



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ

Διατμηματικό Πρόγραμμα Μεταπτυχιακών Σπουδών

«Παραγωγή και Διαχείριση Ενέργειας»

ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

*«Έρευνα στην απόδοση ηλιακών χώρων και
ηλιακών φούρνων με τη συμβολή του
λογισμικού Energy+»*

Του Μεταπτυχιακού Φοιτητή

Λουκά Πέππα

Επιβλέπων

Ιωάννης Τζουβαδάκης, Αναπληρωτής Καθηγητής, Σχολή
Πολιτικών Μηχανικών, Ε.Μ.Π.

Ευχαριστίες

Οφείλω να εκφράσω τις θερμές μου ευχαριστίες στον επιβλέποντα καθηγητή της μεταπτυχιακής μου εργασίας, κ. Ιωάννη Τζουβαδάκη, Αναπληρωτή Καθηγητή της Σχολής Πολιτικών Μηχανικών του Ε.Μ.Π. για την ανάθεση του θέματος και για τη βοήθεια που μου προσέφερε καθ' όλο το διάστημα εκπόνησης της εργασίας αυτής.

Ξεχωριστή μνεία θα ήθελα να κάνω στον κ. Τζιβανίδη, Επίκουρο Καθηγητή της Σχολής Μηχανολόγων Μηχανικών του Ε.Μ.Π. για την καθοδήγηση και την ενθάρρυνση που μου παρείχε για την επιτυχή ολοκλήρωση της εργασίας.

Τέλος, θα ήθελα να ευχαριστήσω τους φίλους μου, και ειδικά τους συμφοιτητές μου για τις χρήσιμες συμβουλές τους και την αμέριστη υποστήριξη τους σε όλη τη διάρκεια του μεταπτυχιακού προγράμματος. Το μεγαλύτερο ευχαριστώ όμως το χρωστώ στην οικογένεια μου για την υποστήριξη που μου πρόσφερε καθ' όλη τη διάρκεια των σπουδών μου και που σε αυτήν οφείλω τη διαδρομή που έχω διανύσει μέχρι σήμερα.

ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ: «Έρευνα στην απόδοση ηλιακών χώρων και ηλιακών φούρνων με τη συμβολή του λογισμικού Energy+»

ΦΟΙΤΗΤΗΣ: Λουκάς Πέππας

ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ: Ιωάννης Τζουβαδάκης, Αναπληρωτής Καθηγητής,
Σχολή Πολιτικών Μηχανικών, Ε.Μ.Π.

ΑΚΑΔΗΜΑΙΚΟ ΕΤΟΣ: 2015 - 2016

Σύνοψη

Η αξιολόγηση της ενεργειακής απόδοσης ενός ηλιακού χώρου γενικά και ειδικά ενός ηλιακού φούρνου είναι άμεσα συνυφασμένη με τεχνικές εξοικονόμησης ενέργειας και αποθήκευσης ενέργειας. Σε μια εποχή ενεργειακής εξάρτησης, ο ήλιος μπορεί να προσφέρει την ενεργειακή ανεξαρτησία που κάθε χώρα θέλει. Η χώρα που ζούμε, η Ελλάδα, λόγω της γεωγραφικής της θέσης είναι ευλογημένη διότι η ηλιακή ακτινοβολία προσπίπτει στις επιφάνειες της σχεδόν όλες τις μέρες του χρόνου. Μια από τις πιο ενεργοβόρες καθημερινές διαδικασίες είναι το μαγείρεμα. Οι ηλιακοί φούρνοι έρχονται να προσφέρουν λύση σε αυτό πρόβλημα. Σε αυτή την εργασία μελετούμε την απόδοση των ηλιακών φούρνων. Εξετάζουμε τη σχέση της απόδοσης με διάφορες παραμέτρους, όπως ο όγκος και το σχήμα του ηλιακού φούρνου, ο συντελεστής ανάκλασης του υαλοπίνακα του φούρνου και άλλα. Ο σχεδιασμός των μοντέλων έγινε με την βοήθεια του λογισμικού SketchUp. Μέσω της πλατφόρμας OpenStudio εισήχθη η απαραίτητη γεωμετρία στο λογισμικό Energy+. Σε αυτό το λογισμικό εισήχθησαν οι διάφοροι παράμετροι και έγιναν οι προσομοιώσεις. Το λογισμικό Energy+ προσφέρει τα απαραίτητα εργαλεία για να μπορέσουμε να καταλήξουμε σε αξιόπιστα αποτελέσματα.

Περίληψη

Η παρούσα μεταπτυχιακή εργασία ασχολείται με την θερμική απόδοση των ηλιακών φούρνων. Γίνεται περιγραφή των διαφόρων παραμέτρων που χρησιμοποιήθηκαν, όπως ο όγκος και το σχήμα του ηλιακού φούρνου, ο συντελεστής ανάκλασης του υαλοπίνακα και άλλα. Στη συνέχεια γίνεται η μελέτη αυτών των παραμέτρων και ερευνάται η επίδραση που προκαλούν στην απόδοση του φούρνου. Για τον σχεδιασμό των μοντέλων χρησιμοποιήθηκε το λογισμικό SketchUp και για την μελέτη αυτών των παραμέτρων χρησιμοποιήθηκε το ενεργειακό λογισμικό Energy+.

Στο πρώτο κεφάλαιο της εργασίας γίνεται η εισαγωγή στην ηλιακή ενέργεια. Γίνεται περιγραφή της και αναλύεται το κατά πόσο η αιεφορία της μπορεί να οδηγήσει σε ενεργειακή ανεξαρτησία. Στη συνέχεια περιγράφουμε την ηλιακή ακτινοβολία και κάποιες βασικές έννοιες που την ακολουθούν, όπως και τις διάφορες κατηγορίες στις οποίες χωρίζεται. Τέλος, σε αυτό το κεφάλαιο γίνεται περιγραφή των τρόπων χρήσης της ηλιακής ενέργειας.

Στο δεύτερο κεφάλαιο η εργασία ασχολείται με τους ηλιακούς φούρνους. Γίνεται περιγραφή της γεωμετρίας των διαφόρων τύπων που υπάρχουν και αναλύεται ο τρόπος με τον οποίο συλλέγουν την ηλιακή ακτινοβολία και τη συγκεντρώνουν σε ένα συγκεκριμένο σημείο με σκοπό την παραγωγή θερμικής ενέργειας. Στη συνέχεια αναλύονται οι παράγοντες που οδηγούν σε μεγαλύτερα θερμικά οφέλη και σε μικρότερες θερμικές απώλειες. Τέλος, γίνεται περιγραφή των υλικών αλλαγής φάσης (PCM), τα οποία μπορούν να προσφέρουν βοήθεια στο δύσκολο πεδίο, που ονομάζεται αποθήκευση θερμικής ενέργειας.

Στο τρίτο κεφάλαιο γίνεται η εισαγωγή στο λογισμικό Energy+. Επίσης γίνεται περιγραφή των βασικών κατηγοριών του λογισμικού, με σκοπό να προσφέρει στον μελετητή μια μεγαλύτερη εξοικείωση στο συγκεκριμένο ενεργειακό λογισμικό.

Στο τέταρτο κεφάλαιο περιγράφονται αναλυτικά τα διάφορα στάδια της προσομοίωσης. Η περιγραφή ξεκινάει με τον σχεδιασμό των μοντέλων με το λογισμικό SketchUp και συνεχίζεται με την εισαγωγή των διαφόρων παραμέτρων με το πρόγραμμα Energy+.

Στο πέμπτο κεφάλαιο γίνεται η ανάλυση των αποτελεσμάτων της προσομοίωσης και στο έκτο και τελευταίο γίνεται η έκθεση των συμπερασμάτων από τη μελέτη της απόδοσης των ηλιακών φούρνων.

POST-GRADUATE THESIS**«Performance analysis of sunspaces and solar ovens with Energy+»****STUDENT****Loukas Peppas****SUPERVISOR****Ioannis Tzouvadakis, Associate Professor,
School of Civil Engineering, NTUA****ACADEMIC YEAR****2015 – 2016****Abstract**

The assessment of the energy performance of a sunspace in general and in specific of a solar oven is directly related to the development of energy saving and storage techniques. In a time of energy dependency, the sun can offer the energy independence that every country wants. The country we live in, Greece, is blessed of its geographical position because the sun radiation covers its surfaces nearly all year long. One of the most energy costing procedures is cooking. The solar ovens can bring a solution to this problem. In this Thesis we study the energy performance of solar ovens. We examine the relation between performance and some parameters, such as volume and space of solar ovens, the reflection coefficient of glass cover etc. The SketchUp program helped us with the design of the models. The input of necessary geometry to Energy+ program was done through the OpenStudio platform. The entry of several parameters and the simulation was done with Energy+ program.

Summary

This Thesis we study the thermal performance of solar ovens. We describe the several parameters we used, such as volume and shape of solar oven, the reflection coefficient of glass cover etc. We study these parameters and examine the reaction they cause in solar oven's performance. SketchUp program was used for the design of models and the Energy+ program used for the examination of those parameters.

In the first chapter we have an introduction to solar energy. We describe solar energy and examine the relation between solar energy sustainability and energy independence. Furthermore, we have the description of solar radiation and some basic concepts that follow, as well as the subcategories the solar radiation is divided. In the end of this chapter, we have the description of solar energy applications.

In the second chapter, this Thesis study solar ovens. We have the description of the geometry of their categories and we analyze the way which they collect the solar radiation and how they concentrate it to a specific point in order to achieve thermal energy. Moreover, we describe the factors that lead to more heat gains and less heat losses. In the end of the chapter, we have the description of phase change materials (PCM), which are great assets to thermal energy storage field.

In the third chapter we have the introduction to Energy+ program. Also we have the description of program's classes, in order to give the student a greater familiarity with Energy+.

