου. [13]

1.15 Κλιματικά δεδομένα. Ελλάδα – Μεσόγειος. Ενεργειακές ανάγκες κτιρίων

Κλιματικά δεδομένα

Σε γενικές γραμμές, μελετώντας τις καιρικές συνθήκες της χώρας μας, οι οποίες ωστόσο να σημειωθεί ότι ποικίλουν αρκετά ανάλογα με την περιοχή, μπορούμε να πούμε ότι ενδείκνυται για την εφαρμογή μας.

Η Ελλάδα χωρίζεται σε 4 κλιματικές ζώνες όπως αναφέρθηκε και παραπάνω στην ενότητα 1.4, ωστόσο, ακόμα και οι ψυχρότερες εξ αυτών, δεν παύουν να είναι θερμότερες και πιο ηλιόλουστες από κάποιες χώρες όπως ο Καναδάς και η Γερμανία, στις οποίες ήδη εφαρμόζονται με επιτυχία συστήματα ηλιακής θέρμανσης με αέρα.

Επιπλέον, το κλίμα της Ελλάδας αν και θερμότερο τον χειμώνα, έχει κάποιες ομοιότητες με το κλίμα της Βόρειας Αμερικής (στις νότιες Ηνωμένες Πολιτείες για παράδειγμα) έχει δηλαδή αρκετά κρύους χειμώνες ώστε ακόμα και στις θερμότερες περιοχές, οι κατοικίες να χρειάζονται θέρμανση, ενώ τα καλοκαίρια είναι πολύ θερμά και οι κατοικίες έχουν ανάγκη ψύξης, δροσισμού ή έστω κατάλληλου σχεδιασμού. Το κλίμα αυτό δεν μοιάζει τόσο με το

κλίμα της Κεντρικής Ευρώπης, όπου επικρατεί σχετική δροσιά ακόμα και το καλοκαίρι, με αποτέλεσμα οι κατοικίες να μην έχουν προδιαγραφές ψύξης ή δροσισμού.

Είναι χαρακτηριστικό λοιπόν ότι στην Βόρεια Αμερική χρησιμοποιούνται κυρίως συστήματα θέρμανσης με αέρα στις κατοικίες. Τέτοια συστήματα έχουν τη δυνατότητα να λειτουργήσουν το καλοκαίρι ως συστήματα κλιματισμού.

Ίσως και η Ελλάδα θα έπρεπε να στραφεί στη χρήση συστημάτων θέρμανσης με αέρα, εφόσον ούτως ή άλλως η χρήση συστημάτων κλιματισμού στη χώρα μας είναι εκτεταμένη. Θα αποφεύγαμε έτσι την εγκατάσταση πολλαπλών διαφορετικών συστημάτων στις κατοικίες και επιπλέον θα μπορούσε ο κλιματισμός να είναι πιο φθηνός και πιο αποδοτικός λόγω της χρήσης του υπάρχοντος συστήματος αεραγωγών στις κατοικίες.

Ενεργειακές ανάγκες κτιρίων

Οι ενεργειακές ανάγκες ενός κτιρίου και γενικότερα ενός χώρου είναι η ενέργεια που πρέπει να καταναλωθεί για να πετύχουμε την θέρμανση ή ψύξη του έτσι ώστε να διατηρούμε τη θερμοκρασία στο εσωτερικό του εντός των τιμών που ορίζονται σύμφωνα με τους κανόνες θερμικής άνεσης. Στην περίπτωση της θέρμανσης μπορούμε να μιλάμε για **θερμικές ανάγκες ή θερμικές απαιτήσεις** ενός χώρου.

Ο υπολογισμός των θερμικών αναγκών γίνεται **βάσει των θερμικών απωλειών** του χώρου, οι οποίες υπολογίζονται σύμφωνα με το πρότυπο DIN 4701. Πιο συγκεκριμένα, για κάθε θερμαινόμενο χώρο, αθροίζονται οι απώλειες θερμότητας από τα τοιχώματα και τα ανοίγματα και προσαυξάνονται κατάλληλα λόγω διακοπτόμενης λειτουργίας και προσανατολισμού. Στη συνέχεια, προστίθενται οι απώλειες που οφείλονται στην κυκλοφορία αέρα από τις χαραμάδες και προκύπτει το **σύνολο των θερμικών απωλειών** του χώρου, που είναι γνωστό και σαν **θερμικό φορτίο** του χώρου.

Έχουν γίνει διάφορες μελέτες εκτίμησης της κατανάλωσης ενέργειας για θέρμανση κτιρίων κατοικιών στην Ελλάδα, μία εξ αυτών και του Κ.Τ. Παπακώστα, που προβλέπει την

ενεργειακή κατανάλωση για θέρμανση σε κτίρια κατοικιών στην Αθήνα και τη Θεσσαλονίκη για Α) θερμομονωμένη και μη μονοκατοικία, Β) θερμομονωμένη και μη πεντάροφη πολυκατοικία, όπως εμφανίζεται στους παρακάτω πίνακες. [14]

Πίνακας 1 : Εκτίμηση της κατανάλωσης ενέργειας για θέρμανση (kWh/m^2 κατοικήσιμης επιφάνειας) και της κατανάλωσης καυσίμου (lt/m^2 κατοικήσιμης επιφάνειας), σε κτίριο θερμομονωμένης μονοκατοικίας στην Αθήνα και τη Θεσσαλονίκη.

ΚΑΤΑΝΑΛΩΣΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΓΙΑ ΘΕΡΜΑΝΣΗ (kWh/m^2) ΣΕ ΘΕΡΜΟΜΟΝΩΜΕΝΗ							
ΜΟΝΩΡΟΦΗ ΜΟΝΟΚΑΤΟΙΚΙΑ ΜΕ ΛΟΓΟ ΠΛΕΥΡΩΝ 1:1.25							
ΠΟΣΟΣΤΟ ΑΝΟΙΓΜΑΤΩΝ 25%	ΜΗΝΑΣ						
	ΙΑ	ΦΕ	ΜΡ	ΑΠ	ΝΟ	ΔΕ	ΣΥΝΟΛΟ
Εσωτερική θερμοκρασία κτιρίου, ($^{\circ}\text{C}$)	20	20	20	20	20	20	
ΘΕΣΗ ΚΤΙΡΙΟΥ: ΑΘΗΝΑ (Θερμοκρασιακά δεδομένα Εθνικού Αστεροσκοπείου Αθηνών)							
Θερμοκρασία ισορροπίας, t_{bal} ($^{\circ}\text{C}$)	17.6	17.5	17.4	17.2	17.5	17.6	
Κατανάλωση ενέργειας, (kWh/m^2)	20.9	18.9	15.5	5.9	9.8	19.1	90.1
Κατανάλωση καυσίμου, (lt/m^2)	2.46	2.22	1.82	0.70	1.16	2.25	10.6
ΘΕΣΗ ΚΤΙΡΙΟΥ: ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗ (Θερμοκρασιακά δεδομένα Α.Π.Θ.)							
Θερμοκρασία ισορροπίας, t_{bal} ($^{\circ}\text{C}$)	17.6	17.5	17.4	17.1	17.5	17.6	
Κατανάλωση ενέργειας, (kWh/m^2)	29.3	24.4	19.6	8.1	16.6	28.2	126.2
Κατανάλωση καυσίμου, (lt/m^2)	3.45	2.87	2.31	0.95	1.95	3.31	14.84
Διαφορά κατανάλωσης ενέργειας (%)	40.2	29.1	26.5	37.3	69.4	47.6	40.1
ΠΟΣΟΣΤΟ ΑΝΟΙΓΜΑΤΩΝ 35%	ΜΗΝΑΣ						
	ΙΑ	ΦΕ	ΜΡ	ΑΠ	ΝΟ	ΔΕ	ΣΥΝΟΛΟ
Εσωτερική θερμοκρασία κτιρίου, ($^{\circ}\text{C}$)	20	20	20	20	20	20	
ΘΕΣΗ ΚΤΙΡΙΟΥ: ΑΘΗΝΑ (Θερμοκρασιακά δεδομένα Εθνικού Αστεροσκοπείου Αθηνών)							
Θερμοκρασία ισορροπίας, t_{bal} ($^{\circ}\text{C}$)	17.7	17.6	17.5	17.2	17.6	17.7	
Κατανάλωση ενέργειας, (kWh/m^2)	23.1	20.8	17.1	6.5	11.1	21.3	99.9
Κατανάλωση καυσίμου, (lt/m^2)	2.72	2.45	2.01	0.76	1.30	2.50	11.75
ΘΕΣΗ ΚΤΙΡΙΟΥ: ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗ (Θερμοκρασιακά δεδομένα Α.Π.Θ.)							
Θερμοκρασία ισορροπίας, t_{bal} ($^{\circ}\text{C}$)	17.7	17.5	17.4	17.2	17.6	17.8	
Κατανάλωση ενέργειας, (kWh/m^2)	32.3	27.0	21.6	8.8	18.5	31.1	139.4
Κατανάλωση καυσίμου, (lt/m^2)	3.80	3.18	2.54	1.04	2.17	3.66	16.39
Διαφορά κατανάλωσης ενέργειας (%)	39.8	29.8	26.3	35.4	66.7	46.0	39.5

Πίνακας 2 : Εκτίμηση της κατανάλωσης ενέργειας για θέρμανση (kWh/m^2 κατοικήσιμης επιφάνειας) και της κατανάλωσης καυσίμου (lt/m^2 κατοικήσιμης επιφάνειας), σε κτίριο μονοκατοικίας χωρίς θερμική μόνωση στην Αθήνα και τη Θεσσαλονίκη.

ΚΑΤΑΝΑΛΩΣΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΓΙΑ ΘΕΡΜΑΝΣΗ (kWh/m^2) ΣΕ ΜΟΝΩΡΟΦΗ ΜΟΝΟΚΑΤΟΙΚΙΑ							
ΧΩΡΙΣ ΘΕΡΜΙΚΗ ΜΟΝΩΣΗ ΚΑΙ ΜΕ ΛΟΓΟ ΠΛΕΥΡΩΝ 1:1.25							
ΠΟΣΟΣΤΟ ΑΝΟΙΓΜΑΤΩΝ 25%	ΜΗΝΑΣ						
	ΙΑ	ΦΕ	ΜΡ	ΑΠ	ΝΟ	ΔΕ	ΣΥΝΟΛΟ
Εσωτερική θερμοκρασία κτιρίου, ($^{\circ}\text{C}$)	20	20	20	20	20	20	
ΘΕΣΗ ΚΤΙΡΙΟΥ: ΑΘΗΝΑ (Θερμοκρασιακά δεδομένα Εθνικού Αστεροσκοπείου Αθηνών)							
Θερμοκρασία ισορροπίας, t_{bal} ($^{\circ}\text{C}$)	18.6	18.5	18.4	18.3	18.5	18.6	
Κατανάλωση ενέργειας, (kWh/m^2)	39.1	35.5	30.4	13.3	19.9	36.4	174.7
Κατανάλωση καυσίμου, (lt/m^2)	4.60	4.18	3.58	1.56	2.34	4.28	20.55
ΘΕΣΗ ΚΤΙΡΙΟΥ: ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗ (Θερμοκρασιακά δεδομένα Α.Π.Θ.)							
Θερμοκρασία ισορροπίας, t_{bal} ($^{\circ}\text{C}$)	18.6	18.5	18.4	18.3	18.5	18.6	
Κατανάλωση ενέργειας, (kWh/m^2)	53.3	45.1	37.3	17.3	31.7	51.5	236.2
Κατανάλωση καυσίμου, (lt/m^2)	6.27	5.30	4.39	2.03	3.73	6.05	27.91
Διαφορά κατανάλωσης ενέργειας (%)	36.8	27.0	22.7	30.1	59.3	41.5	35.2
ΠΟΣΟΣΤΟ ΑΝΟΙΓΜΑΤΩΝ 35%	ΜΗΝΑΣ						
	ΙΑ	ΦΕ	ΜΡ	ΑΠ	ΝΟ	ΔΕ	ΣΥΝΟΛΟ
Εσωτερική θερμοκρασία κτιρίου, ($^{\circ}\text{C}$)	20	20	20	20	20	20	
ΘΕΣΗ ΚΤΙΡΙΟΥ: ΑΘΗΝΑ (Θερμοκρασιακά δεδομένα Εθνικού Αστεροσκοπείου Αθηνών)							
Θερμοκρασία ισορροπίας, t_{bal} ($^{\circ}\text{C}$)	18.6	18.5	18.5	18.3	18.6	18.6	
Κατανάλωση ενέργειας, (kWh/m^2)	43.6	38.4	32.7	14.3	22.0	39.2	190.2
Κατανάλωση καυσίμου, (lt/m^2)	5.13	4.51	3.85	1.69	2.59	4.61	22.37
ΘΕΣΗ ΚΤΙΡΙΟΥ: ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗ (Θερμοκρασιακά δεδομένα Α.Π.Θ.)							
Θερμοκρασία ισορροπίας, t_{bal} ($^{\circ}\text{C}$)	18.6	18.5	18.5	18.3	18.6	18.6	
Κατανάλωση ενέργειας, (kWh/m^2)	57.8	48.7	40.3	18.7	34.6	55.5	255.6
Κατανάλωση καυσίμου, (lt/m^2)	6.80	5.73	4.74	2.20	4.07	6.52	30.06
Διαφορά κατανάλωσης ενέργειας (%)	32.6	26.8	23.2	30.8	57.3	41.6	34.3

Πίνακας 3 : Εκτίμηση της κατανάλωσης ενέργειας για θέρμανση (kWh/m^2 κατοικήσιμης επιφάνειας) και της κατανάλωσης καυσίμου (lt/m^2 κατοικήσιμης επιφάνειας), σε κτίριο θερμομονωμένης πολυκατοικίας στην Αθήνα και τη Θεσσαλονίκη.

ΚΑΤΑΝΑΛΩΣΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΓΙΑ ΘΕΡΜΑΝΣΗ (kWh/m^2) ΣΕ ΘΕΡΜΟΜΟΝΩΜΕΝΗ							
ΠΕΝΤΑΟΡΟΦΗ ΠΟΛΥΚΑΤΟΙΚΙΑ ΜΕ ΛΟΓΟ ΠΛΕΥΡΩΝ ΔΙΑΜΕΡΙΣΜΑΤΩΝ 1:1.25							
ΠΟΣΟΣΤΟ ΑΝΟΙΓΜΑΤΩΝ 25%	ΜΗΝΑΣ						
	ΙΑ	ΦΕ	ΜΡ	ΑΠ	ΝΟ	ΔΕ	ΣΥΝΟΛΟ
Εσωτερική θερμοκρασία κτιρίου, ($^{\circ}\text{C}$)	20	20	20	20	20	20	
ΘΕΣΗ ΚΤΙΡΙΟΥ: ΑΘΗΝΑ (Θερμοκρασιακά δεδομένα Εθνικού Αστεροσκοπείου Αθηνών)							
Θερμοκρασία ισορροπίας, t_{bal} ($^{\circ}\text{C}$)	15.6	15.5	15.5	15.4	15.5	15.6	
Κατανάλωση ενέργειας, (kWh/m^2)	8.4	7.5	5.9	1.7	3.2	7.5	34.2
Κατανάλωση καυσίμου, (lt/m^2)	0.99	0.89	0.69	0.19	0.37	0.89	4.02
ΘΕΣΗ ΚΤΙΡΙΟΥ: ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗ (Θερμοκρασιακά δεδομένα Α.Π.Θ.)							
Θερμοκρασία ισορροπίας, t_{bal} ($^{\circ}\text{C}$)	15.6	15.5	15.5	15.4	15.5	15.6	
Κατανάλωση ενέργειας, (kWh/m^2)	12.8	10.6	8.0	2.7	6.4	12.2	52.6
Κατανάλωση καυσίμου, (lt/m^2)	1.51	1.24	0.94	0.32	0.75	1.43	6.19
Διαφορά κατανάλωσης ενέργειας (%)	52.4	41.3	35.6	58.8	100.0	62.7	53.8
ΠΟΣΟΣΤΟ ΑΝΟΙΓΜΑΤΩΝ 35%	ΜΗΝΑΣ						
	ΙΑ	ΦΕ	ΜΡ	ΑΠ	ΝΟ	ΔΕ	ΣΥΝΟΛΟ
Εσωτερική θερμοκρασία κτιρίου, ($^{\circ}\text{C}$)	20	20	20	20	20	20	
ΘΕΣΗ ΚΤΙΡΙΟΥ: ΑΘΗΝΑ (Θερμοκρασιακά δεδομένα Εθνικού Αστεροσκοπείου Αθηνών)							
Θερμοκρασία ισορροπίας, t_{bal} ($^{\circ}\text{C}$)	15.8	15.7	15.7	15.6	15.8	15.9	
Κατανάλωση ενέργειας, (kWh/m^2)	9.4	8.5	6.7	2.0	3.7	8.5	38.8
Κατανάλωση καυσίμου, (lt/m^2)	1.11	1.01	0.78	0.23	0.44	1.0	4.56
ΘΕΣΗ ΚΤΙΡΙΟΥ: ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗ (Θερμοκρασιακά δεδομένα Α.Π.Θ.)							
Θερμοκρασία ισορροπίας, t_{bal} ($^{\circ}\text{C}$)	15.8	15.7	15.7	15.6	15.8	15.9	
Κατανάλωση ενέργειας, (kWh/m^2)	14.2	11.7	9.0	3.1	7.3	13.5	58.8
Κατανάλωση καυσίμου, (lt/m^2)	1.63	1.35	1.02	0.35	0.81	1.55	6.71
Διαφορά κατανάλωσης ενέργειας (%)	51.1	37.6	34.3	55.0	97.3	58.8	51.5

Πίνακας 4 : Εκτίμηση της κατανάλωσης ενέργειας για θέρμανση (kWh/m^2 κατοικήσιμης επιφάνειας) και της κατανάλωσης καυσίμου (lt/m^2 κατοικήσιμης επιφάνειας), σε κτίριο πολυκατοικίας χωρίς θερμική μόνωση στην Αθήνα και τη Θεσσαλονίκη.

ΚΑΤΑΝΑΛΩΣΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΓΙΑ ΘΕΡΜΑΝΣΗ (kWh/m^2) ΣΕ ΠΕΝΤΑΟΡΟΦΗ ΠΟΛΥΚΑΤΟΙΚΙΑ							
ΧΩΡΙΣ ΘΕΡΜΙΚΗ ΜΟΝΩΣΗ ΚΑΙ ΜΕ ΛΟΓΟ ΠΛΕΥΡΩΝ ΔΙΑΜΕΡΙΣΜΑΤΩΝ 1:1.25							
ΠΟΣΟΣΤΟ ΑΝΟΙΓΜΑΤΩΝ 25%	ΜΗΝΑΣ						
	ΙΑ	ΦΕ	ΜΡ	ΑΠ	ΝΟ	ΔΕ	ΣΥΝΟΛΟ
Εσωτερική θερμοκρασία κτιρίου, ($^{\circ}\text{C}$)	20	20	20	20	20	20	
ΘΕΣΗ ΚΤΙΡΙΟΥ: ΑΘΗΝΑ (Θερμοκρασιακά δεδομένα Εθνικού Αστεροσκοπείου Αθηνών)							
Θερμοκρασία ισορροπίας, t_{bal} ($^{\circ}\text{C}$)	17.3	17.3	17.3	17.2	17.3	17.3	
Κατανάλωση ενέργειας, (kWh/m^2)	17.4	15.9	13.1	5.2	8.1	15.9	75.7
Κατανάλωση καυσίμου, (lt/m^2)	2.05	1.87	1.54	0.61	0.96	1.87	8.90
ΘΕΣΗ ΚΤΙΡΙΟΥ: ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗ (Θερμοκρασιακά δεδομένα Α.Π.Θ.)							
Θερμοκρασία ισορροπίας, t_{bal} ($^{\circ}\text{C}$)	17.3	17.3	17.2	17.2	17.3	17.3	
Κατανάλωση ενέργειας, (kWh/m^2)	24.7	20.8	16.7	7.1	13.9	23.7	106.8
Κατανάλωση καυσίμου, (lt/m^2)	2.91	2.44	1.96	0.83	1.64	2.79	12.56
Διαφορά κατανάλωσης ενέργειας (%)	42.0	30.8	27.5	36.5	71.6	49.1	41.1
ΠΟΣΟΣΤΟ ΑΝΟΙΓΜΑΤΩΝ 35%	ΜΗΝΑΣ						
	ΙΑ	ΦΕ	ΜΡ	ΑΠ	ΝΟ	ΔΕ	ΣΥΝΟΛΟ
Εσωτερική θερμοκρασία κτιρίου, ($^{\circ}\text{C}$)	20	20	20	20	20	20	
ΘΕΣΗ ΚΤΙΡΙΟΥ: ΑΘΗΝΑ (Θερμοκρασιακά δεδομένα Εθνικού Αστεροσκοπείου Αθηνών)							
Θερμοκρασία ισορροπίας, t_{bal} ($^{\circ}\text{C}$)	17.4	17.4	17.4	17.3	17.4	17.5	
Κατανάλωση ενέργειας, (kWh/m^2)	19.0	17.4	14.4	5.8	8.9	17.6	83.2
Κατανάλωση καυσίμου, (lt/m^2)	2.24	2.05	1.70	0.68	1.05	2.07	9.79
ΘΕΣΗ ΚΤΙΡΙΟΥ: ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗ (Θερμοκρασιακά δεδομένα Α.Π.Θ.)							
Θερμοκρασία ισορροπίας, t_{bal} ($^{\circ}\text{C}$)	17.4	17.4	17.4	17.3	17.4	17.5	
Κατανάλωση ενέργειας, (kWh/m^2)	26.9	22.6	18.1	7.8	15.2	25.9	116.6
Κατανάλωση καυσίμου, (lt/m^2)	3.16	2.66	2.13	0.92	1.79	3.05	13.71
Διαφορά κατανάλωσης ενέργειας (%)	41.6	29.9	25.7	34.5	70.8	47.2	40.1

2 Πειραματική ανάπτυξη

2.1 Κατασκευή πανομοιότυπων βασικών διατάξεων

Για να είναι δυνατή η μελέτη και η σύγκριση των υλικών μεταξύ τους κατασκευάστηκαν δύο πανομοιότυπες διατάξεις-συστήματα Ηλιακής Θέρμανσης Αέρα ως βασικές κατασκευές όπου προσαρμόζονται σε αυτές διαφορετικά υλικά.

Η βασική διάταξη (σύστημα) κατασκευάστηκε από ξύλο (κόντρα πλακέ) πάχους 1,8 εκ. και βάρους 12.6 kgr/m² για τα περιμετρικά στοιχεία (πλαίσιο) και πάχους 1 εκ. , βάρους 7 kgr/m² για την πίσω επιφάνεια (πλάτη). Προτιμήθηκε το ξύλο από τον χάλυβα (χαλυβδοέλασμα) αφ' ενός μεν γιατί το ξύλο επεξεργάζεται πιο εύκολα σε πιθανές αλλαγές κατά την πορεία των πειραμάτων και αφετέρου γιατί προσφέρει καλύτερη θερμομόνωση του εσωτερικού του συλλέκτη από το περιβάλλον με σχετικά λίγο μικρότερο βάρος (15% περίπου). Η επιλογή των χαλυβδοελασμάτων με μόνιμη μόνωση δεν προτιμήθηκε δεδομένου ότι αντικείμενο της μελέτης είναι και η επιρροή της μόνωσης σε ένα Σύστημα Ηλιακής Θέρμανσης Αέρα.

Κατασκευάστηκαν λοιπόν, δύο πανομοιότυπα κουτιά (διατάξεις) όπως φαίνονται στην εικόνα 1, βάρους 11.5 kgr με εξωτερικές διαστάσεις :

$$0,86 \text{ m} * 1,25 \text{ m} * 0,16 \text{ m} (\text{Πλάτος} * \text{Υψος} * \text{Βάθος})$$

ενώ οι καθαρές εσωτερικές διαστάσεις αντίστοιχα είναι :

$$0,824 \text{ m} * 1,214 \text{ m} * 0,15 \text{ m}$$

έτσι το καθαρό Εμβαδόν συλλογής ηλιακής ακτινοβολίας είναι 1 τετρ. μέτρο (m²) ενώ ο όγκος του εσωτερικού είναι 0,15 κυβικά μέτρα.

Στην μια πλευρά του δοκιμίου διαστάσεων 0,86 * 1,25 m δεν τοποθετήθηκε ξύλινη επιφάνεια έτσι ώστε να τοποθετηθεί το υλικό κάλυψης του συστήματος (κάλυμμα). Για να επιτύχουμε αεροστεγή εφαρμογή του καλύμματος δημιουργήθηκε κατάλληλη εγκοπή (κινησιά) κατά μήκος του πλαϊνού του ξύλου (σόκορο) όπου τοποθετήθηκε λάστιχο EPDM (εικ. 2). Η χρήση της σιλικόνης δεν ενδείκνυται δεδομένου ότι μετά την ξήρανση της δεν επιτρέπει την εύκολη αφαίρεση του καλύμματος προκειμένου να τοποθετηθούν διαφορετικά υλικά. Για να είναι επίσης σταθερό το κάλυμμα αλλά και να μπορεί εύκολα να αφαιρεθεί, τοποθετήθηκαν οκτώ ειδικά άγκιστρα (μάνδαλα) που το συγκρατούν επί της κατασκευής (εικ. 2).

Σε δύο αντιδιαμετρικά σημεία επί των πλαϊνών επιφανειών όπως φαίνεται και στην εικόνα 1 δημιουργήθηκαν οπές διαμέτρου 10 εκ. για την εισαγωγή και εξαγωγή του αέρα. Στην εξαγωγή του αέρα τοποθετήθηκε κατάλληλο ταύ όπου στην έξοδό του προσαρμόστηκε εξαεριστήρας, ενώ στο εσωτερικό του ταύ τοποθετείται το καταγραφικό της θερμοκρασίας.



Εικόνα 1 : Ξύλινη κατασκευή με οπή εισόδου (κάτω δεξιά) και οπή εξόδου (επάνω αριστερά)



Εικόνα 2 : Εφαρμογή ελαστικού EPDM και άγκιστρον συγκράτησης

2.2 Υλικά μελέτης – σύγκρισης

Κατά την πειραματική διεξαγωγή χρησιμοποιήθηκαν τα παρακάτω υλικά για σύγκριση και γενικότερη μελέτη της συμπεριφοράς τους :

1. Υλικό Κάλυψης (κάλυμμα)
 - 1.1 Απλός υαλοπίνακας πάχους 5 χιλ.
 - 1.2 Διπλός υαλοπίνακας πάχους 20 χιλ. με κενό 10χιλ. (5+10+5)
 - 1.3 Κυψελωτό πολυκαρβονικό φύλλο με μονό διάκενο πάχους 10 χιλ.
2. Επίστρωση εσωτερικού απορροφητή
 - 2.1 Μαύρη στιλπνή βαφή (ματ) ακρυλικού χρώματος
3. Υλικό εσωτερικού απορροφητή
 - 3.1 Μembrάνη από σκληρό πολυαιθυλένιο υψηλής πυκνότητας (HDPE) με προεξοχές κωνοειδούς μορφής
 - 3.2 Μαύρος εύκαμπτος αεραγωγός αλουμινίου διαμέτρου 10 εκ.
 - 3.3 Μαύρη λαμαρίνα
4. Υλικό μόνωσης
 - 4.1. Εξηλασμένη πολυστερίνη πάχους 3 εκ.

Η διεξαγωγή της πειραματικής μελέτης περιλαμβάνει τα εξής στάδια :

A. Αρχικά στις βασικές διατάξεις με κάλυψη πολυκαρβονικού φύλλου συγκρίνεται η επιρροή – συνεισφορά της εσωτερικής επίστρωσης συγκρίνοντας

1. την επίστρωση μαυρής βαφής έναντι απουσίας κάποιας επίστρωσης

B. Έπειτα στις διατάξεις εφαρμόζονται τα υλικά κάλυψης συγκρίνοντας

2. διπλό υαλοπίνακα έναντι απλού υαλοπίνακα
3. διπλό υαλοπίνακα έναντι πολυκαρβονικού φύλλου

Γ. Έν συνεχεία, οι διατάξεις με κάλυψη πολυκαρβονικού φύλλου και επίστρωση μαυρής βαφής εξετάζονται με τα υλικά εσωτερικού (απορροφητή) συγκρίνοντας

4. μεμβράνη HDPE με προεξοχές έναντι απουσίας υλικού
5. μαύρο αεραγωγό αλουμινίου έναντι απουσίας υλικού
6. μαύρη λαμαρίνα έναντι αεραγωγού αλουμινίου

Δ. Τέλος στις διατάξεις με κάλυψη πολυκαρβονικού φύλλου και επίστρωση μαυρής βαφής χωρίς υλικό στο εσωτερικό μελετήθηκε η συνεισφορά της μόνωσης συγκρίνοντας

7. μόνωση εξηλασμένης πολυστερίνης έναντι απουσίας μόνωσης

2.3 Διεξαγωγή σύγκρισης μέσω πειραματικών μετρήσεων

Για την σύγκριση των υλικών μεταξύ τους και για να περιοριστούν όσο είναι δυνατόν οι παράμετροι που επηρεάζουν την απόδοση των υλικών όπως η θερμοκρασία και η υγρασία περιβάλλοντος, η ταχύτητα ανέμου, η διάρκεια ηλιοφάνειας και η ένταση της ηλιακής ακτινοβολίας χρησιμοποιήθηκαν :

- δύο πανομοιότυπες διατάξεις
- ταυτόχρονα
- στο ίδιο σημείο
- με την ίδια κλίση ως προς το οριζόντιο επίπεδο
- με τον ίδιο προσανατολισμό
- με την ίδια ροή αέρα χρησιμοποιώντας όμοιους αξονικούς ανεμιστήρες
- με τρία ταυτόχρονα όμοια καταγραφικά θερμοκρασίας

Αναλυτικότερα :

Το σημείο όπου έγιναν οι μετρήσεις, βρίσκεται στην περιοχή του Ζωγράφου σε γεωγραφικό πλάτος $37^{\circ}58'25''$ N και μήκος $23^{\circ}45'52''$ E (23.76463,37.97378) σε ύψος 168 μ. από την επιφάνεια της θάλασσας.

Η κλίση των διατάξεων στις περισσότερες μετρήσεις ως προς το οριζόντιο επίπεδο ήταν $\varphi = 70^{\circ}$ ενώ ο προσανατολισμός τους ήταν Νοτιοδυτικός με γωνία 223° ως προς τον Βορρά.

Για την εξασφάλιση ροής του αέρα χρησιμοποιήθηκαν αξονικοί ανεμιστήρες για κυκλικό αγωγο διαμέτρου 100 mm, με ονομαστική παροχή $80 \text{ m}^3/\text{h}$, ισχύος 15 Watt. Στις περισσότερες μετρήσεις η ροή του αέρα στην έξοδο είχε ταχύτητα $1,8 \text{ m/sec}$ παροχή δηλαδή $45 \text{ m}^3/\text{h}$.

Τα καταγραφικά θερμοκρασίας (και υγρασίας) που χρησιμοποιήθηκαν είναι τα Tinytag plus 2 TGP-4500 της Gemini Data Loggers (UK) Ltd. που προσφέρουν την δυνατότητα επιλογής χρονικού βήματος των μετρήσεων, συνεχής καταγραφής των δεδομένων σε εσωτερική μνήμη και επεξεργασία των δεδομένων με ειδικό λογισμικό. Για τις ανάγκες των πειραματικών μετρήσεων επιλέχθηκε χρονικό βήμα ανά 1 λεπτό (min).

Δεδομένου ότι κατά την διάρκεια των πειραμάτων παρατηρήθηκε ότι τα καταγραφικά έχουν μεγάλο χρόνο απόκρισης σε γρήγορες θερμοκρασιακές μεταβολές και ότι κάποια υλικά όπως ειδικά ο αεραγωγός αλουμινίου έχουν πολύ γρήγορη απόκριση στην μεταβολή της ηλιακής ακτινοβολίας, προέκυψε η ανάγκη δημιουργίας ιδιοκατασκευών μέτρησης και καταγραφής

θερμοκρασιών που λειτουργούσαν ταυτόχρονα με τα αρχικά καταγραφικά του εμπορίου για να διασφαλίζονται οι ορθές αλλά και γρήγορες μετρήσεις

2.4 Αποτελέσματα μετρήσεων σύγκρισης και επεξεργασία τους

1. Συνεισφορά επίστρωσης μαύρης βαφής

Για να μελετήσουμε την συνεισφορά της επίστρωσης μαύρης βαφής, εφαρμόστηκε στη διάταξη A και μόνο, επίστρωση μαύρης βαφής ακρυλικού χρώματος στιλπνής (ματ) ενώ η B παρέμεινε χωρίς καμία επίστρωση στο εσωτερικό της (ξύλινη επιφάνεια). Επίσης σε καμία από τις δύο διατάξεις δεν υπήρχε υλικό πλήρωσης ή μόνωσης ενώ και στις δυο τοποθετήθηκε ως κάλυμμα το πολυκαρβονικό φύλλο.

Αρχικά, συγκρίναμε τις δύο διατάξεις χωρίς να επιβάλουμε συγκεκριμένη ροή αέρα αλλά λειτουργώντας υπό ελεύθερη ροή. Έπειτα επιβάλλαμε όμοια ροή και στις δύο κατασκευές χρησιμοποιώντας τους αξονικούς ανεμιστήρες εξασφαλίζοντας σταθερή ροή με ταχύτητα 1.8 m/sec ή παροχής 45 m³/h και τις συγκρίναμε δύο διαφορετικές ημέρες, μία με νέφωση και μία με ηλιοφάνεια.

Συνοπτικά και συγκεντρωτικά στοιχεία των παραμέτρων και των δεδομένων των μετρήσεων των συγκρίσεων παρουσιάζονται στους παρακάτω πίνακες και γραφήματα.

Από την επεξεργασία των αποτελεσμάτων των μετρήσεων προκύπτει ότι η εφαρμογή της επίστρωσης προκαλεί αύξηση της απόδοσης της κατασκευής κατά 48.8 % σε ελεύθερη ροή, 41.2 % σε νεφοσκεπή ημέρα υπο ροή και 47.4 % σε μια ημέρα με αρκετή ηλιοφάνεια.

Η μαύρη επίστρωση δηλαδή **αποδίδει 48 %** περίπου περισσότερη ενέργεια.

1.1. Ελεύθερη ροή

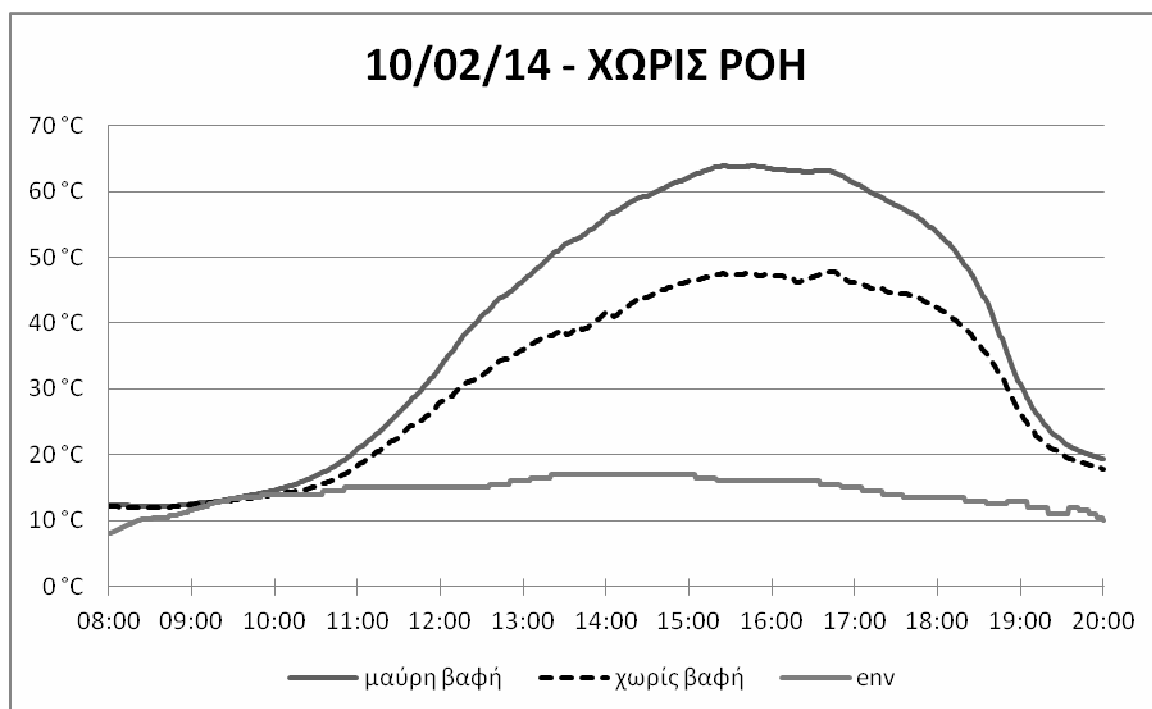
ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΔΙΑΤΑΞΕΩΝ			
Α		Β	
ΚΑΛΥΜΜΑ	ΠΟΛΥΚΑΡΒΟΝΙΚΟ	ΚΑΛΥΜΜΑ	ΠΟΛΥΚΑΡΒΟΝΙΚΟ
ΕΠΙΣΤΡΩΣΗ	ΜΑΥΡΗ ΜΑΤ	ΕΠΙΣΤΡΩΣΗ	ΧΩΡΙΣ
ΠΛΗΡΩΣΗ	ΧΩΡΙΣ	ΠΛΗΡΩΣΗ	ΧΩΡΙΣ
ΜΟΝΩΣΗ	ΧΩΡΙΣ	ΜΟΝΩΣΗ	ΧΩΡΙΣ

ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΙΚΕΣ ΣΥΝΘΗΚΕΣ -							
ΗΜΕΡΟΜΗΝΙΑ		10 / 02 / 2014					
ΗΛΙΟΦΑΝΕΙΑ		ΠΟΛΥ					
ΝΕΦΩΣΗ		-					
ΒΡΟΧΗ		-					
ΜΕΓΙΣΤΗ ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ		T _{env} max (°C)	19.1 @ 15:40				
ΜΕΣΗ ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ		T _{env} aver (°C)	14.8				
ΜΕΓΙΣΤΗ ΟΛΙΚΗ ΗΛΙΑΚΗ ΑΚΤΙΝΟΒ.		G max (W/m ²)	*				
ΜΕΣΗ ΟΛΙΚΗ ΗΛΙΑΚΗ ΑΚΤΙΝΟΒ.		G aver (W/m ²)	*				
ΗΜΕΡ. ΗΛΙΑΚΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑ		P tot (kWh/m ²)	*				
ΔΕΔΟΜΕΝΑ							
Α		Β					
Παροχή αέρα	0 m ³ /h	Παροχή αέρα	0 m ³ /h				
Κλίση (°)	70	Κλίση (°)	70				
ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΕΣ (°C)							
	ΩΡΑ	T _A	T _B	T _{env}	ΔT	ΔT _A	ΔT _B
max T _A	15:25	63.88	47.52	16.0	16.36	47.88	31.52
max T _B	16:43	63.00	47.83	15.5	15.17	47.50	32.33
max T _{env}				17.00			
max ΔT = T _A -T _B	16:17	63.08	46.20	16.0	16.88	47.08	30.20
max ΔT _A = T _A - T _{env}	15:25	63.88	47.52	16.0	16.36	47.88	31.52
max ΔT _B = T _B - T _{env}	16:43	63.00	47.83	15.5	15.17	47.50	32.33

*: μέχρι τις 14/02/2014 το ΕΜΠ δεν κατέγραφε την ηλ. ακτινοβολία λόγω βλάβης

ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ			
Α		Β	
$\int \Delta T = T_A - T_{env} (°C \cdot \text{min})$	18024.47	$\int \Delta T = T_B - T_{env} (°C \cdot \text{min})$	12109.00

Το Α αποδοτικότερο του Β κατά 48.85 %



διάγραμμα 1.1 : Σύγκριση θερμοκρασιών εξόδου αέρα χωρίς ροή α) μύρης επίστρωσης, β) χωρίς επίστρωση και περιβάλλοντος

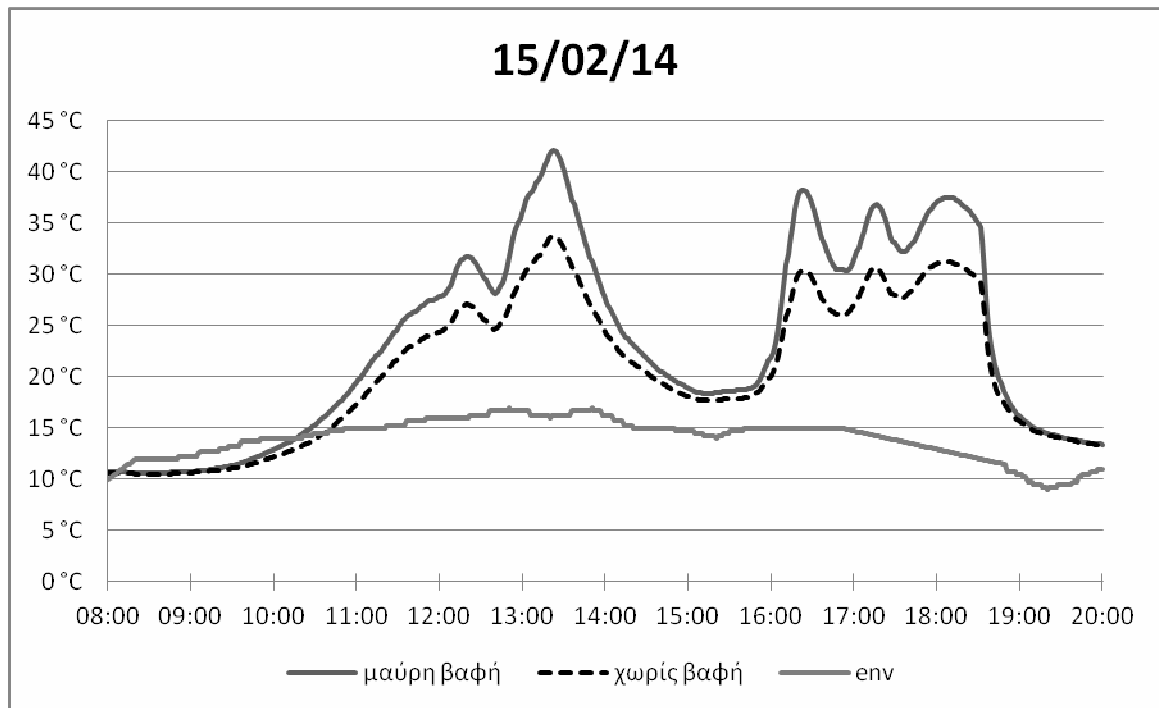
1.2. Με ροή 45 m³/h και ημέρα με νέφωση

ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΔΙΑΤΑΞΕΩΝ			
Α		Β	
ΚΑΛΥΜΜΑ	ΠΟΛΥΚΑΡΒΟΝΙΚΟ	ΚΑΛΥΜΜΑ	ΠΟΛΥΚΑΡΒΟΝΙΚΟ
ΕΠΙΣΤΡΩΣΗ	ΜΑΥΡΗ ΜΑΤ	ΕΠΙΣΤΡΩΣΗ	ΧΩΡΙΣ
ΠΛΗΡΩΣΗ	ΧΩΡΙΣ	ΠΛΗΡΩΣΗ	ΧΩΡΙΣ
ΜΟΝΩΣΗ	ΧΩΡΙΣ	ΜΟΝΩΣΗ	ΧΩΡΙΣ

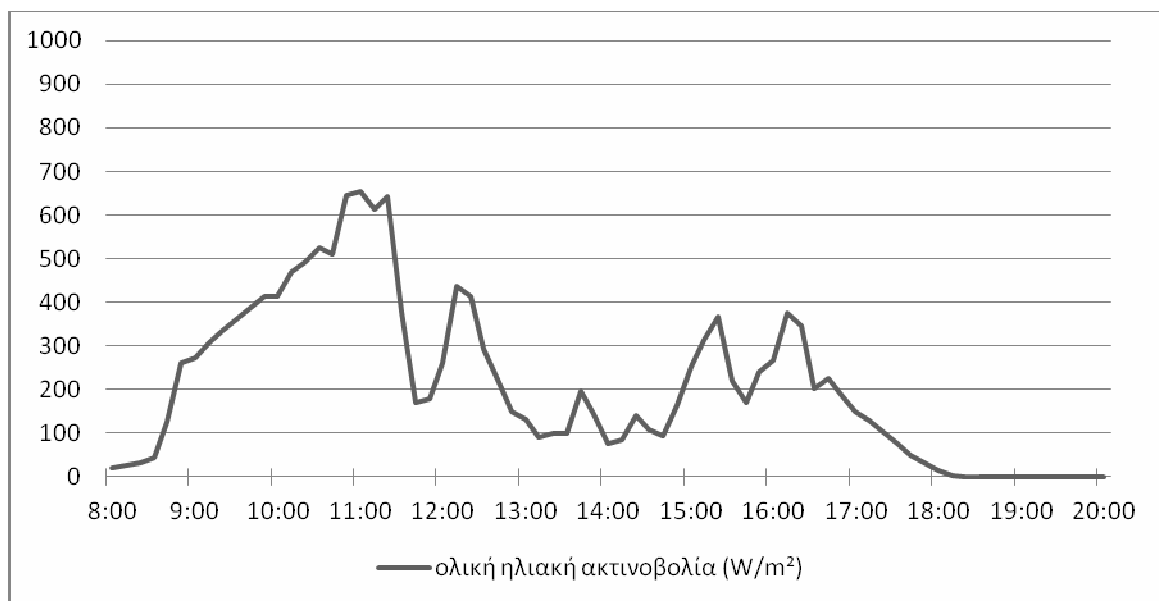
ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΙΚΕΣ ΣΥΝΘΗΚΕΣ							
ΗΜΕΡΟΜΗΝΙΑ		15 / 02 / 2014					
ΗΛΙΟΦΑΝΕΙΑ		ΛΙΓΗ					
ΝΕΦΩΣΗ		ΑΡΚΕΤΗ					
ΒΡΟΧΗ		-					
ΜΕΓΙΣΤΗ ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ		T _{env} max (°C)	17.2 @ 13:50				
ΜΕΣΗ ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ		T _{env} aver (°C)	13.0				
ΜΕΓΙΣΤΗ ΟΛΙΚΗ ΗΛΙΑΚΗ ΑΚΤΙΝΟΒ.		G max (W/m ²)	655				
ΜΕΣΗ ΟΛΙΚΗ ΗΛΙΑΚΗ ΑΚΤΙΝΟΒ.		G aver (W/m ²)	183.5				
ΗΜΕΡΗΣΙΑ ΗΛΙΑΚΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑ		P tot (kWh/m ²)	2.539				
ΔΕΔΟΜΕΝΑ							
Α		Β					
Παροχή αέρα	45 m ³ /h	Παροχή αέρα	45 m ³ /h				
Κλίση (°)	70	Κλίση (°)	70				
ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΕΣ (°C)							
	ΩΡΑ	T _A	T _B	T _{env}	ΔT	ΔT _A	ΔT _B
max T _A	13:22	42.10	33.70	16.0	8.40	26.10	17.70
max T _B	13:22	42.10	33.70	16.0	8.40	26.10	17.70
max T _{env}	13:50	31.17	26.76	17.2	4.41	13.97	9.56
max ΔT = T _A - T _B	13:22	42.10	33.70	16.0	8.40	26.10	17.70
max ΔT _A = T _A - T _{env}	13:22	42.10	33.70	16.0	8.40	26.10	17.70
max ΔT _B = T _B - T _{env}	13:22	42.10	33.70	16.0	8.40	26.10	17.70

ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ			
Α		Β	
$\int \Delta T = T_A - T_{env} (°C \cdot \text{min})$	6761.58	$\int \Delta T = T_B - T_{env} (°C \cdot \text{min})$	4787.04

Το Α αποδοτικότερο του Β κατά 41.25 %



διάγραμμα 1.2.1. : Σύγκριση θερμοκρασιών εξόδου αέρα με ροή α) μαύρης επίστρωσης, β) χωρίς επίστρωση και περιβάλλοντος σε ημέρα με νέφωση



διάγραμμα 1.2.2 : Ολική ηλιακή ακτινοβολία ανά τετρ. μέτρο (Watt/m²) σε οριζόντιο επίπεδο, της 15/02/2014

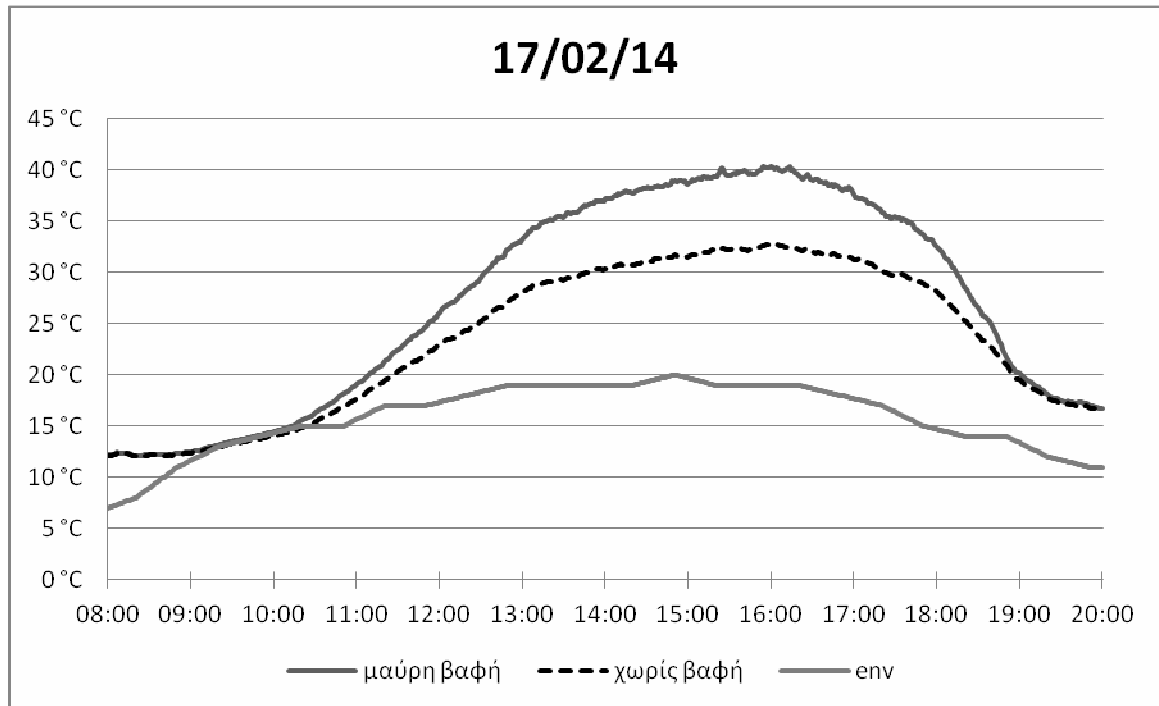
1.2. Με ροή 45 m³/h και ημέρα με ηλιοφάνεια

ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΔΙΑΤΑΞΕΩΝ			
Α		Β	
ΚΑΛΥΜΜΑ	ΠΟΛΥΚΑΡΒΟΝΙΚΟ	ΚΑΛΥΜΜΑ	ΠΟΛΥΚΑΡΒΟΝΙΚΟ
ΕΠΙΣΤΡΩΣΗ	ΜΑΥΡΗ ΜΑΤ	ΕΠΙΣΤΡΩΣΗ	ΧΩΡΙΣ
ΠΛΗΡΩΣΗ	ΧΩΡΙΣ	ΠΛΗΡΩΣΗ	ΧΩΡΙΣ
ΜΟΝΩΣΗ	ΧΩΡΙΣ	ΜΟΝΩΣΗ	ΧΩΡΙΣ

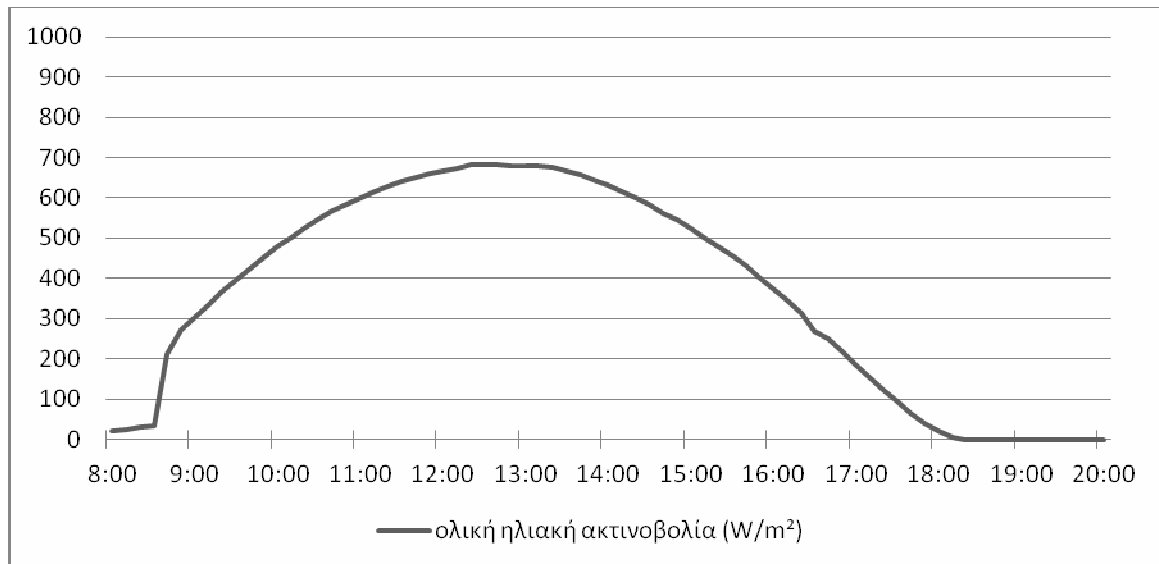
ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΙΚΕΣ ΣΥΝΘΗΚΕΣ							
ΗΜΕΡΟΜΗΝΙΑ		17 / 02 / 2014					
ΗΛΙΟΦΑΝΕΙΑ		ΠΟΛΥ					
ΝΕΦΩΣΗ		-					
ΒΡΟΧΗ		-					
ΜΕΓΙΣΤΗ ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ		T _{env} max (°C)	19.4 @ 15:30				
ΜΕΣΗ ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ		T _{env} aver (°C)	13.7				
ΜΕΓΙΣΤΗ ΟΛΙΚΗ ΗΛΙΑΚΗ ΑΚΤΙΝΟΒ.		G max (W/m ²)	683				
ΜΕΣΗ ΟΛΙΚΗ ΗΛΙΑΚΗ ΑΚΤΙΝΟΒ.		G aver (W/m ²)	322.41				
ΗΜΕΡΗΣΙΑ ΗΛΙΑΚΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑ		P tot (kWh/m ²)	4.460				
ΔΕΔΟΜΕΝΑ							
Α		Β					
Παροχή αέρα	45 m ³ /h	Παροχή αέρα	45 m ³ /h				
Κλίση (°)	70	Κλίση (°)	70				
ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΕΣ (°C)							
	ΩΡΑ	T _A	T _B	T _{env}	ΔT	ΔT _A	ΔT _B
max T _A	16:00	40.37	32.80	19.0	7.57	26.10	13.80
max T _B	16:02	40.05	32.83	19.0	7.22	26.10	13.83
max T _{env}	15:30	39.46	32.16	19.4	7.30	20.06	12.76
max ΔT = T _A -T _B	15:24	40.23	32.36	19.0	7.87	21.23	13.36
max ΔT _A = T _A - T _{env}	16:00	40.37	32.80	19.0	7.57	26.10	17.70
max ΔT _B = T _B - T _{env}	16:02	40.05	32.83	19.0	7.22	26.10	13.83

ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ			
Α		Β	
$\int \Delta T = T_A - T_{env} (^\circ\text{C} \cdot \text{min})$	8152.34	$\int \Delta T = T_B - T_{env} (^\circ\text{C} \cdot \text{min})$	5531.01

Το Α αποδοτικότερο του Β κατά 47.39 %



διάγραμμα 1.3.1. : Σύγκριση θερμοκρασιών εξόδου αέρα με ροή α) μαύρης επίστρωσης, β) χωρίς επίστρωση και περιβάλλοντος σε ημέρα με ηλιοφάνεια



διάγραμμα 1.3.2 : Ολική ηλιακή ακτινοβολία ανά τετρ. μέτρο (Watt/m²) σε οριζόντιο επίπεδο, της 17/02/2014

1. Σύγκριση διπλού υαλοπίνακα έναντι απλού υαλοπίνακα

Στην δεύτερη σύγκριση τα δοκίμια παραμένουν χωρίς καμία επίστρωση στο εσωτερικό τους (ξύλινη επιφάνεια) και κανένα υλικό πλήρωσης και μόνωσης. Στη διάταξη Α τοποθετείται μονός υαλοπίνακας πάχους 5 χιλ. βάρους 12.5 kgf/m² ενώ στη διάταξη Β τοποθετείται ο διπλός υαλοπίνακας αποτελούμενος από δύο υαλοπίνακες πάχους 5 χιλ. με διάκενο ανάμεσά τους πάχους 10 χιλ. Το συνολικό του πάχος είναι 20 χιλ. ενώ το βάρος του είναι 25.8 kgf/m², φωτεινής διαπερατότητας 89%.