In the fourth chapter we describe excessively the simulation's steps. The description begins with the design of models with SketchUp program and continues with the introduction of several parameters, that is done with Energy+ program.

In the fifth chapter we have the simulation's results analysis and in the sixth and final chapter we have the conclusions of this performance analysis of solar ovens.

ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΩΝ

1. ΗΛΙΑΚΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑ	7
1.1 Εισαγωγή.....	7
1.2 Ιστορική αναδρομή	8
1.3 Ηλιακή ακτινοβολία	10
1.3.1 Γενικά.....	10
1.3.2 Ηλιακή σταθερά	11
1.3.3 Κατανομή της ηλιακής ακτινοβολίας στο φάσμα της συχνότητας	12
1.3.4 Διακύμανση της ακτινοβολίας	12
1.3.5 Ηλιακός χρόνος	13
1.3.6 Βασικές έννοιες	13
1.3.7 Ολική, άμεση και διάχυτη ακτινοβολία	14
1.3.8 Απορρόφηση της ηλιακής ακτινοβολίας.....	15
1.4 Τρόποι χρήσης της ηλιακής ενέργειας	16
1.4.1 Θερμότητα.....	16
1.4.2 Ηλεκτρισμός.....	17
1.5 Πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα	18
1.5.1 Πλεονεκτήματα	18
1.5.2 Μειονεκτήματα	18
2. ΗΛΙΑΚΟΣ ΦΟΥΡΝΟΣ.....	19
2.1 Εισαγωγή.....	19
2.2 Ιστορική αναδρομή	19
2.3 Τύποι ηλιακών φούρνων	21
2.3.1 Ηλιακοί φούρνοι με ανακλαστήρες.....	21
2.3.2 Ηλιακοί φούρνοι τύπου κουτιού	21
2.3.3 Ηλιακοί φούρνοι με παραβολικό ανακλαστήρα.....	22
2.4 Βασικές αρχές λειτουργίας.....	23
2.4.1 Θερμικά κέρδη	23
2.4.2 Θερμικές απώλειες	25
2.4.3 Αποθήκευση θερμότητας	26
2.5 Συστήματα αποθήκευσης ενέργειας.....	26
2.5.1 Αισθητή θερμότητα.....	27
2.5.2 Λανθάνουσα θερμότητα.....	27
2.5.3 Πτερύγια.....	28
2.6 Υλικό αλλαγής φάσης (PCM)	28
2.6.1 Ο κύκλος του PCM	29
3. ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΤΟΥ ΛΟΓΙΣΜΙΚΟΥ ENERGYPLUS	31
3.1 Γενικά.....	31
3.2 Καταγραφή και ανάλυση των κατηγοριών δεδομένων εισόδου	31
4. ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗ ΜΕ ΤΟ ΛΟΓΙΣΜΙΚΟ ENERGYPLUS	35
4.1 Σχεδιασμός με την βοήθεια των λογισμικών SketchUp και OpenStudio	35
4.1.1 Σχεδιασμός των επίπεδων ηλιακών φούρνων	36
4.1.2 Σχεδιασμός του κεκλιμένου ηλιακού φούρνου	37
4.2 Εισαγωγή δεδομένων με το Idf Editor	38
4.2.1 Simulation Parameters.....	39
4.2.2 Location and Climate	39
4.2.3 Schedules.....	40
4.2.4 Surface Construction Elements	41
4.2.5 Thermal Zones and Surfaces	42

4.2.6 Output Reporting.....	44
4.3 Προσομοίωση με το EP – Launch.....	44
4.4 Παραμετροποίηση.....	46
4.4.1 Μέγεθος και σχήμα ηλιακού φούρνου.....	46
4.4.2 Ανακλαστικότητα του εξωτερικού υαλοπίνακα.....	46
4.4.3 Χρήση διαφορετικής μόνωσης.....	47
4.4.4 Χρήση ή όχι ανακλαστικών εσωτερικών τοιχωμάτων.....	47
4.4.5 Χρήση διαφορετικών υλικών για το δάπεδο του φούρνου.....	48
4.4.6 Χρήση περισσότερων στρώσεων υαλοπινάκων.....	48
5. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗΣ.....	49
5.1 Αποτελέσματα με βάση τη παράμετρο του μεγέθους.....	50
5.1.1 Θερμοκρασία αέρα φούρνου.....	50
5.1.2 Θερμοκρασία δαπέδου.....	51
5.1.3 Ηλιακή ακτινοβολία.....	52
5.2 Παραμετροποίηση του 2 ^{ου} κεκλιμένου φούρνου.....	53
5.2.1 Υλικό εσωτερικής επιφάνειας.....	54
5.2.2 Μονωτικό υλικό.....	55
5.2.3 Υλικό δαπέδου.....	56
5.2.4 Συντελεστής ανάκλασης ακτινοβολίας εξωτερικού υαλοπίνακα.....	57
5.2.5 Αριθμός στρώσεων υαλοπίνακα.....	58
6. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ.....	59
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....	63

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1

ΗΛΙΑΚΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑ

1.1 Εισαγωγή

Η ενέργεια είναι μια θερμοδυναμική ποσότητα, η οποία μπορεί να κατανοηθεί ως η ποσότητα ενός φυσικού συστήματος για να μπορέσει να λειτουργήσει. Πέρα από αυτή την εξήγηση, η ενέργεια είναι απαραίτητη για να μπορέσει να υπάρξει διαδραστικότητα με το περιβάλλον.^[1] Η έρευνα για την επίλυση προβλημάτων που σχετίζονται με την ενέργεια είναι αρκετά σημαντική από τη στιγμή που η καθημερινότητα μας επηρεάζεται άμεσα από την ενέργεια και από τη κατανάλωση της.

Τα ενεργειακά αποθέματα που βασίζονται στα ορυκτά καύσιμα ακόμα κυριαρχούν στην παγκόσμια ενεργειακή κατανάλωση. Ωστόσο, η χρήση καθαρών μορφών ενέργειας γίνεται όλο και πιο σημαντική μέρα με τη μέρα, λόγω των αναδυόμενων περιβαλλοντολογικών προβλημάτων που βγαίνουν στην επιφάνεια. Αυτή τη στιγμή τα ενεργειακά αποθέματα που προέρχονται από ανανεώσιμες μορφές ενέργειας καλύπτουν το 14% της παγκόσμιας ζήτησης. Ανάμεσα στις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας, η ηλιακή ενέργεια θεωρείται η πιο πολλά υποσχόμενη.^[2]

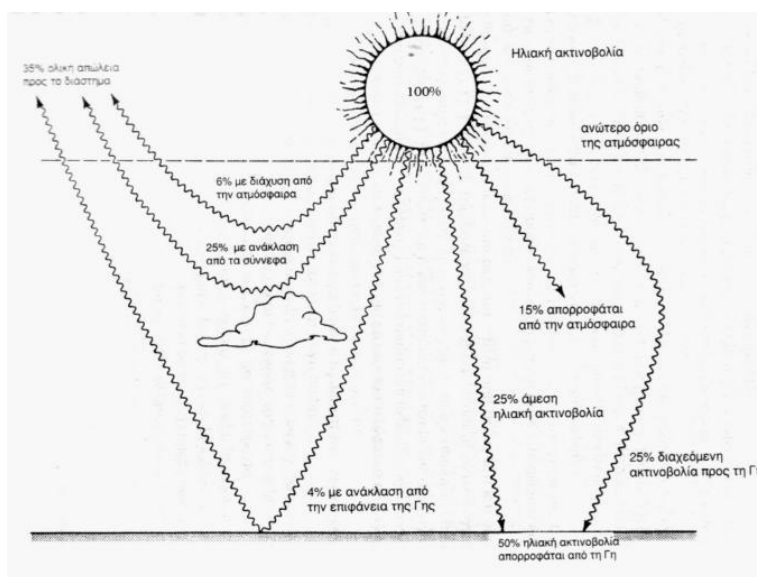
Ο ήλιος είναι η βασική πηγή ενέργειας που τροφοδοτεί το κλίμα και το οικοσύστημα του πλανήτη Γη. Η ενέργεια που απελευθερώνεται στον πυρήνα του, από τη σύντηξη του υδρογόνου και τη μετατροπή του σε ήλιο, ακτινοβολείται προς όλες τις κατευθύνσεις στο διάστημα. Αυτό συμβαίνει για 5 δισεκατομμύρια χρόνια και όμως ακόμα αποτελείται από 70% υδρογόνο. Συνεπώς, η ενέργεια του θα μας προσφέρει ζωή για πολλά εκατομμύρια χρόνια ακόμα.

Η ηλιακή ακτινοβολία που εισέρχεται στην ατμόσφαιρα της γης, προκαλεί την εξάτμιση του νερού, κινεί τον αέρα και τα θαλάσσια ρεύματα και δημιουργεί τα καιρικά φαινόμενα. Μετασχηματίζεται με τη διαδικασία της φωτοσύνθεσης σε χημική, είναι υπεύθυνη για τη βιωσιμότητα των διαφόρων οργανισμών και τέλος στο πέραςμα των αιώνων έχει δημιουργήσει τα ορυκτά καύσιμα.

Η ηλιακή ακτινοβολία που εισέρχεται στα άνω όρια της ατμόσφαιρας είναι παντού σταθερή. Αυτό δεν ισχύει όμως για την ηλιακή ακτινοβολία που φτάνει στο έδαφος. Οι παράγοντες από τους οποίους εξαρτάται είναι, η εποχή του έτους, η ώρα της ημέρας, η παρουσία σύννεφων, ομίχλης και σκόνης και φυσικά από τη γωνία πρόσπτωσης της. Όσο μικρότερη είναι η γωνία πρόσπτωσης, τόσο περισσότερο είναι εξασθενημένη η ηλιακή ακτινοβολία που φτάνει στο έδαφος. Αυτός είναι ο σημαντικότερος παράγοντας. Από αυτή την οπτική γωνία, η Ελλάδα γεωγραφικά βρίσκεται σε πολύ ευνοϊκή θέση. Στο μεγαλύτερο τμήμα της, η ηλιοφάνεια διαρκεί περισσότερες από 2700 ώρες ετησίως. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα να είναι οικονομικά επωφέλης η εκμετάλλευση της ηλιακής ακτινοβολίας.

Αξιοποιώντας αυτή την ενέργεια για ζεστό νερό και ηλεκτρικό ρεύμα θα μπορούσε να μας παρέχει μια ανανεώσιμη και χαμηλή σε άνθρακα ηλεκτρική ενέργεια. Επίσης μας παρουσιάζει και έναν ελκυστικό τρόπο καταπολέμησης της κλιματικής αλλαγής. Στις αναπτυσσόμενες χώρες, οι τεχνολογίες που βασίζονται στην ηλεκτρική ενέργεια, βρίσκονται ήδη σε χρήση για να ενισχύσουν τη ποιότητα ζωής. Είναι μια φυσική επιλογή όταν η εισροή ηλεκτρικής ενέργειας είναι μεγάλη και οι υπηρεσίες του δικτύου ηλεκτρικής ενέργειας είναι περιορισμένες ή μη διαθέσιμες. Στις ανεπτυγμένες χώρες, η ηλιακή ενέργεια φαίνεται λιγότερο ελκυστική από τις συμβατικές πηγές ενέργειας λόγω της διαλείπουσας φύσης της, αλλά με τη χρήση των σωστών τεχνολογιών, μπορεί να αποφέρει σημαντικά οφέλη, όπως μειωμένες εκπομπές άνθρακα και μεγαλύτερη ενεργειακή ασφάλεια.^[3]

Η ηλιακή ενέργεια είναι η μεγαλύτερη σε αφθονία ενέργεια που έχουμε στον πλανήτη Γη. Ακόμα και αν λάβουμε υπόψη τις μεταβολές του καιρού, ο μέσος όρος ηλιακής ενέργειας που λαμβάνεται από τις ηπείρους μόνο φτάνει τα 23 εκατομμύρια gigawatts. Η ηλιακή ενέργεια ξεπερνάει με τεράστια διαφορά όλες τις άλλες μορφές ανανεώσιμων πηγών ενέργειας μαζί, συμπεριλαμβανομένου της αιολικής, της υδροηλεκτρικής και της γεωθερμίας. Τα αποθέματα του συνόλου των μη ανανεώσιμων πηγών ενέργειας, όπως πυρηνικά και ορυκτά, δεν φτάνουν για να παράγουν την ενέργεια που αποδίδει ο ήλιος σε ένα χρόνο.^[4]



Σχήμα 1.1. Η ποσοστιαία κατανομή της ηλιακής ακτινοβολίας που εισέρχεται στη Γη

1.2 Ιστορική αναδρομή

Η ιδέα του να χρησιμοποιηθεί ο ήλιος ως πηγή ενέργειας για θέρμανση και φωτισμό ήρθε διαισθητικά στους ανθρώπους. Παθητικά συστήματα ηλεκτρικής ενέργειας για λόγους θέρμανσης και φωτισμού χρησιμοποιούνται από την αρχή της ανθρωπότητας. Τον 5^ο αιώνα π.Χ. οι αρχαίοι Έλληνες χτίζανε με τέτοιο τρόπο τα σπίτια τους έτσι ώστε να εγκλωβίζουν την θερμότητα του ήλιου κατά τη διάρκεια του χειμώνα. Αργότερα, οι Ρωμαίοι αναβάθμισαν την αρχιτεκτονική των

σπιτιών σε σχέση με τον ήλιο, καλύπτοντας τα παράθυρα στις νότιες πλευρές των σπιτιών με καθαρά υλικά, όπως η μίκα ή το γυαλί, τα οποία είχαν την ικανότητα να εμποδίζουν την εγκλωβισμένη ηλιακή θερμότητα κατά τη διάρκεια της ημέρας να ξεφεύγει. Τη δεκαετία του 1760, ο Ελβετός επιστήμονας Horace de Saussure έχτισε ένα μονωτικό τετράγωνο κουτί που είχε κάλυψη από γυαλί. Αυτό η κατασκευή υπήρξε το πρωτότυπο για τους ηλιακούς συλλέκτες που χρησιμοποιούνται για τη θέρμανση του νερού.^[5]

Κατά τη διάρκεια του 19^{ου} αιώνα, Αμερικάνοι και Ευρωπαίοι επιστήμονες ανέπτυξαν τεχνολογίες πάνω στην ηλιακή ενέργεια, οι οποίες υπήρξαν η βάση των σύγχρονων σχεδιασμών. Το 1839 ο Edmund Becquerel σε ηλικία 19 ετών, ανακάλυψε το τρόπο λειτουργίας των φωτοβολταϊκών, ενώ πειραματιζόταν με μια ηλεκτρολυτική κυψέλη, η οποία ήταν φτιαγμένη με δύο μεταλλικά ηλεκτρόδια. Ουσιαστικά ανακάλυψε ότι κάποια υλικά παράγουν μικρές ποσότητες ηλεκτρικού ρεύματος κατά την έκθεση τους στο ηλιακό φως.^[6]

Λίγα χρόνια αργότερα, το 1878, ανακαλύφθηκε από τον Γάλλο μαθηματικό August Mouchet μια ατμομηχανή που χρησιμοποιούσε ως ενέργεια τον ήλιο. Αξίζει να σημειωθεί πως χρηματοδοτήθηκε από τη γαλλική κυβέρνηση για να δουλέψει πάνω σε εναλλακτικές μορφές ενέργειας.^[7] Δημιούργησε την πρώτη εγκατάσταση με ηλιακούς ατμοπαραγωγούς χρησιμοποιώντας παραβολικούς συλλέκτες φωτός. Τις επόμενες δεκαετίες υπήρξε τεράστιο ενδιαφέρον πάνω στην ηλιακή ενέργεια. Υπολογίζεται πως μεταξύ του 1880 και του 1914 δημοσιεύτηκαν σχεδόν 50 άρθρα πάνω στην ηλιακή ενέργεια από το αναγνωρισμένο αμερικάνικο επιστημονικό περιοδικό Scientific American.^[8]

Ένα άλλο θέμα ήταν η εμπορική χρήση της ηλιακής ενέργειας την εποχή που τα στερεά καύσιμα ήταν πολύ φθηνά και τα μειονεκτήματά τους δεν είχαν ανέλθει ακόμα στην επιφάνεια. Οι πρώτοι επιχειρηματίες που επένδυσαν στην ηλιακή ενέργεια το έκαναν σε τοπικό επίπεδο, δηλαδή σε περιοχές που είχαν άφθονο ήλιο τις περισσότερες μέρες του χρόνου και έλλειψη σε στερεά καύσιμα. Οι πρώτες συσκευές θέρμανσης νερού ήταν απλά δεξαμενές με νερό στραμμένες προς τον ήλιο. Το 1891, ο Clarence Kemp αναβάθμισε αυτές τις συσκευές απλά βάζοντας αυτές τις δεξαμενές σε κουτιά από πεύκο, τα οποία κλείνανε με γυαλί έτσι ώστε να παγιδεύεται η θερμότητα.^[9]

Το 1908, ο William J. Bailey ανακάλυψε τον ηλιακό θερμικό συσσωρευτή. Διαχώρισε τον ηλιακό θερμαστή νερού σε δύο μέρη, το στοιχείο της θέρμανσης που είναι εκτεθειμένο στον ήλιο και έναν μονωμένο αποθηκευτικό χώρο τοποθετημένο μέσα στο σπίτι, έτσι ώστε οι οικογένειες να έχουν όλη την ημέρα ζεστό νερό. Από το 1909 έως το 1918 κατάφερε και πούλησε πάνω από 4000 ηλιακούς θερμικούς συσσωρευτές.

Ένας άλλος επιχειρηματίας, ο Aubrey Eneas χρησιμοποίησε έναν κωνικό ανακλαστήρα με σκοπό να ζεσταίνεται το νερό περισσότερο ομοιόμορφα και αποτελεσματικά, έτσι ώστε να παράγεται μεγαλύτερη ποσότητα ατμού. Ο ατμός αυτός χρησιμοποιούταν για άρδευση νερού για αγροτικούς σκοπούς σε περιοχές που ήταν δύσκολη η πρόσβαση στο κάρβουνο. Οι συλλέκτες αυτοί όμως

αποδείχθηκαν ότι δεν είχαν αντοχή απέναντι στο χαλάζι και στους ισχυρούς ανέμους, οπότε και αποσύρθηκε από τον τομέα της ηλεκτρικής ενέργειας λόγω υψηλού κόστους.^[10]

Η μεγαλύτερη πρόοδος στη χρήση της ηλιακής ενέργειας έγινε από τον Αμερικανό Frank Shuman, ο οποίος έμαθε από τις προηγούμενες αποτυχίες και δημιούργησε μια απλούστερη, στιβαρότερη και λιγότερη ακριβή ηλιακή μηχανή από αυτή του Eneas. Το αποτέλεσμα ήταν να γεμίσει μια περιοχή σχεδόν ενός τετραγωνικού χιλιομέτρου με ηλιακούς συλλέκτες, οι οποίοι παρήγαγαν περίπου 272 κιλά ατμού και δίναν 25 ίππους, σε σημείο να μπορούν να αντληθούν σχεδόν 11.500 λίτρα το λεπτό από ένα ύψος 10 μέτρων. Στη συνέχεια δημιούργησε ατμοπαραγωγούς 10.000 ίππων, οι οποίοι έπαιρναν ενέργεια από ηλιακούς συλλέκτες που κάλυπταν περιοχή 60 στρεμμάτων.