Από την σύγκριση των δύο ανωτέρω υλικών προκύπτει ότι η χρήση του διπλού υαλοπίνακα μειώνει κατά 8.13 % την απόδοση του συστήματος.

2. Σύγκριση πολυκαρβονικού έναντι διπλού υαλοπίνακα

Στην επόμενη σύγκριση οι διατάξεις παραμένουν χωρίς επίστρωση μαύρης βαφής, χωρίς υλικό πλήρωσης και μόνωσης. Στη διάταξη Α τοποθετείται κυψελωτό πολυκαρβονικό φύλλο μονού θύλακα (διάκενο) πάχους 10 χιλ. βάρους 1.7 kgf/m², φωτεινής διαπερατότητας 83% ενώ στη διάταξη Β παραμένει ο διπλός υαλοπίνακας συνολικού πάχους 20 χιλ. με βάρος 25.8 kgf/m² και φωτεινής διαπερατότητας 89%

Από την σύγκριση των δύο ανωτέρω υλικών προκύπτει ότι η χρήση του πολυκαρβονικού μειώνει κατά 8.89 % την απόδοση του συστήματος με το διπλό υαλοπίνακα, γεγονός αναμενόμενο δεδομένης της μικρότερης φωτεινής διαπερατότητας κατά 6% που διαθέτει, ή κατά 16.3 % σε σχέση με τον απλό υαλοπίνακα.

Η χρήση όμως του πολυκαρβονικού ξαναεξετάστηκε με τις διατάξεις να έχουν επίστρωση μαύρης βαφής και συγκρίθηκε με τον απλό υαλοπίνακα μια ημέρα με πολύ νέφωση και μεγάλες ταχύτητες ανέμου όπου προέκυψε μείωση απόδοσης κατά μόνο 2.43%

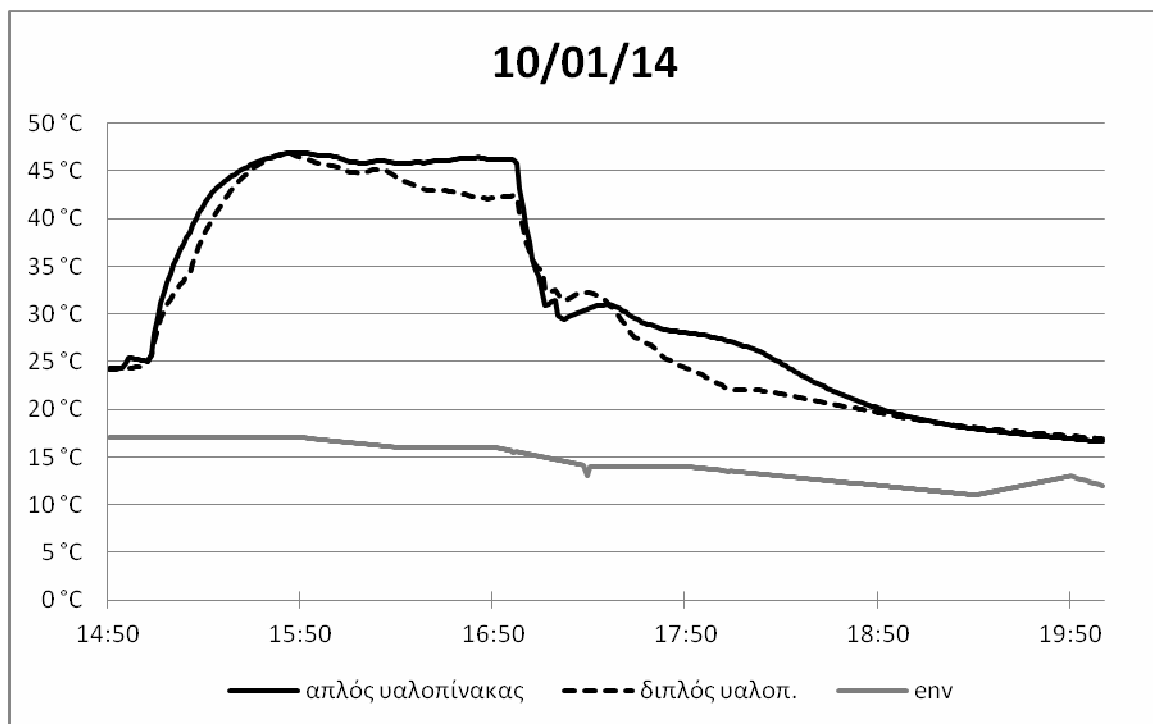
Γεγονός που εξηγεί ότι υλικά κάλυψης με διάκενο αποδίδουν καλύτερα σε συνθήκες χαμηλών θερμοκρασιών ή μεγάλων ταχυτήτων ανέμου που ψύχουν το σύστημα.

Δεδομένων των ανωτέρω και λαμβάνοντας υπόψη το χαμηλότερο κόστος του πολυκαρβονικού έναντι του υαλοπίνακα κατά 50% αλλά και την πολύ μεγαλύτερη διαφορά βάρους που έχουν (1.7 kgf αντί 12.5), καθιστούν τη χρήση του κυψελωτού πολυκαρβονικού φύλλου αρκετά πιο συμφέρουσα ενώ αντίθετα το υπερβολικά μεγαλύτερο βάρος του διπλού υαλοπίνακα αλλά και το αυξημένος κόστος του, τον καθιστούν πρακτικά ασύμφορο.

ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΔΙΑΤΑΞΕΩΝ			
Α		Β	
ΚΑΛΥΜΜΑ	ΔΠΛΟΣ ΥΑΛΟΠΙΝΑΚΑΣ	ΚΑΛΥΜΜΑ	ΔΠΛΟΣ ΥΑΛΟΠΙΝ.
ΕΠΙΣΤΡΩΣΗ	ΧΩΡΙΣ	ΕΠΙΣΤΡΩΣΗ	ΧΩΡΙΣ
ΠΛΗΡΩΣΗ	ΧΩΡΙΣ	ΠΛΗΡΩΣΗ	ΧΩΡΙΣ
ΜΟΝΩΣΗ	ΧΩΡΙΣ	ΜΟΝΩΣΗ	ΧΩΡΙΣ

ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΙΚΕΣ ΣΥΝΘΗΚΕΣ							
ΗΜΕΡΟΜΗΝΙΑ				10 / 01 / 2014			
ΗΛΙΟΦΑΝΕΙΑ				ΠΟΛΥ			
ΝΕΦΩΣΗ				-			
ΒΡΟΧΗ				-			
ΜΕΓΙΣΤΗ ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ				T _{env} max (°C)		17.0 @ 14:00	
ΜΕΣΗ ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ				T _{env} mean (°C)		13.0	
ΜΕΓΙΣΤΗ ΟΛΙΚΗ ΗΛΙΑΚΗ ΑΚΤΙΝΟΒ.				G max (W/m ²)		*	
ΜΕΣΗ ΟΛΙΚΗ ΗΛΙΑΚΗ ΑΚΤΙΝΟΒ.				G mean (W/m ²)		*	
ΗΜΕΡ. ΗΛΙΑΚΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑ (11:00-20:00)				P tot (kWh/m ²)		*	
ΔΕΔΟΜΕΝΑ							
Α				Β			
Παροχή αέρα		0 m ³ /h		Παροχή αέρα		0 m ³ /h	
Κλίση (°)		70		Κλίση (°)		70	
ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΕΣ (°C)							
	ΩΡΑ	T _A	T _B	T _{env}	ΔT	ΔT _A	ΔT _B
max T _A	15:51	46.93	46.32	17.0	0.61	29.93	29.32
max T _B	15:46	46.83	46.94	17.0	-0.11	29.83	29.94
max ΔT = T _A -T _B	18:03	27.16	22.19	13.5	4.97	13.66	8.69
max ΔT _A = T _A - T _{env}	16:56	46.20	42.39	15.5	3.81	30.70	26.89
max ΔT _B = T _B - T _{env}	15:46	46.83	46.94	17.0	-0.11	29.83	29.94

ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ			
Α		Β	
$\int \Delta T = T_A - T_{env} (°C \cdot \text{min})$	5285.82	$\int \Delta T = T_B - T_{env} (°C \cdot \text{min})$	4856.10
Το Β λιγότερο αποδοτικό του Α κατά 8.13 %			



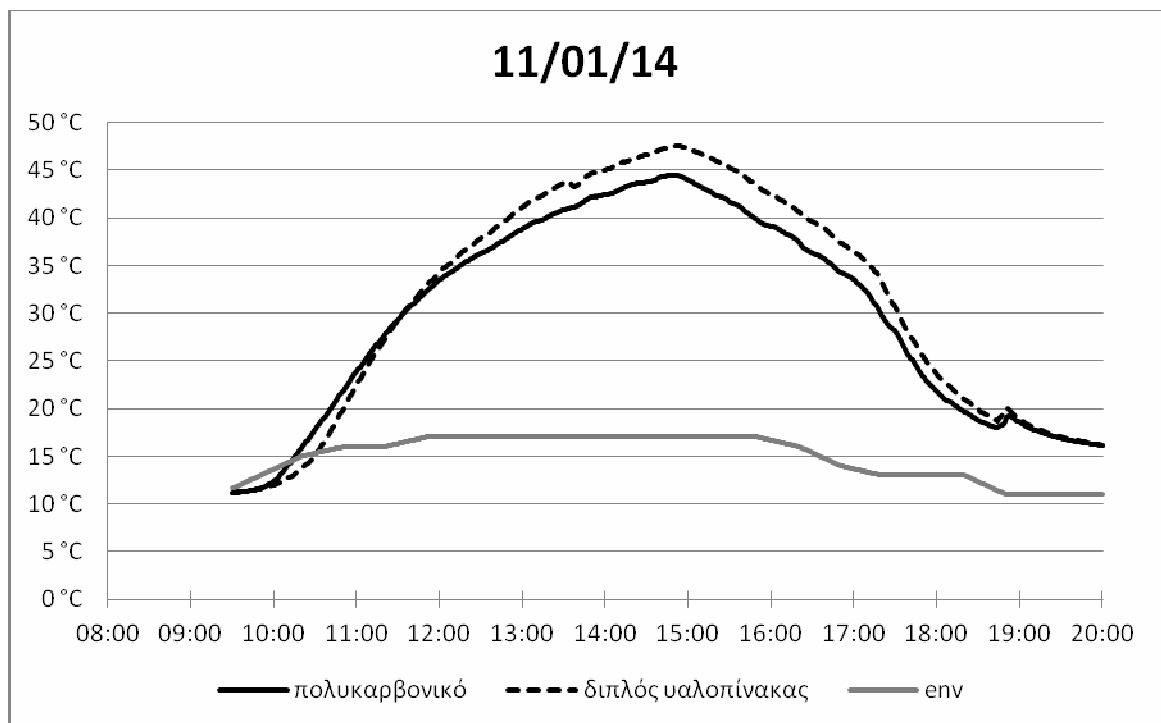
διάγραμμα 2.1. : Σύγκριση θερμοκρασιών εξόδου αέρα α) διπλού υαλοπίνακα, β) απλού υαλοπίνακα και περιβάλλοντος

ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΔΙΑΤΑΞΕΩΝ			
Α		Β	
ΚΑΛΥΜΜΑ	ΠΟΛΥΚΑΡΒΟΝΙΚΟ	ΚΑΛΥΜΜΑ	ΔΙΠΛΟΣ ΥΑΛΟΠΙΝ.
ΕΠΙΣΤΡΩΣΗ	ΧΩΡΙΣ	ΕΠΙΣΤΡΩΣΗ	ΧΩΡΙΣ
ΠΛΗΡΩΣΗ	ΧΩΡΙΣ	ΠΛΗΡΩΣΗ	ΧΩΡΙΣ
ΜΟΝΩΣΗ	ΧΩΡΙΣ	ΜΟΝΩΣΗ	ΧΩΡΙΣ

ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΙΚΕΣ ΣΥΝΘΗΚΕΣ		
ΗΜΕΡΟΜΗΝΙΑ	11 / 01 / 2014	
ΗΛΙΟΦΑΝΕΙΑ	ΠΟΛΥ	
ΝΕΦΩΣΗ	-	
ΒΡΟΧΗ	-	
ΜΕΓΙΣΤΗ ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ	T _{env} max (°C)	17.0 @ 14:00
ΜΕΣΗ ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ	T _{env} mean (°C)	13.7
ΜΕΓΙΣΤΗ ΟΛΙΚΗ ΗΛΙΑΚΗ ΑΚΤΙΝΟΒ.	G max (W/m ²)	*
ΜΕΣΗ ΟΛΙΚΗ ΗΛΙΑΚΗ ΑΚΤΙΝΟΒ.	G mean (W/m ²)	*
ΗΜΕΡ. ΗΛΙΑΚΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑ (11:00-20:00)	P tot (kWh/m ²)	*

ΔΕΔΟΜΕΝΑ							
A				B			
Παροχή αέρα	0 m ³ /h			Παροχή αέρα	0 m ³ /h		
Κλίση (°)	70			Κλίση (°)	70		
ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΕΣ (°C)							
	ΩΡΑ	T _A	T _B	T _{env}	ΔT	ΔT _A	ΔT _B
max T _A	14:48	44.50	47.49	17.0	-3.00	27.50	30.49
max T _B	14:50	44.47	47.51	17.0	-3.03	27.47	30.51
max T _{env}	14:00	42.45	45.02	17.0	-2.57	25.45	28.02
max ΔT = T _A -T _B	15:21	42.28	45.80	17.0	-3.61	25.28	28.89
max ΔT _A = T _A - T _{env}	14:48	44.50	47.49	17.0	-3.00	27.50	30.49
max ΔT _B = T _B - T _{env}	14:50	44.47	47.51	17.0	-3.03	27.47	30.51

ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ			
A		B	
$\int \Delta T = T_A - T_{env} \text{ (}^\circ\text{C} \cdot \text{min)}$	9501.62	$\int \Delta T = T_B - T_{env} \text{ (}^\circ\text{C} \cdot \text{min)}$	10428.38
Το Α λιγότερο αποδοτικό του Β κατά 8.89 %			



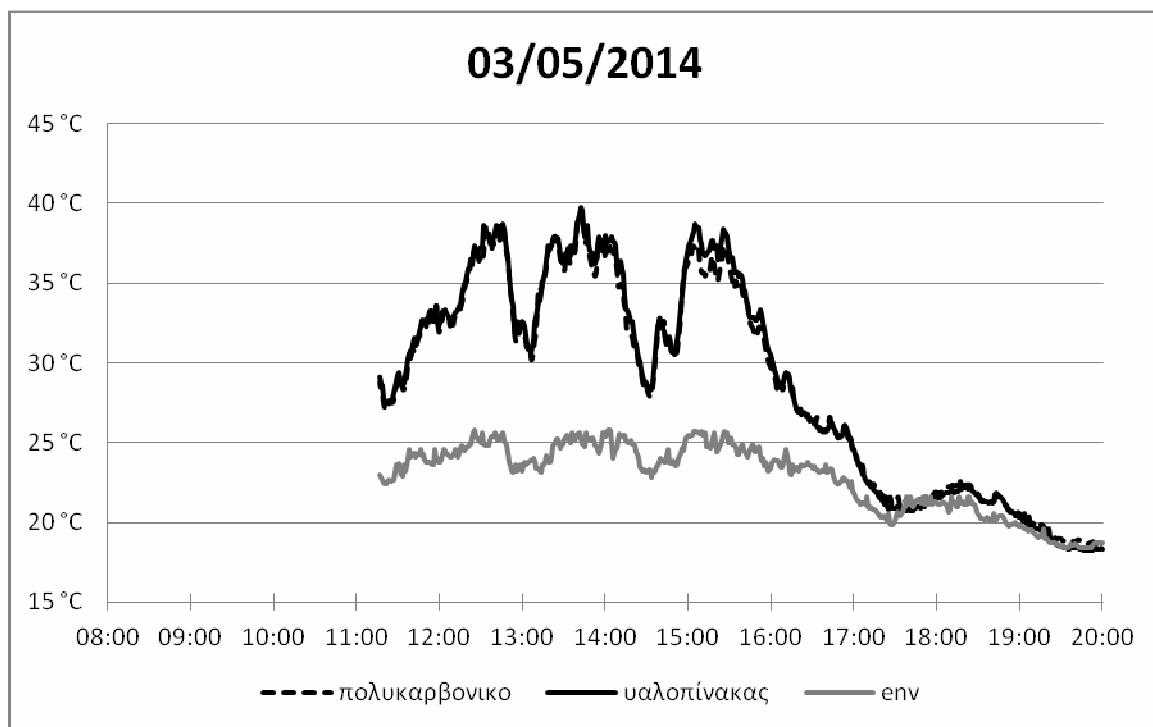
διάγραμμα 2.1. : Σύγκριση θερμοκρασιών εξόδου αέρα α) πολυκαρβονικού φύλλου, β) διπλού υαλοπίνακα και περιβάλλοντος

ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΔΙΑΤΑΞΕΩΝ			
Α		Β	
ΚΑΛΥΜΜΑ	ΠΟΛΥΚΑΡΒΟΝΙΚΟ	ΚΑΛΥΜΜΑ	ΑΠΛΟΣ ΥΑΛΟΠΙΝ.
ΕΠΙΣΤΡΩΣΗ	ΜΑΥΡΗ ΜΑΤ	ΕΠΙΣΤΡΩΣΗ	ΜΑΥΡΗ ΜΑΤ
ΠΛΗΡΩΣΗ	ΧΩΡΙΣ	ΠΛΗΡΩΣΗ	ΧΩΡΙΣ
ΜΟΝΩΣΗ	ΧΩΡΙΣ	ΜΟΝΩΣΗ	ΧΩΡΙΣ