Το 1911 δήλωσε στο περιοδικό Scientific American ότι «η μελλοντική ανάπτυξη της ηλιακής ενέργειας δεν έχει όρια».^[11] Τα φιλόδοξα σχέδια του τελείωσαν με την έναρξη του Πρώτου Παγκοσμίου Πολέμου. Το εργοστάσιο του αποσυντέθηκε για μέταλλα και εξαρτήματα.^[12] Επίσης μετά το τέλος του πολέμου, όπως και μετά το κραχ του 1929, οι τιμή των στερεών καυσίμων έπεσε, εμποδίζοντας έτσι την ανάπτυξη οποιαδήποτε άλλης μορφής ενέργειας.^[13]

Τα πρώτα σπίτια με χρήση παθητικών συστημάτων ηλιακής ενέργειας χτίστηκαν στη Γερμανία μετά τον Πρώτο Παγκόσμιο Πόλεμο, λόγω του ότι οι συμμαχικές δυνάμεις είχαν κάνει κατάληψη σε όλα τα γερμανικά ανθρακωρυχεία. Τη δεκαετία του 1930, ο Αμερικανός αρχιτέκτονας George F. Keck σχεδίασε ένα πλήρως γυάλινο σπίτι, το οποίο το ονόμασε «το σπίτι του μέλλοντος».^[14] Παρατήρησε λοιπόν ότι το σπίτι ήταν ζεστό εσωτερικά τις ηλιόλουστες χειμερινές μέρες, πριν την εγκατάσταση του φούρνου. Το 1940 σχεδίασε ένα τέτοιο σπίτι για τον μεσίτη Howard Sloan, στο οποίο έδωσε και το όνομα του. Στη συνέχεια σχεδίασε και έχτισε πάρα πολλά τέτοια σπίτια, κάτι που οδήγησε στο «κίνημα των ηλιακών σπιτιών» του 1940.^[15]

Η έννοια της ενεργειακής απόδοσης ήρθε στην Αμερική κατά τη διάρκεια του Δευτέρου Παγκοσμίου Πολέμου, όταν και υπήρξαν ενεργειακές ελλείψεις. Παράλληλα η τεχνολογία του γυαλιού βελτιώνεται, το οποίο επιτρέπει στους κατασκευαστές να χρησιμοποιούν διπλό γυαλί στα παράθυρα με σκοπό να μειωθούν ακόμα περισσότερο οι απώλειες θερμότητας.^[16] Η παθητική ηλιακή ενέργεια ήταν το αντικείμενο πολλών μοντέρνων αρχιτεκτόνων που απέκτησαν στα μέσα του 20^{ου} αιώνα μεγάλη επιρροή, όπως ο Carl Koch και ο Felix Trombe.

1.3 Ηλιακή ακτινοβολία

1.3.1 Γενικά

Ο ήλιος είναι μια σφαίρα αποτελούμενη από πυκνή και καυτή αέρια ύλη διαμέτρου $1,39 \times 10^9$ μέτρα και η μέση του απόσταση από τον πλανήτη Γη είναι $1,5 \times 10^{11}$ μέτρα. Περιστρέφεται γύρω από το άξονα του μια φορά κάθε τέσσερις βδομάδες. Το περίεργο είναι ότι δεν περιστρέφεται σαν

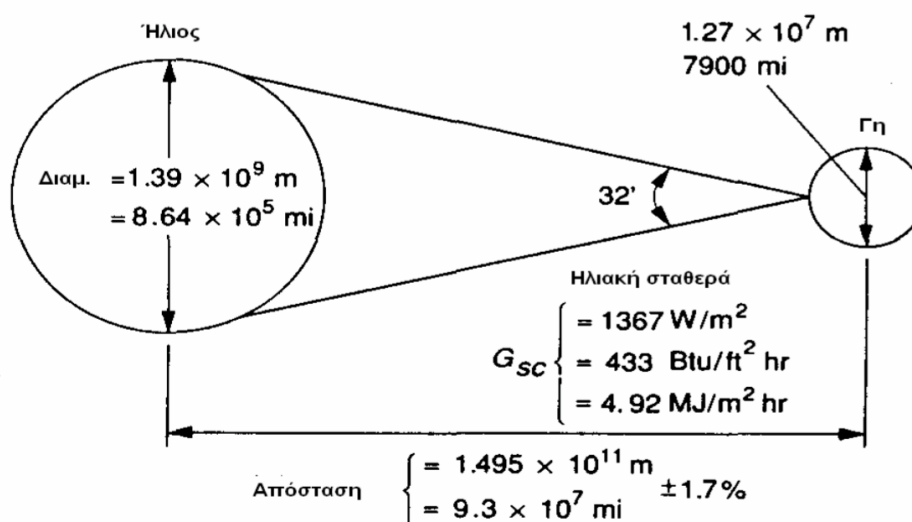
ένα συμπαγές στερεό σώμα. Αυτό σημαίνει ότι ο ισημερινός του περιστρέφεται σε 27 μέρες, ενώ οι πόλοι του σε 30 μέρες περίπου.

Έχει μια ενεργή θερμοκρασία μέλανος σώματος στους 5777K. Η θερμοκρασία στο κεντρικό εσωτερικό του μέρος υπολογίζεται μεταξύ 8×10^6 και 40×10^6 K. Η πυκνότητα του είναι 100 φορές μεγαλύτερη από αυτή του νερού. Ο ήλιος ουσιαστικά είναι ένας αντιδραστήρας σύντηξης, με τα αέρια που τον απαρτίζουν να αποτελούν το «κέρυφος», το οποίο συντηρείται λόγω των βαρυτικών δυνάμεων. Η κυρίαρχη θεωρία για την αντίδραση σύντηξης λέει ότι 2 άτομα υδρογόνου ενώνονται σε ένα άτομο ηλίου. Η μάζα του ηλίου που προκύπτει είναι λιγότερη από τα τέσσερα αρχικά πρωτόνια, οπότε η απώλεια της μάζας αυτής μετατρέπεται σε ενέργεια.

Η ενέργεια που παράγεται στο εσωτερικό της ηλιακής σφαίρας, σε θερμοκρασίες πολλών εκατομμυρίων βαθμών Kelvin, πρέπει να μεταφερθεί στην επιφάνεια και εν συνεχεία να ακτινοβοληθεί στο διάστημα. Μια διαδοχική διαδικασία ακτινοβολίας και συναγωγής συμβαίνει με διαδοχική εκπομπή, απορρόφηση και ξανά ακτινοβολήση. Η ακτινοβολία στον πυρήνα του ήλιου είναι στο φάσμα των ακτίνων X και γ, με το μήκος κύματος της ακτινοβολίας να μεγαλώνει όσο η θερμοκρασία μειώνεται και η ακτίνα αυξάνεται.

1.3.2 Ηλιακή σταθερά

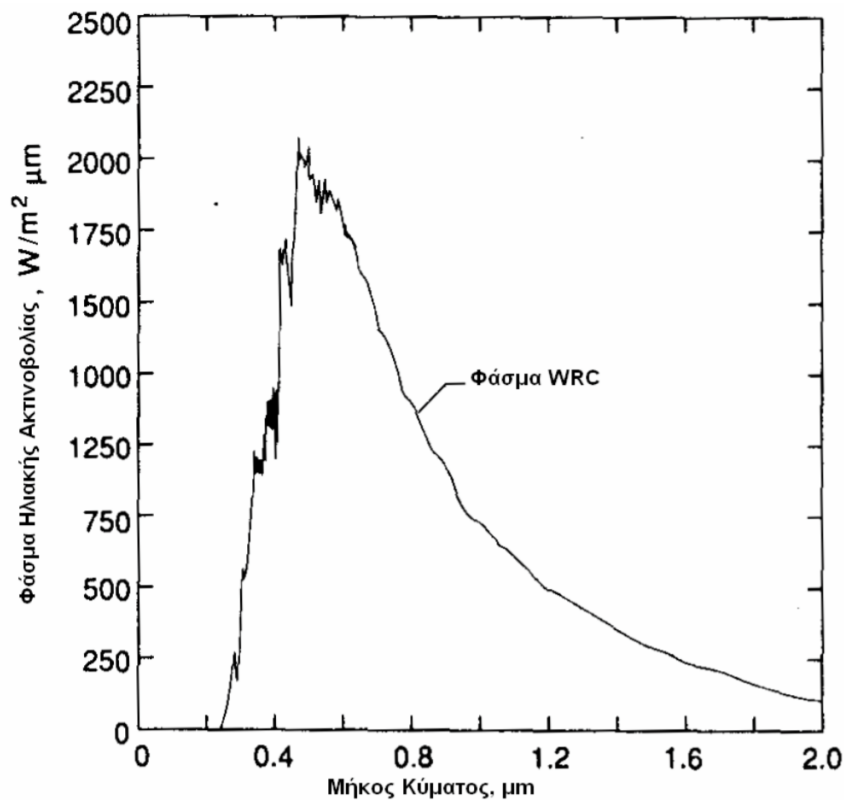
Η τροχιά της Γης περί τον ήλιο είναι τέτοια ώστε η απόσταση μεταξύ τους αυξομειώνεται κατά 1,7% περί τη μέση απόσταση γης – ηλίου. Ηλιακή σταθερά (G_{sc}), είναι η ενέργεια ανά μονάδα χρόνου, που δέχεται εκτός ατμόσφαιρας από τον ήλιο, η μονάδα επιφάνειας κάθετης στη διεύθυνση διάδοσης της ακτινοβολίας, όταν η απόσταση γης – ηλίου λαμβάνει τη μέση τιμή της. Η τιμή της ηλιακής σταθεράς είναι 1353 W/m^2 .