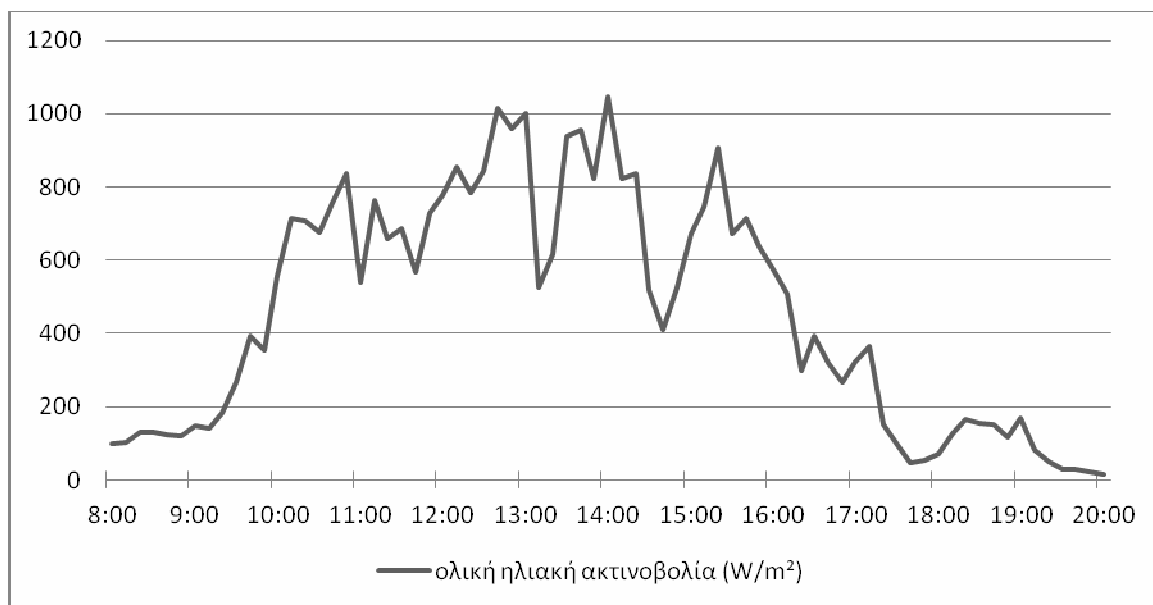
ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΙΚΕΣ ΣΥΝΘΗΚΕΣ							
ΗΜΕΡΟΜΗΝΙΑ	03 / 05 / 2014						
ΗΛΙΟΦΑΝΕΙΑ	ΛΙΓΗ						
ΝΕΦΩΣΗ	ΠΟΛΥ						
ΒΡΟΧΗ	-						
ΜΕΓΙΣΤΗ ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ	T _{env} max (°C)	25.81 @ 14:03					
ΜΕΣΗ ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ	T _{env} aver (°C)	22.81					
ΜΕΓΙΣΤΗ ΟΛΙΚΗ ΗΛΙΑΚΗ ΑΚΤΙΝΟΒ.	G max (W/m ²)	1046					
ΜΕΣΗ ΟΛΙΚΗ ΗΛΙΑΚΗ ΑΚΤΙΝΟΒ.	G aver (W/m ²)	407.98 (497.19)					
ΗΜΕΡ. ΗΛΙΑΚΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑ (11:00-20:00) P tot (kWh/m ²)	5.644 (4.475)						
ΔΕΔΟΜΕΝΑ							
Α		Β					
Παροχή αέρα	45 m ³ /h	Παροχή αέρα	45 m ³ /h				
Κλίση (°)	0	Κλίση (°)	0				
ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΕΣ (°C)							
	ΩΡΑ	T _A	T _B	T _{env}	ΔT	ΔT _A	ΔT _B
max T _A	13:42	39.62	39.75	25.25	-0.13	14.37	14.50
max T _B	13:42	39.62	39.75	25.25	-0.13	14.37	14.50
max T _{env}	14:03	37.31	37.75	25.81	-0.44	11.50	11.94
max ΔT = T _A -T _B	15:20	35.43	37.37	24.43	-1.94	11.00	12.94
max ΔT _A = T _A - T _{env}	13:42	39.62	39.75	25.25	-0.13	14.37	14.50
max ΔT _B = T _B - T _{env}	13:43	38.75	39.60	24.87	-0.85	13.88	14.73

ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ			
Α		Β	
$\int \Delta T = T_A - T_{env} (°C \cdot \text{min})$	3037.10	$\int \Delta T = T_B - T_{env} (°C \cdot \text{min})$	3112.64

Το Α λιγότερο αποδοτικό του Β κατά 2.43 %



διάγραμμα 3.1. : Σύγκριση θερμοκρασιών εξόδου αέρα α) πολυκαρβονικού, β) απλού υαλοπίνακα και περιβάλλοντος



διάγραμμα 3.2. : Ολική ηλιακή ακτινοβολία ανά τετρ. μέτρο (Watt/m²) σε οριζόντιο επίπεδο, της 03/05/2014

1. Συνεισφορά μεμβράνης HDPE με προεξοχές

Στην σύγκριση που ακολουθεί στη διάταξη A και μόνο, τοποθετήθηκε στο εσωτερικό της, μεμβράνη από σκληρό πολυαιθυλένιο υψηλής πυκνότητας (HDPE) πάχους 0,55 χιλ. βάρους περίπου 0,5 kgf/m² ενώ η B παρέμεινε μόνο με την επίστρωση της μαύρης ακρυλικής βαφής. Επίσης σε καμμία από τις δύο δεν υπήρχε κάποιο υλικό μόνωσης ενώ και οι δύο λειτούργησαν με κάλυμμα πολυκαρβονικού φύλλου.



Εικόνα 3 : Διάταξη με μεμβράνη HDPE

Από την σύγκριση προκύπτει ότι η χρήση της μεμβράνης HPDE με κωνοειδούς μορφής προεξοχές προσφέρει κατα 20% περίπου μεγαλύτερη εκμετάλλευση της ηλιακής ακτινοβολίας. Το αποτέλεσμα μπορεί να αποδοθεί στο γεγονός ότι αφ' ενός το πολυαιθυλένιο απορροφά περισσότερο την ακτινοβολία και αφ' ετέρου η παρουσία των προεξοχών

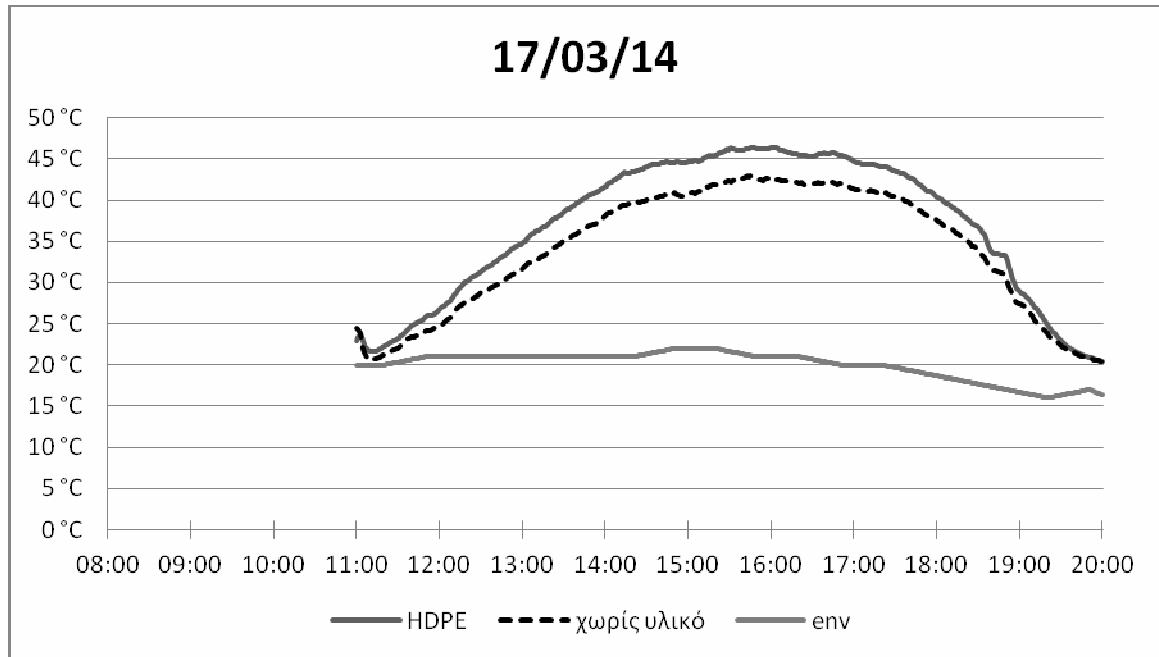
δημιουργεί μεγαλύτερη επιφάνεια απ'οτι μια επίπεδη επιφάνεια, δεσμεύοντας έτσι περισσότερη ακτινοβολία.

ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΔΙΑΤΑΞΕΩΝ			
Α		Β	
ΚΑΛΥΜΜΑ	ΠΟΛΥΚΑΡΒΟΝΙΚΟ	ΚΑΛΥΜΜΑ	ΠΟΛΥΚΑΡΒΟΝΙΚΟ
ΕΠΙΣΤΡΩΣΗ	ΜΑΥΡΗ ΜΑΤ	ΕΠΙΣΤΡΩΣΗ	ΜΑΥΡΗ ΜΑΤ
ΠΛΗΡΩΣΗ	ΜΕΜΒΡΑΝΗ HDPE	ΠΛΗΡΩΣΗ	ΧΩΡΙΣ
ΜΟΝΩΣΗ	ΧΩΡΙΣ	ΜΟΝΩΣΗ	ΧΩΡΙΣ

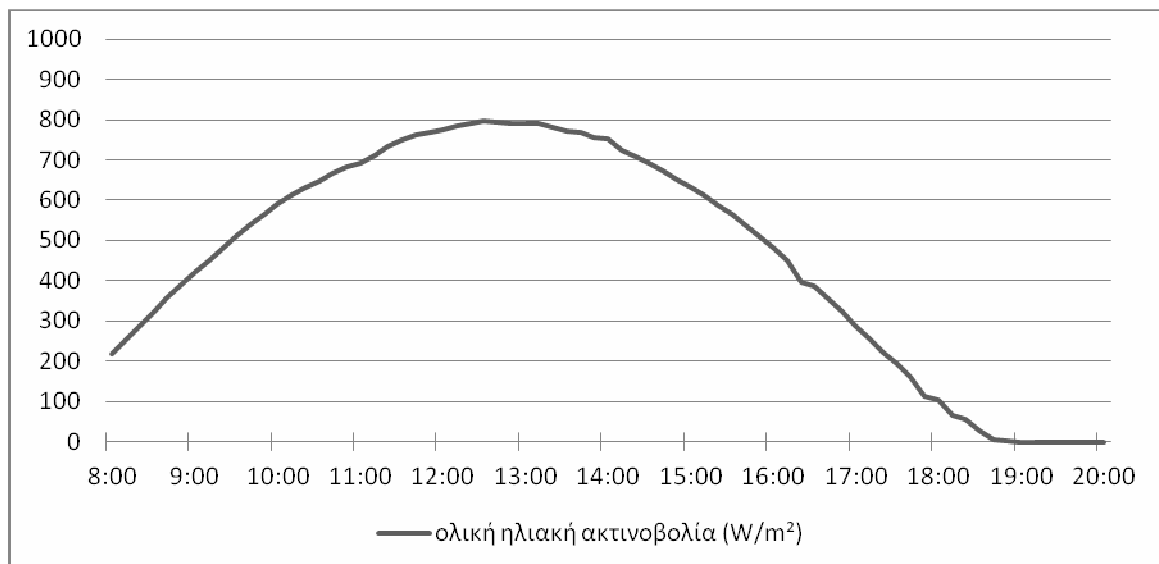
ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΙΚΕΣ ΣΥΝΘΗΚΕΣ -							
ΗΜΕΡΟΜΗΝΙΑ	17 / 03 / 2014						
ΗΛΙΟΦΑΝΕΙΑ	ΠΟΛΥ						
ΝΕΦΩΣΗ	-						
ΒΡΟΧΗ	-						
ΜΕΓΙΣΤΗ ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ	T _{env} max (°C)	22.3 @ 15:30					
ΕΛΑΧΙΣΤΗ ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ	T _{env} min (°C)	9.6 @ 04:10					
ΜΕΣΗ ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ	T _{env} mean (°C)	16.4					
ΜΕΓΙΣΤΗ ΟΛΙΚΗ ΗΛΙΑΚΗ ΑΚΤΙΝΟΒ.	G max (W/m ²)	797 @ 12:30					
ΜΕΣΗ ΟΛΙΚΗ ΗΛΙΑΚΗ ΑΚΤΙΝΟΒ.	G mean (W/m ²)	413.04 (471.46)					
ΗΜΕΡ. ΗΛΙΑΚΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑ (11:00-20:00)	P tot (kWh/m ²)	5.714 (4.165)					
ΔΕΔΟΜΕΝΑ							
Α		Β					
Παροχή αέρα	45 m ³ /h	Παροχή αέρα	45 m ³ /h				
Κλίση (°)	70	Κλίση (°)	70				
ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΕΣ (°C)							
	ΩΡΑ	T _A	T _B	T _{env}	ΔT	ΔT _A	ΔT _B
max T _A	16:03	46.43	42.54	21.0	3.89	14.37	14.50
max T _B	15:45	46.33	42.94	21.0	3.39	14.37	14.50
max T _{env}	15:30	46.21	42.26	22.3	3.95	11.50	11.94
max ΔT = T _A -T _B	14:34	44.40	42.12	21.5	4.18	11.00	12.94
max ΔT _A = T _A - T _{env}	16:46	45.75	42.03	20.0	3.72	25.75	14.50
max ΔT _B = T _B - T _{env}	16:43	45.72	42.29	20.0	3.43	13.88	22.29

ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ

A		B	
$\int \Delta T = T_A - T_{env} (\text{°C} \cdot \text{min})$	9102.02	$\int \Delta T = T_B - T_{env} (\text{°C} \cdot \text{min})$	7614.60
Το Α αποδοτικότερο του Β κατά 19.53 %			



διάγραμμα 4.1. : Σύγκριση θερμοκρασιών εξόδου αέρα μεμβράνης HDPE, χωρίς υλικό και περιβάλλοντος



διάγραμμα 4.2. : Ολική ηλιακή ακτινοβολία ανά τετρ. μέτρο (Watt/m2) σε οριζόντιο επίπεδο, της 17/03/2014

2. Συνεισφορά μαύρου αεραγωγού αλουμινίου

Για να μελετηθεί αρχικά η συνεισφορά του αεραγωγού αλουμινίου τοποθετήθηκε στο εσωτερικό της διάταξης Β χωρίς την επίστρωση μαύρης βαφής, μαύρος εύκαμπτος αεραγωγός αλουμινίου διαμέτρου 10 εκ. (εικ. 3) συνολικού μήκους σε ανάπτυξη 6 μ. ενώ η διάταξη Α διέθετε μόνο επίστρωση της μαύρης ακρυλικής βαφής. Επίσης σε κανένα από τα δύο δοκίμια δεν υπήρχε υλικό μόνωσης ενώ και στα δυο τοποθετήθηκε ως κάλυμμα το πολυκαρβονικό φύλλο.

Σε συνέχεια αυξήθηκε στην διάταξη Β το συνολικό μήκος του αεραγωγού σε 8,5 μέτρα και στην διάταξη Α εφαρμόστηκε επίστρωση μαύρης βαφής και επαναλήφθηκε η σύγκριση.

Συνοπτικά και συγκεντρωτικά στοιχεία των παραμέτρων και των δεδομένων των μετρήσεων της σύγκρισης παρουσιάζονται στους πίνακες και γράφημα που ακολουθούν.



Εικόνα 4 : Διάταξη με μαύρο αεραγωγό αλουμινίου



Εικόνα 5 : Σύγκριση δοκιμών με α) μαύρη επίστρωση έναντι β) χωρίς επίστρωση αλλά με μαύρο αεραγωγό.

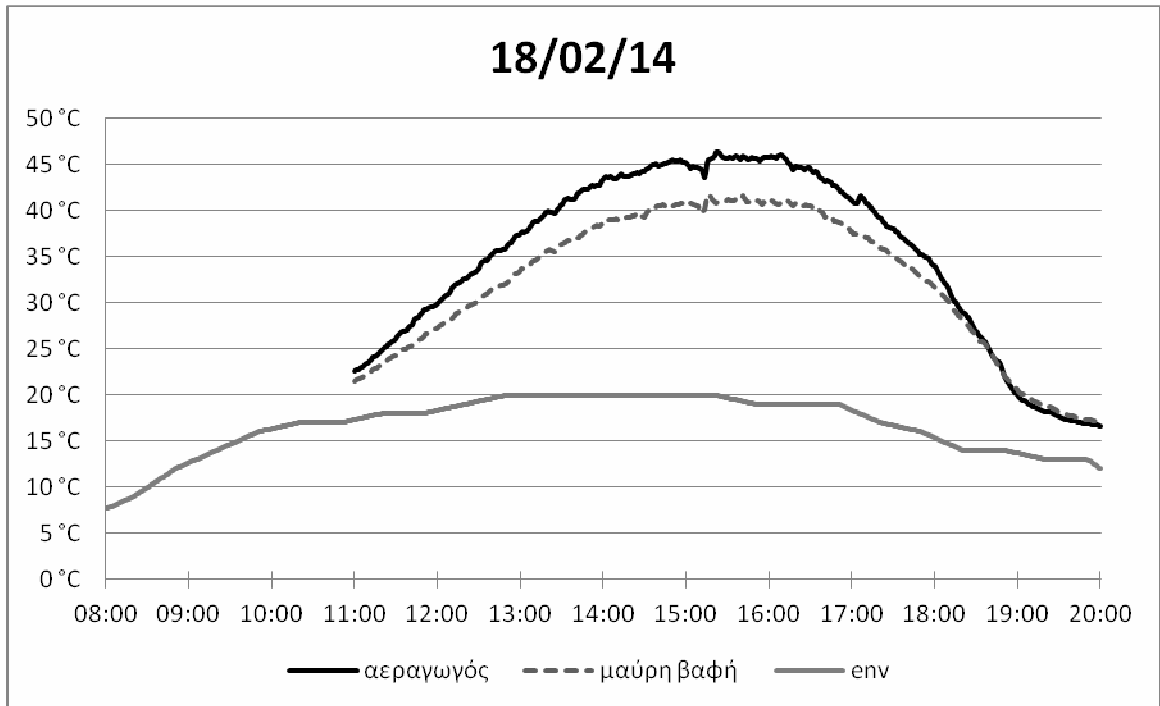
Χαρακτηριστικό της χρήσης του εύκαμπτου αεραγωγού είναι ότι ο αέρας που θερμαίνεται και διοχετεύεται στο εσωτερικό του κτιρίου δεν είναι ο αέρας που υπάρχει στο εσωτερικό της διάταξης αλλά ο αέρας που απορροφάται από το περιβάλλον, διέρχεται μέσω του αεραγωγού μέσα από ένα θερμό περιβάλλον, αυτό της διάταξης και καταλήγει θερμότερος στο εσωτερικό του κτιρίου. Έτσι δεν κινδυνεύουμε να έχουμε πιθανές οσμές και ουσίες που δημιουργούνται κατά την θέρμανση του εσωτερικού της διάταξης, στο εσωτερικό του κτιρίου.

ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΔΙΑΤΑΞΕΩΝ			
A		B	
ΚΑΛΥΜΜΑ	ΠΟΛΥΚΑΡΒΟΝΙΚΟ	ΚΑΛΥΜΜΑ	ΠΟΛΥΚΑΡΒΟΝΙΚΟ
ΕΠΙΣΤΡΩΣΗ	ΜΑΥΡΗ ΜΑΤ	ΕΠΙΣΤΡΩΣΗ	ΧΩΡΙΣ
ΠΛΗΡΩΣΗ	ΧΩΡΙΣ	ΠΛΗΡΩΣΗ	ΑΕΡΑΓΩΓΟΣ ΑΛΟΥΜ.
ΜΟΝΩΣΗ	ΧΩΡΙΣ	ΜΟΝΩΣΗ	ΧΩΡΙΣ

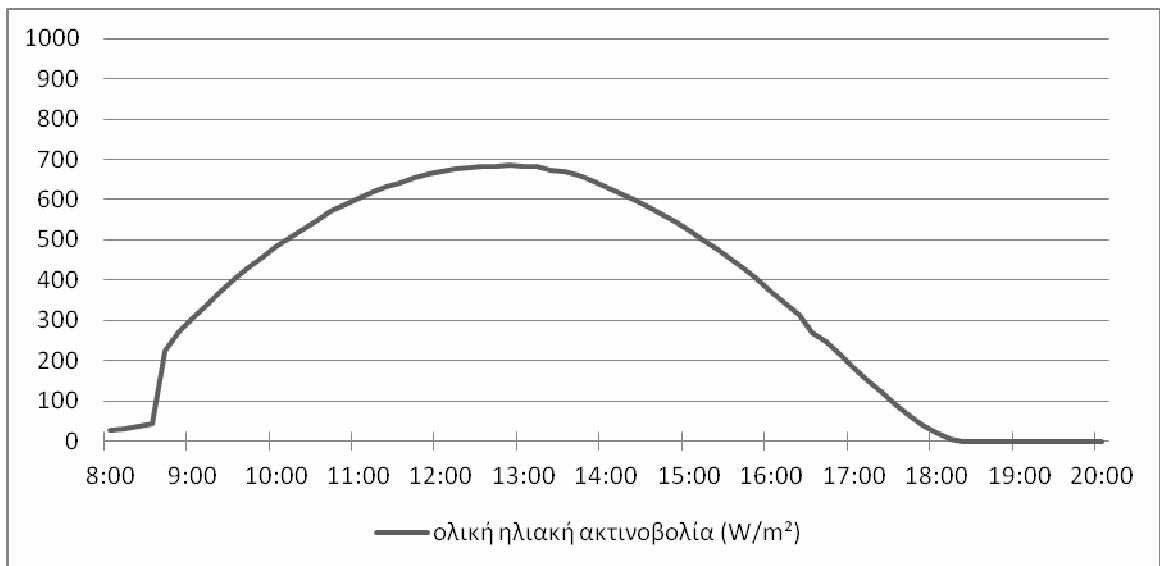
ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΙΚΕΣ ΣΥΝΘΗΚΕΣ -							
ΗΜΕΡΟΜΗΝΙΑ		18 / 02 / 2014					
ΗΛΙΟΦΑΝΕΙΑ		ΠΟΛΥ					
ΝΕΦΩΣΗ		-					
ΒΡΟΧΗ		-					
ΜΕΓΙΣΤΗ ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ		T _{env} max (°C)	20.6 @ 13:30				
ΕΛΑΧΙΣΤΗ ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ		T _{env} min (°C)	10.2 @ 06:30				
ΜΕΣΗ ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ		T _{env} mean (°C)	14.6				
ΜΕΓΙΣΤΗ ΟΛΙΚΗ ΗΛΙΑΚΗ ΑΚΤΙΝΟΒ.		G max (W/m ²)	684 @ 12:50				
ΜΕΣΗ ΟΛΙΚΗ ΗΛΙΑΚΗ ΑΚΤΙΝΟΒ.		G mean (W/m ²)	323.71 (391.61)				
ΗΜΕΡ. ΗΛΙΑΚΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑ (11:00-20:00)		P tot (kWh/m ²)	4.478 (3.394)				
ΔΕΔΟΜΕΝΑ							
A		B					
Παροχή αέρα	45 m ³ /h	Παροχή αέρα	45 m ³ /h				
Κλίση (°)	70	Κλίση (°)	70				
ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΕΣ (°C)							
	ΩΡΑ	T _A	T _B	T _{env}	ΔT	ΔT _A	ΔT _B
max T _A	15:16	41.75	45.51	20.0	3.76	21.75	25.31
max T _B	15:22	40.93	46.37	20.0	5.44	20.99	26.44
max T _{env}	15:30	41.19	45.71	20.6	4.52	21.52	26.04
max ΔT = T _A -T _B	15:21	40.80	46.31	20.0	5.51	20.84	26.34
max ΔT _A = T _A - T _{env}	15:41	41.65	45.95	20.0	4.30	22.35	26.65
max ΔT _B = T _B - T _{env}	16:09	40.96	46.04	19.0	5.08	21.96	27.04

ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ	
A	B

Sum $\Delta T = T_A - T_{env}$ (°C)	7899.64	Sum $\Delta T = T_B - T_{env}$ (°C)	9454.82
Το Β αποδοτικότερο του Α κατά 19.69 %			



διάγραμμα 5.1 : Σύγκριση θερμοκρασιών εξόδου αέρα α) αεραγωγού αλουμινίου χωρίς βαμμένη διάταξη β) άνευ υλικού με βαμμένη διάταξη και περιβάλλοντος



διάγραμμα 5.2. : Ολική ηλιακή ακτινοβολία ανά τετρ. μέτρο (Watt/m2) σε οριζόντιο επίπεδο, της 18/02/2014

Από την σύγκριση προκύπτει ότι η χρήση του αεραγωγού οδηγεί σε 57% μεγαλύτερη απόδοση του συστήματος, γεγονός που αποδίδεται στο ότι αφ'ενός το αλουμίνιο προσφέρει μεγάλη και γρήγορη απαγωγή θερμότητας και αφ'ετέρου το σύστημα με αυτή τη διάταξη

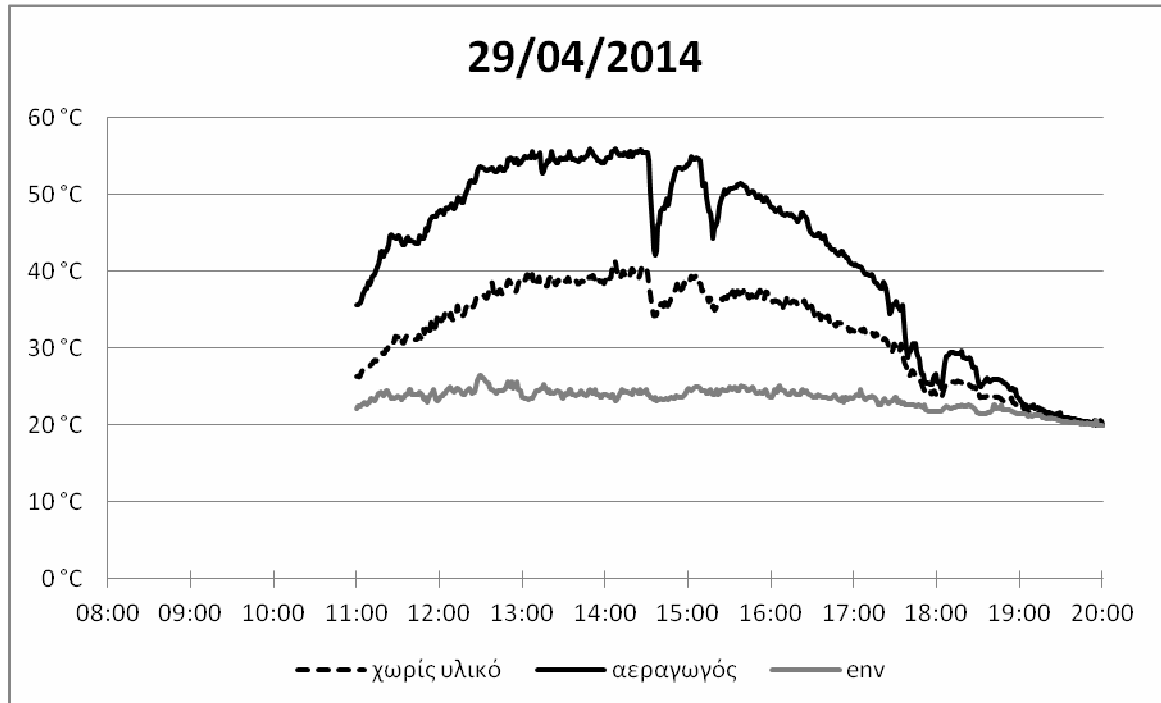
συμπεριφέρεται ως εναλλάκτης θερμότητας όπου ο αέρας του εσωτερικού της κατασκευής λόγω ακινησίας αναπτύσει υψηλότερες θερμοκρασίες απ'ότι στα υπόλοιπα συστήματα.

ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΔΙΑΤΑΞΕΩΝ			
Α		Β	
ΚΑΛΥΜΜΑ	ΠΟΛΥΚΑΡΒΟΝΙΚΟ	ΚΑΛΥΜΜΑ	ΠΟΛΥΚΑΡΒΟΝΙΚΟ
ΕΠΙΣΤΡΩΣΗ	ΜΑΥΡΗ ΜΑΤ	ΕΠΙΣΤΡΩΣΗ	ΜΑΥΡΗ ΜΑΤ
ΠΛΗΡΩΣΗ	ΧΩΡΙΣ	ΠΛΗΡΩΣΗ	ΑΕΡΑΓΩΓΟΣ ΑΛΟΥΜ.
ΜΟΝΩΣΗ	ΧΩΡΙΣ	ΜΟΝΩΣΗ	ΧΩΡΙΣ

ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΙΚΕΣ ΣΥΝΘΗΚΕΣ -							
ΗΜΕΡΟΜΗΝΙΑ	29 / 04 / 2014						
ΗΛΙΟΦΑΝΕΙΑ	ΑΡΚΕΤΗ						
ΝΕΦΩΣΗ	ΛΙΓΗ						
ΒΡΟΧΗ	-						
ΜΕΓΙΣΤΗ ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ	T _{env} max (°C)	26.4 @ 12:30					
ΕΛΑΧΙΣΤΗ ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ	T _{env} min (°C)	19.9 @ 20:00					
ΜΕΣΗ ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ	T _{env} mean (°C)	23.4					
ΜΕΓΙΣΤΗ ΟΛΙΚΗ ΗΛΙΑΚΗ ΑΚΤΙΝΟΒ.	G max (W/m ²)	1015 @ 13:30					
ΜΕΣΗ ΟΛΙΚΗ ΗΛΙΑΚΗ ΑΚΤΙΝΟΒ.	G mean (W/m ²)	577.87 (675.26)					
ΗΜΕΡ. ΗΛΙΑΚΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑ (11:00-20:00)	P tot (kWh/m ²)	7.620 (6.077)					
ΔΕΔΟΜΕΝΑ							
Α		Β					
Παροχή αέρα	45 m ³ /h	Παροχή αέρα	45 m ³ /h				
Κλίση (°)	0	Κλίση (°)	0				
ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΕΣ (°C)							
	ΩΡΑ	T _A	T _B	T _{env}	ΔT	ΔT _A	ΔT _B
max T _A	14:07	41.43	55.93	23.18	14.50	18.25	32.75
max T _B	14:07	41.43	55.93	23.18	14.50	18.25	32.75
max T _{env}	12:30	36.87	53.62	26.37	16.75	10.50	27.25
max ΔT = T _A -T _B	12:55	37.43	54.60	25.12	17.17	12.31	29.48
max ΔT _A = T _A - T _{env}	14:07	41.43	55.93	23.18	14.50	18.25	32.75
max ΔT _B = T _B - T _{env}	14:07	41.43	55.93	23.18	14.50	18.25	32.75

ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ

A		B	
$\int \Delta T = T_A - T_{env} (\text{°C} \cdot \text{min})$	4789.61	$\int \Delta T = T_B - T_{env} (\text{°C} \cdot \text{min})$	10150.34
Το Β αποδοτικότερο του Α κατά 111.9 %			



διάγραμμα 5.1 : Σύγκριση θερμοκρασιών διατάξεων α) με αεραγωγό, β) χωρίς υλικό και περιβάλλοντος



διάγραμμα 5.2. : Ολική ηλιακή ακτινοβολία ανά τετρ. μέτρο (Watt/m²) σε οριζόντιο επίπεδο, της 29/04/2014

1. Σύγκριση μαύρης λαμαρίνας έναντι αεραγωγού αλουμινίου

Προκειμένου να μελετηθεί η συνεισφορά της λαμαρίνας ως υλικό πλήρωσης ή και ως υλικό κατασκευής του συλλέκτη, τοποθετήθηκε στο εσωτερικό της διάταξης Α μαύρη λαμαρίνα διαστάσεων 0,70 μ. * 1,20 μ. πάχους 1,25 χιλ., βάρους 10 kgf/m². Η κατασκευή συγκρίθηκε με την όμοιά της, διάταξη Β με εύκαμπτο μαύρο αεραγωγό. Και οι δύο διατάξεις είχαν επίστρωση μαύρης βαφής, χωρίς μόνωση, με κάλυμμα κυψελωτού πολυκαρβονικού φύλλου . Συνοπτικά και συγκεντρωτικά στοιχεία των παραμέτρων και των δεδομένων των μετρήσεων της σύγκρισης παρουσιάζονται στους παρακάτω πίνακες και γράφημα.



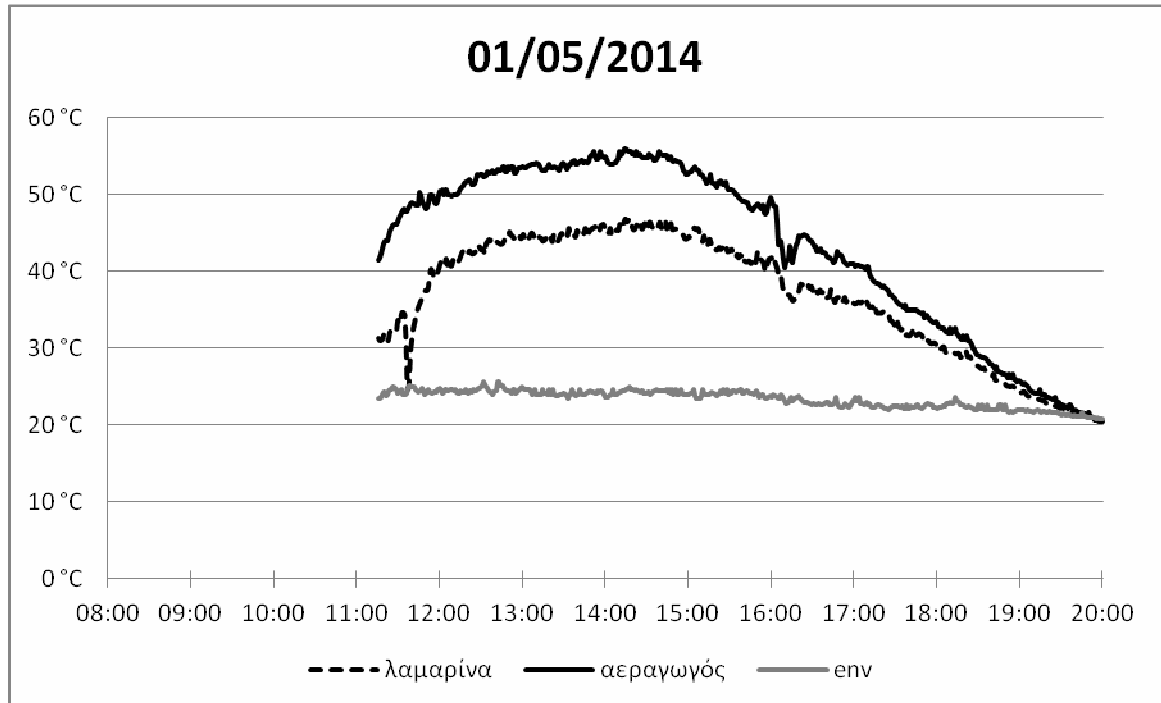
Εικόνα 6 : Δοκίμιο με μαύρη λαμαρίνα πάχους 1,25 χιλ.

ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΔΙΑΤΑΞΕΩΝ			
Α		Β	
ΚΑΛΥΜΜΑ	ΠΟΛΥΚΑΡΒΟΝΙΚΟ	ΚΑΛΥΜΜΑ	ΠΟΛΥΚΑΡΒΟΝΙΚΟ
ΕΠΙΣΤΡΩΣΗ	ΜΑΥΡΗ ΜΑΤ	ΕΠΙΣΤΡΩΣΗ	ΜΑΥΡΗ ΜΑΤ
ΠΛΗΡΩΣΗ	ΛΑΜΑΡΙΝΑ	ΠΛΗΡΩΣΗ	ΑΕΡΑΓΩΓΟΣ ΑΛΟΥΜ.
ΜΟΝΩΣΗ	ΧΩΡΙΣ	ΜΟΝΩΣΗ	ΧΩΡΙΣ

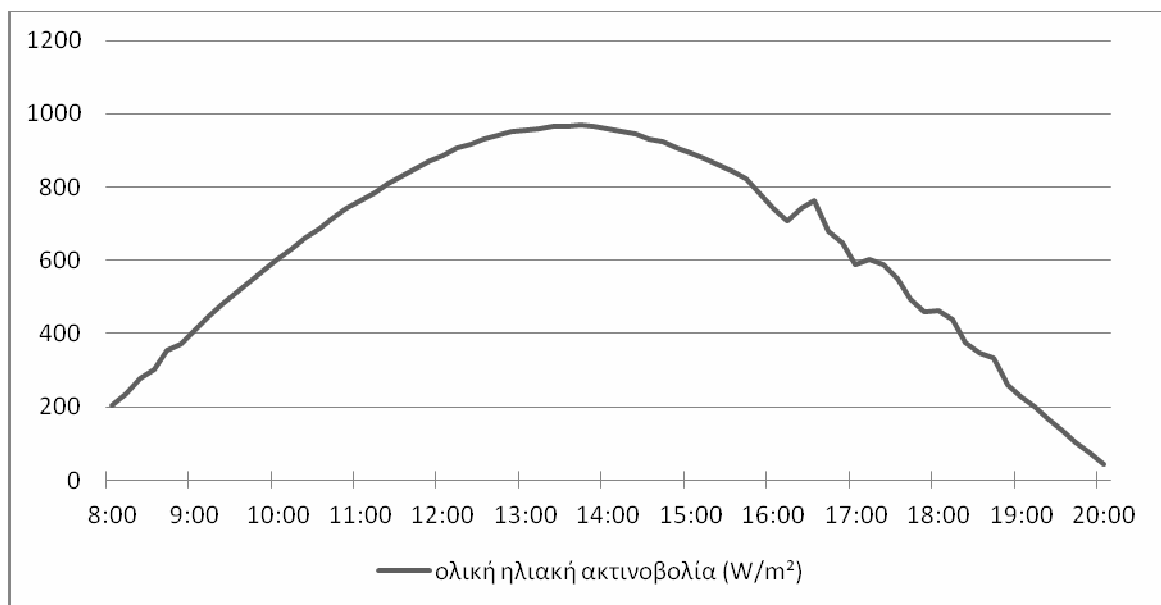
ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΙΚΕΣ ΣΥΝΘΗΚΕΣ -							
ΗΜΕΡΟΜΗΝΙΑ		01 / 05 / 2014					
ΗΛΙΟΦΑΝΕΙΑ		ΠΟΛΥ					
ΝΕΦΩΣΗ		ΛΙΓΗ					
ΒΡΟΧΗ		-					
ΜΕΓΙΣΤΗ ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ		$T_{env \max}$ (°C)	25.6 @ 12:32				
ΜΕΣΗ ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ		$T_{env \text{ mean}}$ (°C)	23.4				
ΜΕΓΙΣΤΗ ΟΛΙΚΗ ΗΛΙΑΚΗ ΑΚΤΙΝΟΒ.		$G \max$ (W/m ²)	970 @ 13:40				
ΜΕΣΗ ΟΛΙΚΗ ΗΛΙΑΚΗ ΑΚΤΙΝΟΒ.		$G \text{ mean}$ (W/m ²)	563.85 (681.00)				
ΗΜΕΡ. ΗΛΙΑΚΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑ (11:20-20:00)		$P \text{ tot}$ (kWh/m ²)	7.800 (6.015)				
ΔΕΔΟΜΕΝΑ							
Α		Β					
Παροχή αέρα	45 m ³ /h	Παροχή αέρα	45 m ³ /h				
Κλίση (°)	0	Κλίση (°)	0				
ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΕΣ (°C)							
	ΩΡΑ	T_A	T_B	T_{env}	ΔT	ΔT_A	ΔT_B
$\max T_A$	14:17	46.87	55.62	24.87	8.75	22.00	30.75
$\max T_B$	14:14	46.81	56.00	24.50	9.19	22.31	31.50
$\max T_{env}$	12:32	42.25	52.31	25.60	10.06	16.65	26.71
$\max \Delta T = T_B - T_A$	12:27	42.37	52.60	24.62	10.23	17.75	27.98
$\max \Delta T_A = T_A - T_{env}$	14:32	46.37	55.18	24.00	8.81	22.37	31.18
$\max \Delta T_B = T_B - T_{env}$	14:14	46.81	56.00	24.50	9.19	22.31	31.50

ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ

A		B	
$\int \Delta T = T_A - T_{env} (\text{°C} \cdot \text{min})$	7070.20	$\int \Delta T = T_B - T_{env} (\text{°C} \cdot \text{min})$	10448.09
Το Β αποδοτικότερο του Α κατά 47.8 %			



διάγραμμα 5.1 : Σύγκριση θερμοκρασιών διατάξεων α) με λαμαρίνα, β) με αεραγωγό και περιβάλλοντος



διάγραμμα 5.2 : Ολική ηλιακή ακτινοβολία ανά τετρ. μέτρο (Watt/m²) σε οριζόντιο επίπεδο, της 01/05/2014

2. Συνεισφορά μόνωσης

Προκειμένω να μελετηθεί η συνεισφορά της θερμομόνωσης της κατασκευής, κατασκευάστηκε από φύλλα εξηλασμένης πολυστερίνης πάχους 3 εκ. πλαίσιο που περιβάλλει το δοκίμιο αφήνοντας ελεύθερη την μία μόνο πλευρά (εικ. 6 και 7). Το μονωτικό περίβλημα τοποθετήθηκε στη διάταξη Α και συγκρίθηκε με την όμοιά της χωρίς μόνωση. Και τα δύο συστήματα είχαν επίστρωση μαύρης βαφής και κάλυμμα κυψελωτού πολυκαρβονικού φύλλου.

Από την επεξεργασία των αποτελεσμάτων προέκυψε αύξηση της απόδοσης κατά 23.8 %. Αξίζει να σημειωθεί ότι η σύγκριση αυτή προσομοιώνει την περίπτωση που το σύστημα χρησιμοποιεί μάζα αποθήκευσης αν τοποθετηθεί κατάκόρυφα σε επαφή με ένα τοίχο ή οριζόντια σε μια πλάκα.



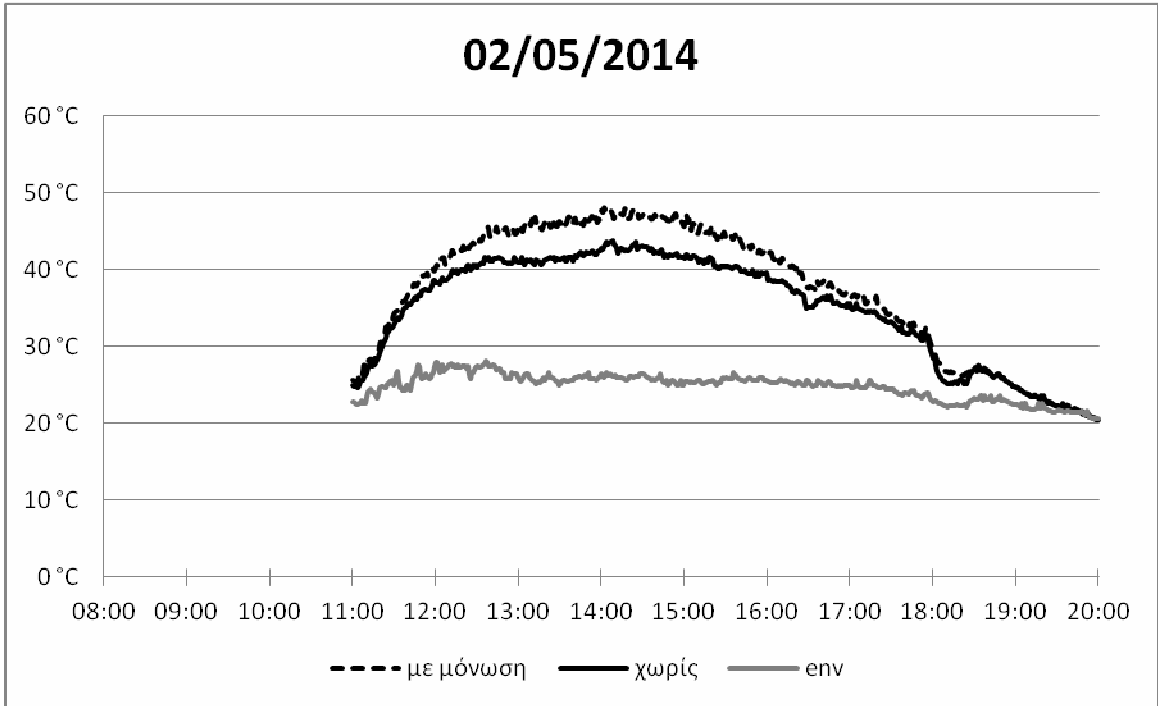
Εικόνα 7 : Μονωτικό περίβλημα εξηλασμένης πολυστερίνης.

ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΔΙΑΤΑΞΕΩΝ			
Α		Β	
ΚΑΛΥΜΜΑ	ΠΟΛΥΚΑΡΒΟΝΙΚΟ	ΚΑΛΥΜΜΑ	ΠΟΛΥΚΑΡΒΟΝΙΚΟ
ΕΠΙΣΤΡΩΣΗ	ΜΑΥΡΗ ΜΑΤ	ΕΠΙΣΤΡΩΣΗ	ΜΑΥΡΗ ΜΑΤ
ΠΛΗΡΩΣΗ	ΧΩΡΙΣ	ΠΛΗΡΩΣΗ	ΧΩΡΙΣ
ΜΟΝΩΣΗ	ΕΞΗΛ. ΠΟΛΥΣΤΕΡΙΝΗ	ΜΟΝΩΣΗ	ΧΩΡΙΣ

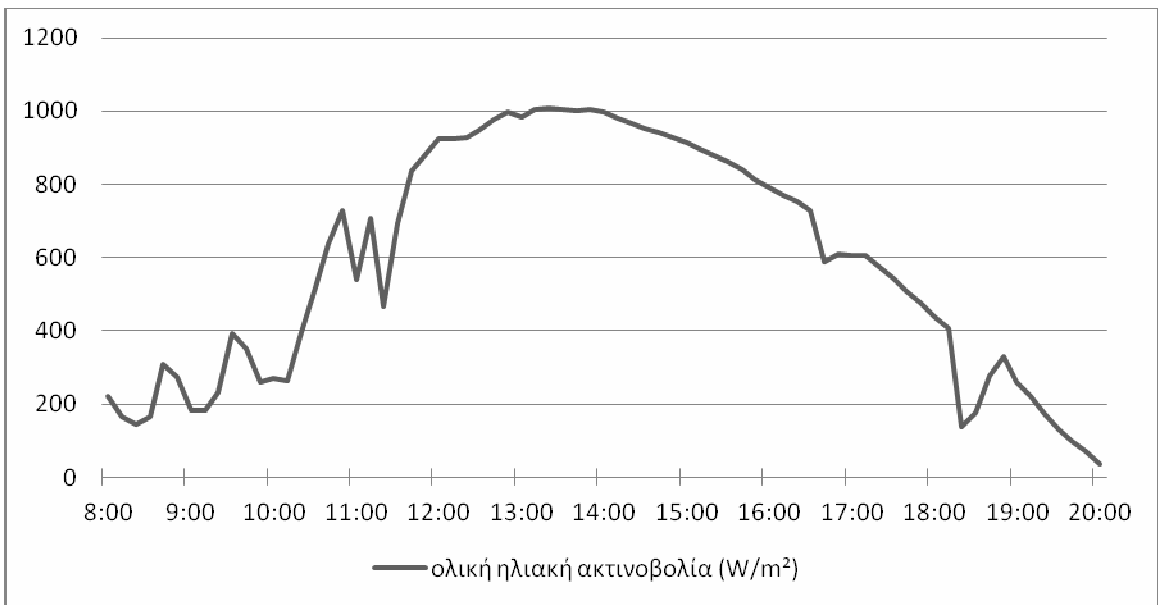
ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΙΚΕΣ ΣΥΝΘΗΚΕΣ -							
ΗΜΕΡΟΜΗΝΙΑ		02 / 05 / 2014					
ΗΛΙΟΦΑΝΕΙΑ		ΠΟΛΥ					
ΝΕΦΩΣΗ		-					
ΒΡΟΧΗ		-					
ΜΕΓΙΣΤΗ ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ		$T_{env \max}$ (°C)	25.7 @ 13:30				
ΜΕΣΗ ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ		$T_{env \text{ mean}}$ (°C)	24.9				
ΜΕΓΙΣΤΗ ΟΛΙΚΗ ΗΛΙΑΚΗ ΑΚΤΙΝΟΒ.		$G \max$ (W/m ²)	1009 @ 13:20				
ΜΕΣΗ ΟΛΙΚΗ ΗΛΙΑΚΗ ΑΚΤΙΝΟΒ.		$G \text{ mean}$ (W/m ²)	520.49 (682.03)				
ΗΜΕΡ. ΗΛΙΑΚΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑ (11:00-20:00)		$P \text{ tot}$ (kWh/m ²)	7.200 (6.138)				
ΔΕΔΟΜΕΝΑ							
Α		Β					
Παροχή αέρα	45 m ³ /h	Παροχή αέρα	45 m ³ /h				
Κλίση (°)	0	Κλίση (°)	0				
ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΕΣ (°C)							
	ΩΡΑ	T_A	T_B	T_{env}	ΔT	ΔT_A	ΔT_B
$\max T_A$	14:02	48.12	42.87	26.00	5.25	22.12	16.87
$\max T_B$	14:08	47.31	43.81	26.12	3.50	21.19	17.69
$\max T_{env}$	12:36	44.81	41.31	28.12	3.50	16.69	13.19
$\max \Delta T = T_A - T_B$	13:10	46.60	40.93	25.68	5.67	20.92	15.25
$\max \Delta T_A = T_A - T_{env}$	14:17	48.00	42.62	25.56	5.38	22.44	17.06
$\max \Delta T_B = T_B - T_{env}$	14:08	47.31	43.81	26.12	3.50	21.19	17.69

ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ	
A	B

$\int \Delta T = T_A - T_{env} (\text{°C} \cdot \text{min})$	5515.76	$\int \Delta T = T_B - T_{env} (\text{°C} \cdot \text{min})$	6831.00
Το Β αποδοτικότερο του Α κατά 23.8 %			



διάγραμμα 5.1 : Σύγκριση θερμοκρασιών εξόδου αέρα αεραγωγού αλουμινίου έναντι μάρης βαφής και περιβάλλοντος



διάγραμμα 5.2 : Ολική ηλιακή ακτινοβολία ανά τετρ. μέτρο (Watt/m2) σε οριζόντιο επίπεδο, της 02/05/2014

2.5 Υπολογισμός ενεργειακής απόδοσης

Από τα δεδομένα των πειραματικών μετρήσεων υπολογίστηκε η ενεργειακή απόδοση στο σύνολο μιας ημέρας, δύο διαφορετικών διατάξεων :

A. Διάταξη που διαθέτει

- επίστρωση πλαισίου μαύρης βαφής
- μαύρο εύκαμπτο αεραγωγό αλουμινίου ως απορροφητή
- κάλυμμα κυψελωτού πολυκαρβονικού φύλλου

B. Διάταξη που διαθέτει

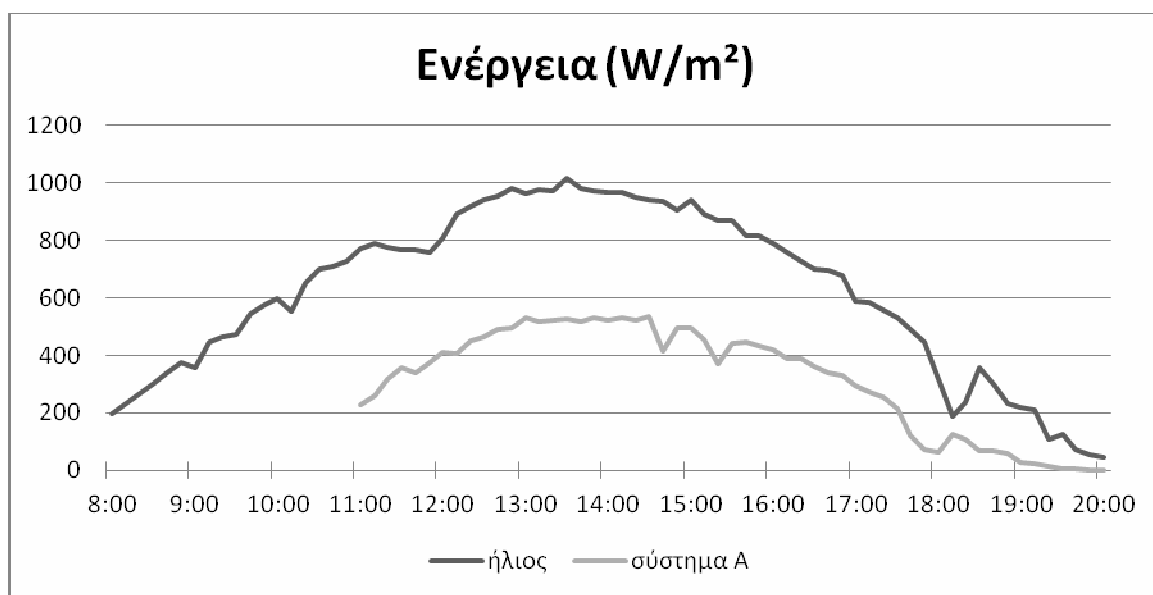
- επίστρωση πλαισίου μαύρης βαφής
- μαύρη λαμαρίνα
- μαύρο εύκαμπτο αεραγωγό αλουμινίου ως απορροφητή
- κάλυμμα κυψελωτού πολυκαρβονικού φύλλου
- μόνωση εξηλασμένης πολυστερίνης

Η επιλογή των ανωτέρω συστημάτων έγινε σύμφωνα με την απόδοση των υλικών αυτού στηρίζεται στο γεγονός ότι είναι το αποδοτικότερο σύστημα αν εξαιρεθεί ο βαρύτερος και ακριβότερος διπλός υαλοπίνακας, με μικρό βάρος και κόστος καθώς επίσης και στο ότι ο αέρας που παρέχεται είναι ποιοτικά καλύτερος (νωπός που έρχεται σε επαφή μόνο με το αλουμίνιο).

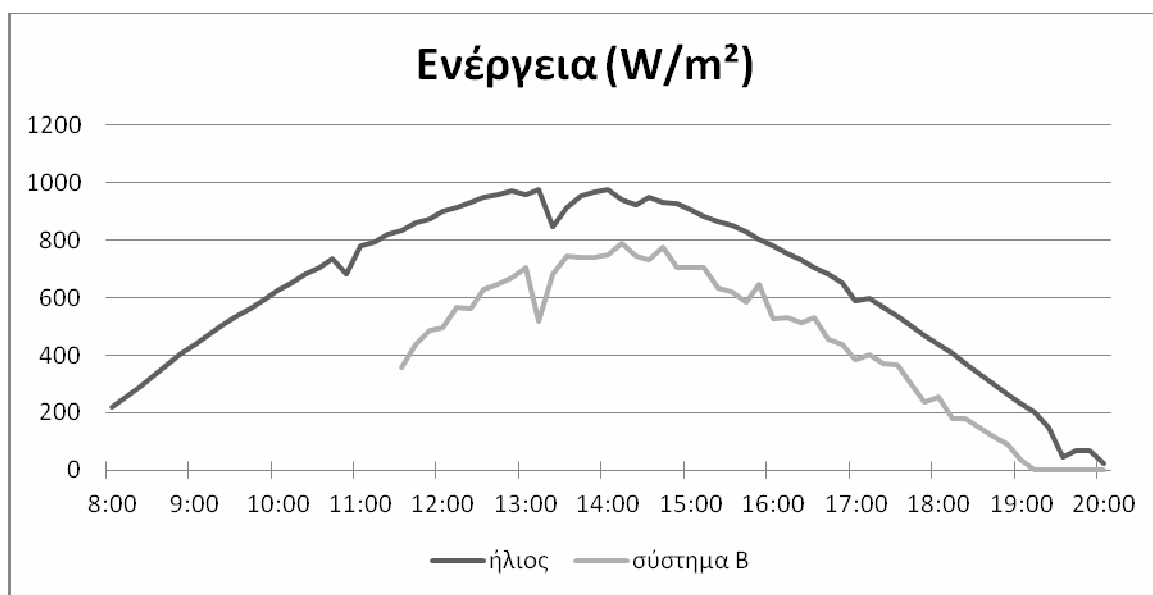
Ο υπολογισμός της αποδιδόμενης ενέργειας και της απόδοσης των διατάξεων έγινε σύμφωνα με τους τύπους που αναφέρεται στο σχετικό κεφάλαιο 1.10.1 της θεωρητικής προσέγγισης.