Σχήμα 1.2. Κύρια γεωμετρικά χαρακτηριστικά Γης - Ήλιου

1.3.3 Κατανομή της ηλιακής ακτινοβολίας στο φάσμα της συχνότητας

Εκτός από την ηλιακή σταθερά, είναι χρήσιμο να γνωρίζουμε και την κατανομή της ηλιακής ακτινοβολίας στο φάσμα της συχνότητας. Για αυτό τον λόγο έχει συνταχθεί ένα πρότυπο διάγραμμα βασισμένο σε μετρήσεις που έχουν πραγματοποιηθεί σε μεγάλο υψόμετρο και στο διάστημα. Η υπεριώδης, η ορατή και η υπέρυθρος ακτινοβολία αντιστοιχούν στις περιοχές μηκών κύματος $\lambda < 0,38 \mu\text{m}$, $0,38 \mu\text{m} < \lambda < 0,78 \mu\text{m}$ και $\lambda > 0,78 \mu\text{m}$. Η αντίστοιχη ενέργεια σε κάθε περιοχή είναι 95 W/m^2 , 640 W/m^2 και 618 W/m^2 .^[17]



Σχήμα 1.3. Φασματική κατανομή της ηλιακής ακτινοβολίας εκτός ατμόσφαιρας

1.3.4 Διακύμανση της ακτινοβολίας

Πρέπει να ληφθούν υπόψη δύο πηγές διακύμανσης της προσπίπτουσας ακτινοβολίας εξωτερικά της ατμόσφαιρας. Η πρώτη είναι η διακύμανση στην ακτινοβολία που εκπέμπεται από τον ήλιο και οφείλεται στη δραστηριότητα των ηλιακών κηλίδων. Για εφαρμογές μηχανικής την θεωρούμε σταθερή. Η δεύτερη έχει ως αποτέλεσμα αυξομειώσεις της τάξης του 3% στην ακτινοβολία, οφείλεται στη μεταβολή της απόστασης γης – ηλίου. Η εξάρτηση της ακτινοβολίας από τον χρόνο δίνεται από τη παρακάτω εξίσωση.

$$G_{on} = G_{SC} \left(1 + 0,033 \cos \frac{360n}{365} \right) \quad (1.1)$$

όπου,

G_{on} είναι η ακτινοβολία εξωτερικά της ατμόσφαιρας, η οποία μετρείται σε ένα επίπεδο κάθετο στο επίπεδο πρόσπτωσης στη η ημέρα του χρόνου.

1.3.5 Ηλιακός χρόνος

Ο υπολογισμός της ηλιακής ακτινοβολίας απαιτεί τον υπολογισμό της ακριβούς θέσης του ήλιου ως προς τη θέση μιας επιφάνειας, πάνω στην οποία προσπίπτει η ηλιακή ακτινοβολία. Ο προσδιορισμός της βασίζεται στον υπολογισμό διαφόρων παραμέτρων που προκύπτουν από την ηλιακή γεωμετρία.

Σε όλους τους υπολογισμούς που σχετίζονται με την ηλιακή ακτινοβολία, απαιτείται η χρήση του ηλιακού χρόνου (H_X). Η Γη χωρίζεται σε 24 ζώνες. Κάθε μια από αυτές τις ζώνες έχει γεωγραφικό μήκος 15° . Για κάθε μια από αυτές τις ζώνες, χρησιμοποιείται η ίδια τοπική ώρα. Ο ηλιακός χρόνος δεν συμπίπτει με τον τοπικό χρόνο (T_X). Η σχέση που συνδέει τον ηλιακό και τον τοπικό χρόνο είναι η παρακάτω.

$$H_X = T_X \pm 4 (L_{GT} - L_T) + E_T \quad (1.2)$$

όπου,

L_{GT} είναι ο μεσημβρινός για τη ζώνη χρόνου της περιοχής

L_T είναι ο τοπικός μεσημβρινός

E_T είναι η παράμετρος με την οποία λαμβάνεται υπ' όψιν η ελλειπτική τροχιά και η εκκεντρότητα της τροχιάς της Γης γύρω από τον ήλιο

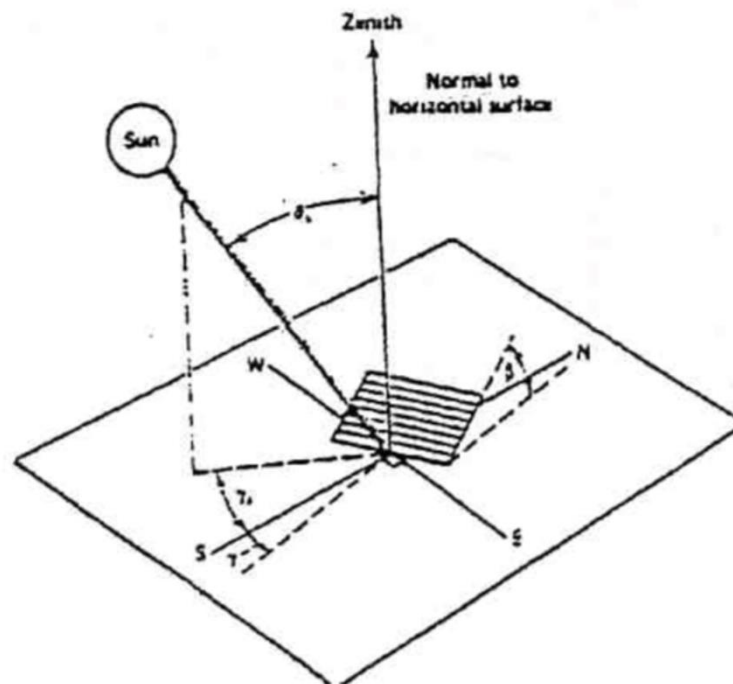
$\pm$ Χρησιμοποιούμε το θετικό πρόσημο (+) για το δυτικό ημισφαίριο και το αρνητικό πρόσημο (-) για το ανατολικό ημισφαίριο

1.3.6 Βασικές έννοιες

Σε αυτό το κομμάτι θα επεξηγήσουμε κάποια βασικά μεγέθη, τα οποία αφ' ενός χαρακτηρίζουν την ηλιακή ακτινοβολία, αφ' ετέρου βοηθούν στον υπολογισμό της προσπίπτουσας ακτινοβολίας σε μια επιφάνεια υαλοστασίου. Τα βασικά μεγέθη είναι τα εξής.

- **Γωνία ζενίθ (θ_z)** είναι η γωνία που σχηματίζεται από την κατακόρυφο και την ευθεία όρασης του ήλιου
- **Ηλιακό ύψος ($90 - \theta_z$)** είναι η γωνία που σχηματίζεται από την ευθεία όρασης του ήλιου και την προβολή της στο οριζόντιο επίπεδο
- **Αξιμούθιο επιφάνειας (γ)** είναι η γωνία που σχηματίζεται από τη προβολή της καθέτου στην επιφάνεια πάνω στο οριζόντιο επίπεδο και τη νότια κατεύθυνση
- **Αξιμούθιο ηλίου (γ_s)** είναι η γωνία μεταξύ της προβολής της ευθείας όρασης του ήλιου στο οριζόντιο επίπεδο και της νότιας κατεύθυνσης
- **Κλίση επιπέδου (β)** είναι η γωνία που σχηματίζει μια επίπεδος επιφάνεια με το οριζόντιο επίπεδο

- **Ωριαία γωνία (ω)** είναι η γωνιακή μετατόπιση του ήλιου ανατολικά ή δυτικά του τοπικού μεσημβρινού
- **Ηλιακή απόκλιση (δ)** είναι η γωνιακή θέση του ήλιου κατά το ηλιακό μεσημέρι ως προς το επίπεδο του ισημερινού.
- **Γωνία πρόσπτωσης (θ)** είναι η γωνία που δημιουργείται από τις προσπίπτουσες ηλιακές ακτίνες και την κάθετη επιφάνεια



Σχήμα 1.4. Γωνία ζενίθ, ηλιακό ύψος, αζιμούθιο επιφάνειας, αζιμούθιο Ηλίου και κλίση επιπέδου

1.3.7 Ολική, άμεση και διάχυτη ακτινοβολία

Η ηλιακή ακτινοβολία που φτάνει στην επιφάνεια της Γης χωρίζεται σε δύο κατηγορίες: την άμεση και την διάχυτη. Η στιγμιαία ένταση της ηλιακής ακτινοβολίας μετριέται σε W/m^2 . Για τον συμβολισμό χρησιμοποιούμε συνήθως το σύμβολο «G» με τους κατάλληλους δείκτες. Αν αναφερόμαστε στην άμεση, τοποθετούμε το «b» από την αγγλική λέξη beam. Αν αναφερόμαστε στην διάχυτη, τότε τοποθετούμε το «d» από την αγγλική λέξη diffuse. Η προσπίπτουσα ενέργεια σε μια επιφάνεια ανά μονάδα επιφάνειας για μια χρονική περίοδο, μετριέται σε J/m^2 . Συνήθως χρησιμοποιούμε το σύμβολο «I» για τις ωριαίες τιμές και το σύμβολο «H» για τις ημερήσιες, με τους κατάλληλους δείκτες πάντα.

Άμεση ακτινοβολία ορίζεται η ηλιακή ακτινοβολία που φτάνει στην επιφάνεια της Γης με ελάχιστη ή χωρίς καθόλου σκέδαση στην ατμόσφαιρα. Οι παράγοντες από τους οποίους εξαρτάται η άμεση ακτινοβολία που προσπίπτει σε μια επιφάνεια είναι οι εξής:

- Η απορρόφηση και η διάχυση της ηλιακής ακτινοβολίας μέσα στην ατμόσφαιρα
- Το ύψος του ήλιου

- Το γεωγραφικό πλάτος της τοποθεσίας
- Το υψόμετρο της τοποθεσίας
- Η κλίση της επιφάνειας
- Η απόσταση Ήλιου – Γης
- Η απόκλιση του Ήλιου

Διάχυτη ακτινοβολία ορίζεται η ηλιακή ακτινοβολία που φτάνει στην επιφάνεια της Γης, αφού έχει αλλάξει η διεύθυνση της από ανάκλαση ή σκέδαση στην ατμόσφαιρα και από ανάκλαση στην επιφάνεια της Γης. Οι παράγοντες από τους οποίους εξαρτάται η ηλιακή ακτινοβολία είναι οι εξής:

- Το ύψος του Ήλιου
- Το υψόμετρο της τοποθεσίας
- Η λευκαύγεια του εδάφους, δηλαδή ο συντελεστής ανάκλασης της επιφανείας
- Η ποσότητα και το είδος των νεφών
- Η ποσότητα και το είδος των σωματιδίων και των αερίων της ατμόσφαιρας

Ολική ακτινοβολία ορίζεται το άθροισμα της άμεσης και της διάχυτης ακτινοβολίας που φτάνει στην επιφάνεια της Γης

1.3.8 Απορρόφηση της ηλιακής ακτινοβολίας

Η ηλιακή ακτινοβολία όταν προσπίπτει κάθετα σε μια επιφάνεια, πάνω στην επιφάνεια της Γης, υπόκειται σε ίδιες αιτίες διακύμανσης με την ακτινοβολία που προσπίπτει εξωτερικά της ατμόσφαιρας και σε δύο επιπλέον φαινόμενα, της ατμοσφαιρικής σκέδασης από μόρια του νερού, του αέρα και της σκόνης και της ατμοσφαιρικής απορρόφησης από το O_3 , το H_2O και το CO_2 .

Η σκέδαση της ακτινοβολίας κατά τη διαδρομή της μέσα από την ατμόσφαιρα οφείλεται σε αλληλεπιδράσεις αυτής με μόρια του αέρα, του νερού και της σκόνης. Ο βαθμός της σκέδασης είναι συνάρτηση του μήκους της διαδρομής, μέσω της οποίας η ακτινοβολία περνάει, και του μεγέθους των σωματιδίων σχετικά με το μήκος κύματος της ακτινοβολίας (λ). Το μήκος της διαδρομής μετρείται με την αέρια μάζα (m). Ο αριθμός των μορίων του νερού και της σκόνης που συναντά η ακτινοβολία κατά το πέρασμα της, εξαρτάται λοιπόν τόσο από την αέρια μάζα, όσο και από τις ποσότητες σκόνης και υγρασίας της ατμόσφαιρας, οι οποίες με τη σειρά τους εξαρτώνται από τη τοποθεσία και την ώρα.

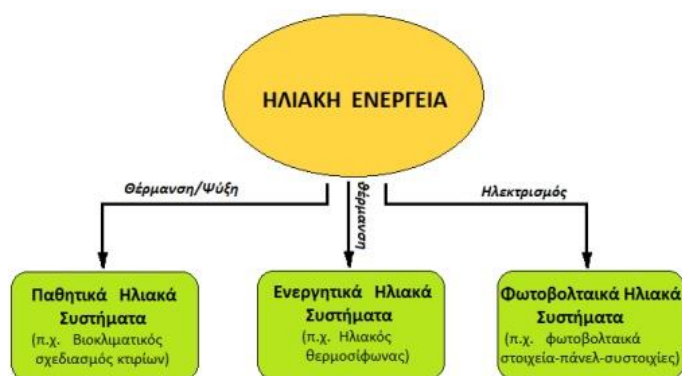
Η απορρόφηση της ακτινοβολίας στο φάσμα της ηλιακής ενέργειας οφείλεται για το φάσμα της υπεριώδους ακτινοβολίας κυρίως στο όζον και για το φάσμα της υπέρυθρης ακτινοβολίας στο νερό και στο διοξείδιο του άνθρακα. Υπάρχει σχεδόν απόλυτη απορρόφηση των χαμηλού μήκους κύματος ακτινοβολιών από το όζον στα ανώτερα στρώματα της ατμόσφαιρας. Τα μήκη αυτά πρέπει να είναι μικρότερα από 0,29 μm . Για τιμές μεγαλύτερες του 0,29 μm , όσο αυξάνεται το μήκος κύματος τόσο μειώνεται η απορρόφηση του όζοντος. Σε τιμές μεγαλύτερες του 0,35 μm , η απορρόφηση είναι μηδενική.

Οι υδρατμοί είναι παράγοντας απορρόφησης της ηλιακής ακτινοβολίας, κυρίως στο φάσμα της υπέρυθρης ακτινοβολίας, με ισχυρές απορροφητικές ζώνες στα 1,0 μm , 1,4 μm και 1,8 μm . Πέρα από τα 2,5 μm , η περατότητα της ατμόσφαιρας είναι μικρή λόγω της απορρόφησης από H_2O και το CO_2 . Εξάλλου, η ενέργεια στο φάσμα της ακτινοβολίας της, έξω από τη γήινη ατμόσφαιρα, για μήκη κύματος μεγαλύτερα των 2,5 μm , είναι λιγότερη από το 5% της ολικής ενέργειας. Συνεπώς, η ενέργεια που λαμβάνεται από την επιφάνεια της Γης για αυτά τα μήκη κύματος, είναι εξίσου μικρή.

Γνωρίζουμε ότι η κάθετη ακτινοβολία που προσπίπτει στην ατμόσφαιρα της Γης έχει φασματική κατανομή. Το φάσμα των ακτινών X και των άλλων πολύ χαμηλών μήκους ακτινοβολιών, απορροφάται σε μεγάλο υψόμετρο, στην ιονόσφαιρα συγκεκριμένα, από το άζωτο, το οξυγόνο και τα άλλα συστατικά της ατμόσφαιρας. Το μεγαλύτερο μέρος της υπεριώδους ακτινοβολίας απορροφάται από το όζον. Σε μήκη κύματος μεγαλύτερα από 2,5 μm , ένας συνδυασμός μικρής εξωγήινης ακτινοβολίας και ισχυρής απορρόφησης από το διοξείδιο του άνθρακα, έχει ως αποτέλεσμα να φτάνουν στην επιφάνεια της Γης μικρά ποσά ενέργειας. Από τη σκοπιά των ηλιακών εφαρμογών στην επιφάνεια της Γης, πρέπει να λαμβάνεται υπ' όψιν μόνο η ακτινοβολία σε μήκη κύματος από 0,29 μm έως 2,5 μm .

1.4 Τρόποι χρήσης της ηλιακής ενέργειας

Την ηλιακή ενέργεια μπορούμε να την χρησιμοποιήσουμε είτε για να παρέχουμε θερμότητα, μέσω των ενεργητικών και παθητικών ηλιακών συστημάτων, είτε για να παράγουμε ηλεκτρισμό.



Σχήμα 1.5. Τρόποι χρήσης της ηλιακής ενέργειας

1.4.1 Θερμότητα

Τα ενεργητικά ή θερμικά ηλιακά συστήματα αποτελούν μηχανολογικά συστήματα που μετατρέπουν την ηλιακή ακτινοβολία σε θερμότητα. Αυτό επιτυγχάνεται με τη χρήση συλλεκτών και δεξαμενών αποθήκευσης ως χωριστά υποσυστήματα, ενώ η μεταφορά της ενέργειας μέσω ενός θερμαινόμενου ρευστού πραγματοποιείται είτε με φυσική ροή είτε με κυκλοφορητή.

Ένα τυπικό σύστημα παραγωγής ζεστού νερού αποτελείται από τους ηλιακούς συλλέκτες, μια δεξαμενή αποθήκευσης του ζεστού νερού, τις απαραίτητες σωληνώσεις και το σύστημα ελέγχου. Η ηλιακή ακτινοβολία απορροφάται από το συλλέκτη και η συλλεγόμενη θερμότητα αντλείται, με φυσικό ή τεχνητό τρόπο στη δεξαμενή. Το παραγόμενο ζεστό νερό χρήσης από τα θερμικά ηλιακά συστήματα αποθηκεύεται σε ειδικές δεξαμενές προκειμένου στη συνέχεια να καταναλωθεί σε διάφορα σημεία του κτηρίου στο οποίο βρίσκεται η εγκατάσταση.^[18]

Τα παθητικά ηλιακά συστήματα είναι δομικά στοιχεία του κτιρίου, τα οποία αξιοποιώντας τους νόμους μεταφοράς της θερμότητας, συλλέγουν την ηλιακή ενέργεια, την αποθηκεύουν σε μορφή θερμότητας και τη διανέμουν στον 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 θερμότητας στο εσωτερικό του χώρου. Τα παθητικά ηλιακά συστήματα συνδυάζονται και με τεχνικές φυσικού φωτισμού καθώς και με τεχνικές φυσικού δροσισμού το καλοκαίρι. Τα παθητικά ηλιακά συστήματα μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε παλιά και νέα κτήρια.

1.4.2 Ηλεκτρισμός

Η λέξη φωτοβολταϊκό είναι σύνθετη και αποτελείται από τη λέξη φως και από τη λέξη βολταϊκό, η οποία προήλθε από τον φυσικό Alessandro Volta, και αναφέρεται ουσιαστικά στην ηλεκτρική τάση. Το φωτοβολταϊκό φαινόμενο λοιπόν είναι η άμεση μετατροπή της ηλιακής ακτινοβολίας σε ηλεκτρική τάση. Δηλαδή ένα φωτοβολταϊκό στοιχείο είναι μια ηλεκτρονική διάταξη που παράγει ηλεκτρική ενέργεια όταν δέχεται ακτινοβολία.