Για τον υπολογισμό της προσπίπτουσας ολικής ηλιακής ακτινοβολίας χρησιμοποιήθηκαν τα δεδομένα από την βάση δεδομένων Ενυδρίς του μετρητή ηλιακής ακτινοβολίας του τομέα Υδατικών Πόρων και Περιβάλλοντος του ΕΜΠ στην περιοχή του Ζωγράφου, Αθήνα (23.78743 , 37.97385, 219 μ.)

Στα γραφήματα που ακολουθεί φαίνεται η πορεία της προσπίπτουσας ολικής ηλιακής ακτινοβολίας στην περιοχή του Πολυτεχνείου του Ζωγράφου, Αθήνα (23.78743 , 37.97385, 219 μ.) και η αποδιδόμενη ενέργεια του συστήματος σε Watt ανά τετραγωνικό μέτρο στο σημείο μετρήσεων του Ζωγράφου (23.76463 , 37.97378, 168 μ.)



διάγραμμα 5.2. : Ολική ηλιακή ακτινοβολία ανά τετρ. μέτρο σε οριζόντιο επίπεδο της 29/04/2014 (W / m²) και αποδιδόμενη ενέργεια του συστήματος A



Διάγραμμα 5.2. : Ολική ηλιακή ακτινοβολία ανά τετρ. μέτρο σε οριζόντιο επίπεδο της 04/05/2014 (W / m²) και αποδιδόμενη ενέργεια του συστήματος B

	ΣΥΣΤΗΜΑ Α	ΣΥΣΤΗΜΑ Β
Περιγραφή	- επίστρωση μαύρης βαφής - μαύρος εύκαμπτος αεραγωγός αλουμινίου - κάλυμμα κυψελωτού πολυκαρβονικού φύλλου	- επίστρωση μαύρης βαφής - μαύρη λαμαρίνα - μαύρος εύκαμπτος αεραγωγός αλουμινίου - κάλυμμα κυψελωτού πολυκαρβονικού φύλλου - μόνωση εξηλασμένης πολυστερίνης
Κόστος Κατασκευής ανά τετρ. μέτρο	55 €	70 €
Ημερομηνία	29/04/2014	04/05/2014
Χρονική διάρκεια	11:00 – 20:00	11:30 – 20:00
Παροχή αέρα (m ³ /h)	160	180
Μέση θερμοκρασία περιβάλλοντος (°C)	23.4	24.6
Μέγιστη θερμοκρασία περιβάλλοντος (°C)	26.4	26.6
Μέγιστη Ηλιακή ακτινοβολία (Watt/m ²)	1015 @ 13:30	977 @ 14:00
Μέγιστη Απόδοση η	56.9 % @ 14:30	83.4 % @ 14:40
Ημερήσια Ολική Ηλιακή ακτινοβολία (kWh/m ²)	6.08	5.91
Ημερήσια Ενέργεια Συστήματος (kWh/m ²)	2.88	3.89
Ημερήσια Απόδοση Συστημάτων	47.4	65.8
Ημερήσια Απόδοση Βασικής διάταξης	22.4	21.4

2.6 Οικονομική αποτίμηση και κάλυψη αναγκών

Σύμφωνα με τα κλιματικά δεδομένα που αναφέρονται και στα σχετικά κεφάλαια της θεωρητικής προσέγγισης, για την Χειμερινή Περίοδο (Νοέμβριος – Απρίλιος) στην περιοχή της Αθήνας, η μέση συνολική προσπίπτουσα ηλιακή ενέργεια σε οριζόντιο επίπεδο είναι 541 kWh/m².

Συγκρίνοντας τα συστήματα Α και Β με αυτά της α) αντλίας θερμότητας με COP = 4 (δηλ. για 1 kWh θέρμανσης απαιτείται 0,25 kWh ηλεκτρικού ρεύματος) με κόστος ηλεκτρισμού

0,046 € / kWh και β) λέβητα πετρελαίου με κόστος καυσίμου 1,30 € / λίτρο προκύπτουν οι διάφοροι χρόνοι απόσβεσης όπως εμφανίζονται στους παρακάτω πίνακες.

Πίνακας 1 : Χρόνοι απόσβεσης Συστήματος Α (επίστροφή μαύρης βαφής, μαύρος αεραγωγός αλουμινίου και κάλυμμα πολυκαρβονικού φύλλου)

κλίση β (°)	0	90	45
χειμερινή Ηλιακή Ακτινοβολία (kWh/m ²)	541	564	710
Αποδιδόμενη Ενέργεια Συστήματος (kWh/m ²)	256	267	336
ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΜΕ ΑΝΤΛΙΑ ΘΕΡΜΟΤΗΤΑΣ (COP=4), 1 ηλεκτρ. kWh = 0,183 €			
Κόστος kWh αντλίας (€)	0,046	0,046	0,046
Ετήσιο Κέρδος ανά m ²	11,80 €	12,30 €	15,45 €
Έτη απόσβεσης	4,66	4,47	3,56
ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΜΕ ΛΕΒΗΤΑ ΠΕΤΡΕΛΑΙΟΥ, 1 lt πετρελαίου = 1,30 €			
Κόστος kWh λέβητα (€)	0,155	0,155	0,155
Ετήσιο Κέρδος ανά m ²	39,70 €	41,40 €	52,10 €
Έτη απόσβεσης	1,38	1,33	1,05

Πίνακας 2 : Χρόνοι απόσβεσης Συστήματος Β (επίστροφή μαύρης βαφής, μαύρος αεραγωγός αλουμινίου με μαύρη λαμαρίνα, κάλυμμα πολυκαρβονικού φύλλου και μόνωση εξηλ. πολυστερίνης)

κλίση β (°)	0	90	45
χειμερινή Ηλιακή Ακτινοβολία (kWh/m ²)	541	564	710
Αποδιδόμενη Ενέργεια Συστήματος (kWh/m ²)	356	371	467
ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΜΕ ΑΝΤΛΙΑ ΘΕΡΜΟΤΗΤΑΣ (COP=4), 1 ηλεκτρ. kWh = 0,183 €			
Κόστος kWh αντλίας (€)	0,046	0,046	0,046
Ετήσιο Κέρδος ανά m ²	16,40 €	17,05 €	21,50 €
Έτη απόσβεσης	4,26	4,10	3,25
ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΜΕ ΛΕΒΗΤΑ ΠΕΤΡΕΛΑΙΟΥ, 1 lt πετρελαίου = 1,30 €			
Κόστος kWh λέβητα (€)	0,155	0,155	0,155
Ετήσιο Κέρδος ανά m ²	55,20 €	57,50 €	72,40 €
Έτη απόσβεσης	1,27	1,22	0,96

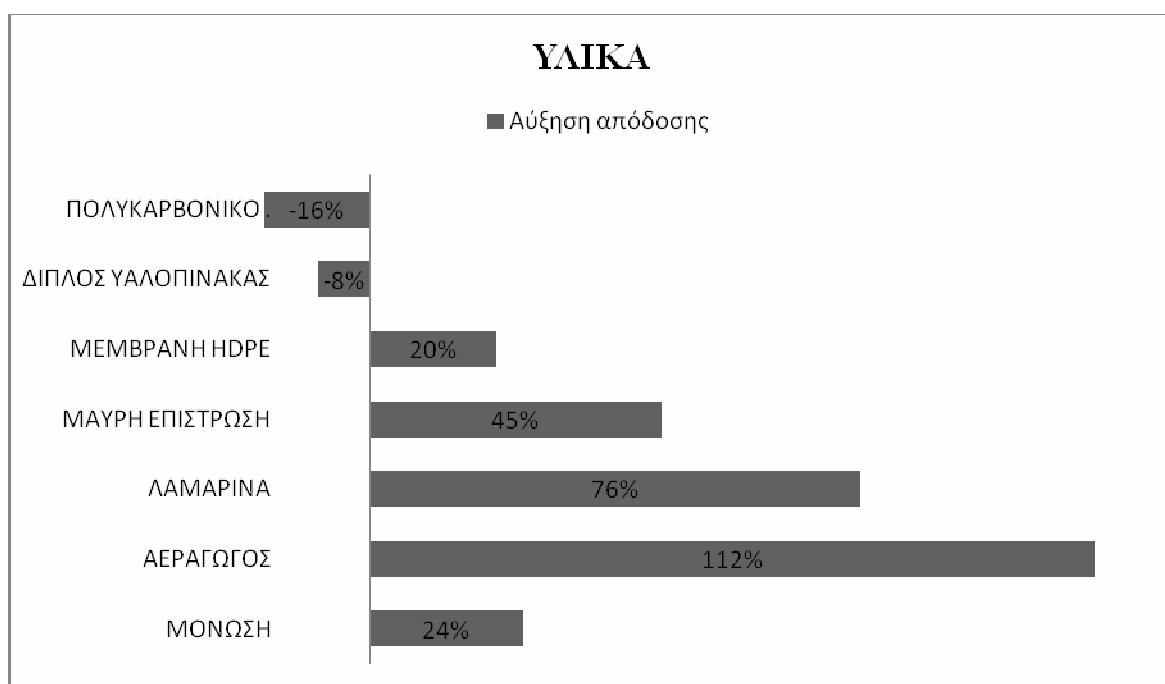
Δεδομένω μιας μέσης απόδοσης των ανωτέρω συστημάτων περίπου 60% και την εκτίμηση κατανάλωσης ενέργειας για την θέρμανση σε κτίρια κατοικιών, σύμφωνα με μελέτες όπως αυτή του Κ. Τ. Παπακώστα : « Εκτίμηση της κατανάλωσης ενέργειας για θέρμανση σε κτίρια κατοικιών στην Αθήνα και τη Θεσσαλονίκη », προκύπτει το αναγκαίο μέγεθος για να καλυφθούν οι ενεργειακές ανάγκες θέρμανσης κατοικήσιμης επιφάνειας, όπως εμφανίζονται στον παρακάτω πίνακα, για τις περιπτώσεις α) θερμομονωμένη μονοκατοικία με λόγο πλευρών 1:1.25 και β) θερμομονωμένη πενταόροφη πολυκατοικία με λόγο πλευρών διαμερισμάτων 1:1.25

κλίση β (°)	0	90	45
Θερμομονωμένη Μονοκατοικία με ποσοστό ανοιγμάτων 25%			
Κατανάλωση Ενέργειας (kWh/m ²)	90.1	90.1	90.1
Αποδιδόμενη Ενέργεια Συστήματος (kWh/m ²)	325	338	426
Επιφάνεια Συστήματος ανά κατοικήσιμη επιφάνεια	27.7 %	26,6 %	21.1 %
Θερμομονωμένη Πενταόροφη Πολυκατοικία με ποσοστό ανοιγμάτων 25%			
Κατανάλωση Ενέργειας (kWh/m ²)	34.2	34.2	34.2
Αποδιδόμενη Ενέργεια Συστήματος (kWh/m ²)	325	338	426
Επιφάνεια Συστήματος ανά κατοικήσιμη επιφάνεια	10.5 %	10.1 %	8 %

Αξίζει να σημειωθεί, ότι στην περίπτωση που το ποσοστό ανοιγμάτων είναι 35 % απαιτούνται 10% μεγαλύτερα συστήματα ενώ για την περιοχή της Θεσσαλονίκης τα μεγέθη που απαιτούνται είναι 40% περίπου μεγαλύτερα από την περιοχή της Αθήνας. Επίσης η απουσία θερμομόνωσης των κτιρίων διπλασιάζει σχεδόν τις ανάγκες τους.

2.7 Συμπεράσματα

Από την εξέταση των υλικών προέκυψαν αξιολογες αυξήσεις απόδοσης των διατάξεων όπως εμφανίζονται γραφικά στο διάγραμμα που ακολουθεί και επιβεβαιώθηκαν επίσης αναμενόμενες συμπεριφορές όπως αυτές των υλικών κάλυψης. Ιδιαίτερα υψηλή συνεισφορά έχει η χρήση του μαύρου εύκαμπτου αεραγωγού αλουμινίου ως υλικό απορροφητή, που ξεπερνά το 110% αύξηση απόδοσης. Έτσι, μπορεί να δημιουργηθεί ένα σύστημα ηλιακής θέρμανσης αέρα ιδιαίτερα αποδοτικό αλλά και φιλικό για τον άνθρωπο δεδομένου ότι ο αέρας που θερμαίνεται δεν έρχεται σε επαφή με άλλα υλικά εκτός του αλουμινίου.



Η ημερήσια απόδοση των συστημάτων που μπορούν να κατασκευαστούν με τα παραπάνω υλικά ξεπερνά το 60 %, φτάνοντας στιγμιαία και άνω του 83%. Τέτοιες αποδόσεις και σε συνάρτηση με την κλίση τοποθέτησης των συστημάτων προσφέρουν αφ' ενός γρήγορες αποσβέσεις που φτάνουν μέχρι και το ένα έτος, αφ' ετέρου μικρή σχετικά διαστασιολόγηση τέτοια ώστε τα συστήματα να είναι εφαρμόσιμα τόσο σε μονοκατοικίες (21% με κλίση 45°) όσο και σε πολυκατοικίες (10% με κλίση 90°).

Τέλος, ιδιαίτερο ενδιαφέρον θα παρουσίαζε η μελέτη της τοποθέτησης των συστημάτων αυτών πάνω από οριζόντια δομικά στοιχεία (πχ πλάκα δώματος) έτσι ώστε θα επιτυχάναμε αφ' ενός μεν τον χειμώνα αποθήκευση ενέργειας στην μάζα του δομικού στοιχείου που θα την ανακτούσαμε τις νυκτερινές ώρες και αφ' ετέρου το καλοκαίρι επιπλέον θερμομόνωση

απομακρύνοντας την ηλιακή ακτινοβολία από το κέλυφος του κτιρίου είτε μετατρέποντάς την σε άλλη μορφή ενέργειας (διαφορετικής της θερμότητας) με χρήση κατάλληλης μηχανής (Stirling) είτε αποθηκεύοντάς την σε κατάλληλα υλικά με σκοπό την χειμερινή εκμετάλλευση. Έτσι, το όφελος θα ήταν πολύ μεγαλύτερο αν αναλογιστούμε ότι η συνολική ηλιακή ακτινοβολία της θερινής περιόδου είναι κατά πολύ μεγαλύτερη της χειμερινής.



3 Βιβλιογραφία – Αναφορές

- [1] ΤΕΙ Καβάλας, Τμήμα Δασοπονίας και Διαχείρισης Φυσικού Περιβάλλοντος, Μάθημα Μετεωρολογίας – Κλιματολογίας. Υπεύθυνη : Δρ Μάρθα Λαζαρίδου – Αθανασιάδου
http://www.teidasoponias.gr/site/news/xtra/morfologia/iliaki_aktinovolvia.pdf
- [2] Διπλωματική Εργασία: Ενεργητικό ηλιακό σύστημα θέρμανσης χώρου με χρήση υλικών αλλαγής φάσης (PCM) σε εξωτερική δεξαμενή αποθήκευσης. Αποστόλου Γεωργία. ΕΜΠ. Τμήμα Μηχανολόγων Μηχανικών, Τομέας Θερμότητας. Επιβλέπων: Κίμων Αντωνόπουλος, Καθηγητής ΕΜΠ
- [3] ΚΛΙΜΑΤΙΚΑ ΔΕΔΟΜΕΝΑ ΕΛΛΗΝΙΚΩΝ ΠΕΡΙΟΧΩΝ, Τεχνική Οδηγία, Τεχνικού Επιμελητηρίου Ελλάδος, Τ.Ο.Τ.Ε.Ε. 20701-3/2010,
<http://www.helapco.gr/ims/file/installers/totee-klimatika.pdf>
- [4] http://el.wikipedia.org/wiki/Ηλιακή_ενέργεια
- [5] <http://forenergysaver.wordpress.com/2013/02/17/τρόποι-μετάδοσης-της-θερμότητας/>
- [6] Διπλωματική Εργασία: Μελέτη, κατασκευή και δοκιμές σε πραγματικές συνθήκες πολυκρυσταλλικού φωτοβολταϊκού πλαισίου και ανιχνευτή MPP για σύνδεση σε σύστημα συσσωρευτών για εφαρμογές χαμηλού κόστους. Αλεξάνδρα Καπετανάκη. Σχολή Ηλεκτρολόγων Μηχανικών και Μηχανικών Υπολογιστών. Τομέας Ηλεκτρικής Ισχύος. ΕΜΠ. Επιβλέπων: Νικόλαος Χατζηαργυρίου, Καθηγητής ΕΜΠ
- [7] Διπλωματική Εργασία: Βιοκλιματικός Σχεδιασμός, Ηλιακά Παθητικά Συστήματα και άλλες τεχνικές εξοικονόμησης ενέργειας στον κτιριακό τομέα. Μαρία Αργυράκη. Σχολή Μηχανολόγων Μηχανικών, Τομέας Θερμότητας, ΕΜΠ. Επιβλέπων: Κίμων Αντωνόπουλος, Καθηγητής ΕΜΠ
- [8] The Naked Scientists, “What loses heat fastest, a white or black surface?” Sat, 3rd Sep 2011 <http://www.thenakedscientists.com/HTML/questions/question/3136/>
- [9] Harrison 2004, Duffie 1991, ASHRAE 1993-2003, SUKHATME 1999, KOL 1998, M.Boles 2003, Αντωνόπουλου 2004, Buchinger 2006, UNI 8937 Italiana 1937, BANSAL 1983
- [10] www.cres.gr Κέντρο Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας
- [11] Διπλωματική Εργασία: Επίδραση Ηλιακής Ακτινοβολίας στην Εσωτερική Θερμική Άνεση Κτιρίων. Τσιμπάνος Παναγιώτης. Σχολή Μηχανολόγων Μηχανικών, Τομέας Θερμότητας. Επιβλέπων: Τζιβανίδης Χρήστος
- [12] Εφαρμογές των Υλικών Αλλαγής Φάσης στα Κτίρια, ECON – Economy Ecology Construction, www.econ3.gr

- [13] Μεταπτυχιακή Διατριβή: Σχεδιασμός και Κατασκευή Ηλιακού Συλλέκτη Αέρος. Κωνσταντίνος Κοντουδάκης. Τμήμα Αξιοποίησης Φυσικών Πόρων και Γεωργικής Μηχανικής. Γεωπονικό Πανεπιστήμιο Αθηνών. Επιβλέπων: Γ. Παπαδάκης
- [14] The Engineering Toolbox, www.engineeringtoolbox.com