Στα φωτοβολταϊκά στοιχεία χρησιμοποιούμε έναν ημιαγωγό, ο οποίος μπορεί να προσαρμοστεί στο να απελευθερώνει ηλεκτρόνια, τα αρνητικά φορτισμένα σωματίδια που σχηματίζουν τη βάση του ηλεκτρισμού. Ο πιο κοινός ημιαγωγός που χρησιμοποιείται στα φωτοβολταϊκά στοιχεία είναι η σιλικόνη, ένα στοιχείο που μπορεί να βρεθεί στην άμμο.

Όλα τα φωτοβολταϊκά στοιχεία έχουν το λιγότερο 2 στρώσεις από τέτοιους ημιαγωγούς, ένα θετικά φορτισμένο και ένα αρνητικά φορτισμένο. Όταν τα φωτόνια του ηλιακού φωτός προσκρούσουν στον ημιαγωγό, κάποια θα ανακλαστούν, κάποια θα τον διαπεράσουν και κάποια απορροφώνται από αυτόν. Τα φωτόνια που απορροφώνται παράγουν το ηλεκτρικό ρεύμα μορφής DC. Όσο περισσότερα φωτόνια προσκρούσουν, τόσο μεγαλύτερη θα είναι και η ροή του ηλεκτρισμού.

Συνεπώς ένα φωτοβολταϊκό σύστημα δεν χρειάζεται μεγάλη ηλιοφάνεια για να μπορέσει να λειτουργήσει. Μπορεί να παράγει ηλεκτρισμό τις συννεφιασμένες μέρες, απλά το ενεργειακό αποτέλεσμα θα έχει άμεση σχέση με την πυκνότητα των σύννεφων. Επίσης, λόγω της αντανάκλασης του φωτός, είναι πιθανό τις μέρες με λίγη συννεφιά να παράγεται περισσότερη ενέργεια από μια μέρα χωρίς καθόλου σύννεφα.^[19]

1.5 Πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα

Η ηλιακή ενέργεια, όπως και κάθε άλλη μορφή ενέργειας, έχει τα πλεονεκτήματα και τα μειονεκτήματα της.^[20]

1.5.1 Πλεονεκτήματα

Τα πλεονεκτήματα της ηλιακής ενέργειας είναι τα εξής:

- Είναι καθαρή και ανανεώσιμη πηγή ενέργειας
- Από τη στιγμή που θα εγκατασταθεί το ηλιακό πάνελ, μπορεί να παράγει ενέργεια δωρεάν.
- Η ηλιακή ενέργεια θα διαρκέσει για πάντα, ενώ όπως εκτιμάται τα αποθέματα πετρελαίου θα διαρκέσουν για ακόμα 30 – 40 χρόνια.
- Η ηλιακή ενέργεια δεν προκαλεί μόλυνση του περιβάλλοντος. Συνεπώς αποτρέπεται η έκλυση μεγάλων ποσοτήτων ρύπων που επιβαρύνουν το περιβάλλον και τη δημόσια υγεία.
- Βοηθάει στο να μειωθούν οι εκπομπές από ορυκτά καύσιμα και κατά συνέπεια η εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα.
- Τα ηλιακά στοιχεία είναι τελείως αθόρυβα.
- Η συντήρηση που χρειάζονται έτσι ώστε να λειτουργούν σωστά είναι πολύ λίγη. Δεν υπάρχουν κινούμενα μέρη στα ηλιακά στοιχεία, έτσι είναι σχετικά απίθανο να πάθουν κάποια βλάβη.
- Μακροπρόθεσμα, υπάρχει η πιθανότητα υψηλού κέρδους, λόγω της δωρεάν ενέργειας που μπορεί να παράγει ένα ηλιακό πάνελ. Εκτιμάται ότι ένα μέσο νοικοκυριό θα καλύπτει το 50% των ενεργειακών του αναγκών από τα ηλιακά πάνελ.
- Προσφέρει αυτονομία λόγω μειωμένης εξάρτησης από εισαγόμενους ενεργειακούς πόρους

1.5.2 Μειονεκτήματα

Τα μειονεκτήματα της ηλεκτρικής ενέργειας είναι τα εξής:

- Τα ηλιακά πάνελ έχουν υψηλό κόστος εγκατάστασης
- Η παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας εξαρτάται από την έκθεση μιας χώρας στον ήλιο.
- Οι σταθμοί ηλιακής ενέργειας παράγουν μικρότερα ποσά ενέργειας από ίδιου μεγέθους συμβατικούς σταθμούς ενέργειας. Επίσης μπορεί να έχουν και μεγαλύτερο κόστος κτίσης.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2

ΗΛΙΑΚΟΣ ΦΟΥΡΝΟΣ

2.1 Εισαγωγή

Το μαγείρεμα με τη βοήθεια του ήλιου είναι μια πρακτική που ακολουθείται αιώνες. Το μόνο που χρειάζεται είναι η εκμετάλλευση και η συγκέντρωση της ηλιακής ακτινοβολίας σε ένα συγκεκριμένο πλαίσιο, έτσι ώστε να μπορέσουμε να μαγειρέψουμε κάποιο φαγητό. Ο ηλιακός φούρνος είναι μια συσκευή, η οποία μπορεί να ικανοποιήσει τις επιθυμίες πολλών ανθρώπων. Αρχικά, τους οικολόγους και γενικά τους ανθρώπους που σέβονται το περιβάλλον, διότι χρησιμοποιούμε την εντελώς δωρεάν και ανεξάντλητη ηλιακή ενέργεια για μια άκρως ενεργοβόρα διαδικασία, όπως το μαγείρεμα. Με αυτόν τον τρόπο δεν χρησιμοποιούμε συμβατικά καύσιμα τα οποία μολύνουν το περιβάλλον κατά τη διεργασία παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας. Στη συνέχεια, είναι ένας τρόπος βελτίωσης της ζωής των κατοίκων που ζουν σε πολύ φτωχές χώρες. Αυτές οι χώρες επί το πλείστον αντιμετωπίζουν ενεργειακά προβλήματα και η χρήση του ηλιακού φούρνου έρχεται να δώσει κάποια σημαντική βοήθεια στην εξοικονόμηση της διαθέσιμης ενέργειας.

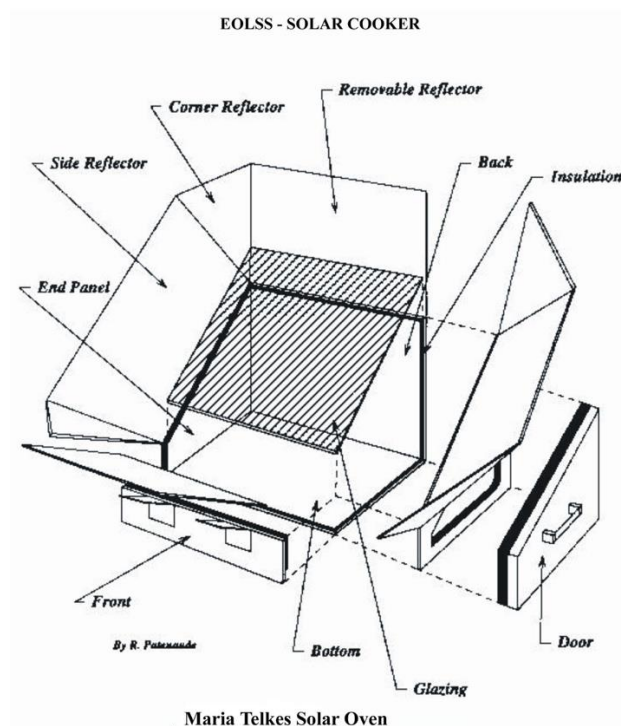
2.2 Ιστορική αναδρομή

Ο άνθρωπος από τη πρώτη στιγμή της ύπαρξης του μέχρι και την ανακάλυψη της φωτιάς, ποτέ δεν ασχολήθηκε με το ψήσιμο των τροφών. Ότι έτρωγε ήταν στη μορφή που το έβρισκε. Το καθοριστικό σημείο ήταν η ανακάλυψη της φωτιάς. Από τότε άρχισε να ψήνει τις τροφές του. Στη πορεία των χρόνων ανακάλυψε ότι και η θερμότητα που αποφέρει η ηλιακή ακτινοβολία μπορεί να τον βοηθήσει στην καθημερινότητα του. Μια χρήση των θερμικών ιδιοτήτων της ηλιακής ακτινοβολίας ήταν η ξήρανση τροφών, όπως το κρέας κυρίως.^[21]

Η πρώτη φορά που χρησιμοποιήθηκε η ηλιακή ενέργεια για το μαγείρεμα ήταν το 1767 από τον Ελβετό φυσικό Horace De Saussure. Ο De Saussure κατασκεύασε ένα θερμοκήπιο μινιατούρα με 5 γυάλινα κουτιά, το ένα μέσα στο άλλο. Στη συνέχεια τοποθέτησε μέσα στο εσωτερικό κουτί ένα φρούτο, το οποίο και ψήθηκε καλά. Στη συνέχεια πειραματίστηκε πάνω στην εφεύρεση του δοκιμάζοντας άλλα υλικά, προσθέτοντας μόνωση, μαγειρεύοντας σε διαφορετικό υψόμετρο κ.α. Έτσι γεννήθηκε το ηλιακό μαγείρεμα και ο De Saussure θεωρείται ο πατέρας του. Το παράδειγμα του ακολούθησαν και άλλοι, συμπεριλαμβανομένων του Βρετανού Sir John Herschel και του Αμερικάνου Samuel Pierpont Langley.

Το σύγχρονο κίνημα για το ηλιακό μαγείρεμα ξεκίνησε να ανθίζει στα μέσα του 20^{ου} αιώνα με μεμονωμένες προσπάθειες. Στα τέλη της δεκαετίας του 1950, μια μεγάλη προσωπικότητα, η επιστήμονας του M.I.T. Maria Telkes, της οποίας η εργασία πάνω στο ηλιακό μαγείρεμα ήρθε στο πλαίσιο της επαγγελματικής της ενασχόλησης στον τομέα της στέγασης και ιδιαίτερα στη

χρήση της ηλιακής θερμικής ενέργειας για τη θέρμανση σπιτιών. Αυτό το ενδιαφέρον την οδήγησε στο να σχεδιάσει ένα φούρνο με μονωμένο κουτί από κόντρα πλακέ με την πάνω πλευρά του να βρίσκεται σε κλίση και να καλύπτεται με διπλή στρώση γυαλιού με ένα μικρό κενό αέρος ανάμεσα τους και τέλος είχε και τέσσερις μεγάλους ανακλαστήρες. Ο Ο.Η.Ε. προσπάθησε να προωθήσει τη κατασκευή της σε διάφορους πολιτισμούς, η οποία προσπάθεια όμως στέφθηκε με αποτυχία διότι η λειτουργία του ηλιακού φούρνου φαίνονταν πολύπλοκη καθώς και οι παραβολικοί ανακλαστήρες σε κάποια μοντέλα φαίνονταν επικίνδυνοι.^[22]



Σχήμα 2.1. Ο ηλιακός φούρνος της Maria Telkes

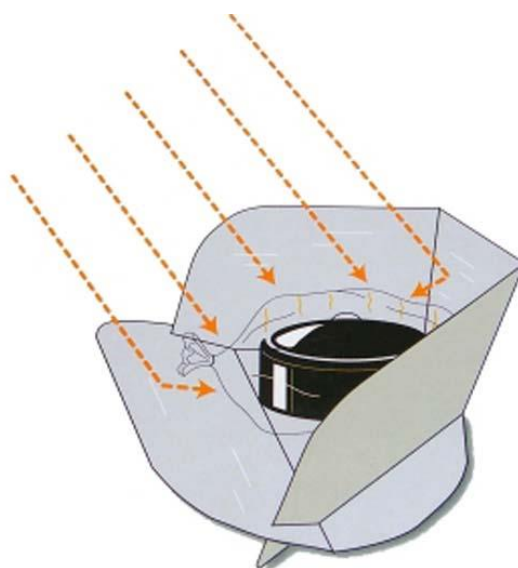
Ο πρώτος ηλιακός φούρνος που διατέθηκε στο εμπόριο ήταν από την Ινδή πρωτοπόρο Sri M.K. Ghosh το 1945. Η Αμερικανίδα Barbara Kert ήταν η πρώτη που σχεδίασε και ανέπτυξε τον πρώτο εφικτό και λειτουργικό ηλιακό φούρνο στις Η.Π.Α., χρησιμοποιώντας ανακυκλώσιμα υλικά και αλουμινόχαρτο.^[23] Το 1979, ο Dr. Metcalf και ο μαθητής του χρησιμοποίησαν ηλιακό φούρνο για τη παστερίωση του νερού. Το 1987, ο S.C. Mullick παρουσίασε μια μέθοδο ανάλυσης της θερμικής απόδοσης των ηλιακών φούρνων. Το 2000, ο Funk πρότεινε ένα διεθνές πρότυπο για τη δοκιμή των ηλιακών φούρνων. Παρατηρήθηκε ότι η προκύπτουσα καμπύλη ισχύος του ηλιακού φούρνου είναι ένα χρήσιμο εργαλείο για την αξιολόγηση της χωρητικότητας και της ικανότητας αποθήκευσης θερμότητας του ηλιακού φούρνου. Στη σημερινή εποχή, η τεχνολογία δείχνει πολλά υποσχόμενη, έτσι ώστε να μειώσει το κενό ανάμεσα στις ανανεώσιμες και στις συμβατικές μορφές ενέργειας.

2.3 Τύποι ηλιακών φούρνων

Ένας ηλιακός φούρνος είναι μια συσκευή, η οποία χρησιμοποιεί την ηλιακή ενέργεια για να ψήσει κάποιο φαγητό. Κάποιοι ηλιακοί φούρνοι έχουν και κάποιες επιπλέον δυνατότητες, όπως η παστερίωση και η αποστείρωση. Υπάρχουν πολλοί και διάφοροι τύποι ηλιακών φούρνων, συνεπώς η κατηγοριοποίηση τους είναι μια δύσκολη υπόθεση. Ωστόσο, μπορούμε να πούμε ότι η πλειοψηφία των ηλιακών φούρνων που κυκλοφορεί σήμερα, εμπίπτει σε μια από τις εξής τρεις κατηγορίες, τους ηλιακούς φούρνους με ανακλαστήρες, τους ηλιακούς φούρνους τύπου κουτιού και τους ηλιακούς φούρνους με παραβολικούς ανακλαστήρες.

2.3.1 Ηλιακοί φούρνοι με ανακλαστήρες

Θεωρείται ο πιο κοινός τύπος ηλιακού φούρνου λόγω της ευκολίας κατασκευής του και μικρού κόστους. Σε αυτό τον τύπο, η ηλιακή ακτινοβολία συγκεντρώνεται από το πάνω μέρος μόνο, κάτι που δεν τον κάνει πολύ επιθυμητό λόγω της περιορισμένης ισχύς μαγειρέματος. Αυτός ο τύπος φούρνου ικανοποιεί ανθρώπους που μένουν μόνοι τους ή ανθρώπους που ταξιδεύουν συχνά. Η απόδοση του εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από την ανακλώμενη ακτινοβολία και για αυτό τον λόγο δεν είναι αποτελεσματικοί όταν ο καιρός είναι συννεφιασμένος.^[24]



Σχήμα 2.2. Ηλιακός φούρνος με ανακλαστήρες

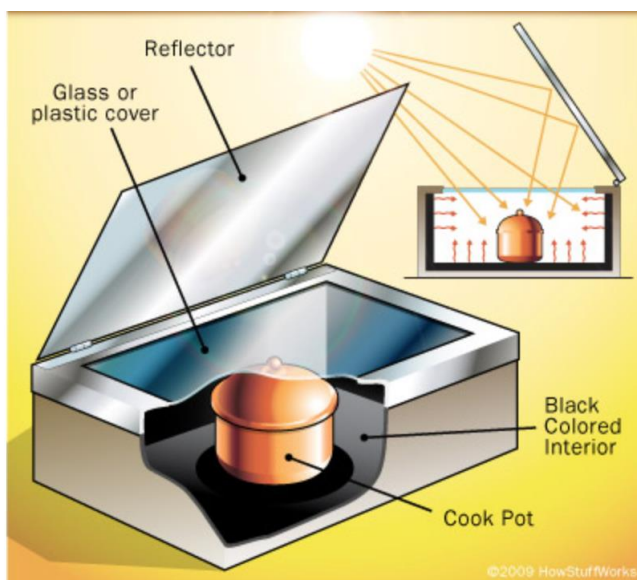
2.3.2 Ηλιακοί φούρνοι τύπου κουτιού

Αυτός ο τύπος φούρνου ήταν ιστορικά ο πρώτος που χρησιμοποιήθηκε. Από το 1767 μέχρι σήμερα, ο ηλιακός φούρνος τύπου κουτιού έχει αναπτυχθεί σε πολύ σημαντικό βαθμό τόσο από σχεδιαστική άποψη, όσο και από την πλευρά της απόδοσης. Αυτός ο τύπος φούρνου αποτελείται από ένα μονωμένο κουτί με διάφανη γυάλινη κάλυψη και από επιφάνειες που έχουν την ικανότητα να ανακλούν και να κατευθύνουν την ηλιακή ακτινοβολία στο κουτί. Το εσωτερικό μέρος του

κουτιού είναι βαμμένο μαύρο με σκοπό να μεγιστοποιηθεί η απορρόφηση της ηλιακής ακτινοβολίας.^[25]

Υπάρχουν παράγοντες που βοηθάνε στην αύξηση της απόδοσης του ηλιακού φούρνου. Ένας από αυτούς είναι το γυαλί. Τα είδη γυαλιού που χρησιμοποιείται συχνά σε τέτοιου είδους φούρνους είναι το κλασσικό γυαλί, τα υαλονήματα και τα ακρυλικά. Το μονό και το διπλό γυαλί επιτρέπουν την μεγαλύτερη μετάδοση της ηλιακής ακτινοβολίας. Η βελτιστοποίηση του κενού αέρος ανάμεσα στους υαλοπίνακες είναι ένα πρόβλημα, διότι ένα μεγάλο κενό μπορεί να οδηγήσει σε απώλειες θερμότητας. Θεωρητικά, αυτό το κενό πρέπει να είναι περίπου 1 – 2 εκατοστά.^[26] Επίσης, η απορρόφηση της μεγάλης μήκους ακτινοβολίας οδηγεί στην αύξηση της θερμοκρασίας του γυαλιού και αυτή η αύξηση της θερμοκρασίας προκαλεί απώλειες θερμότητας του φούρνου προς το περιβάλλον. Αυτός είναι ο λόγος που προκρίνονται μονωτικά και διαφανή υλικά.^[27]

Ένας άλλος παράγοντας έχει σχέση με τον δίσκο απορρόφησης. Ο δίσκος απορρόφησης είναι από τα πιο σημαντικά εξαρτήματα του συγκεκριμένου τύπου ηλιακού φούρνου. Ο δίσκος απορρόφησης βρίσκεται στο εσωτερικό του φούρνου και είναι βαμμένος με μαύρο χρώμα για να απορροφάει την ηλιακή ακτινοβολία που φτάνει σε αυτόν. Είναι πολύ σημαντικός ο βαθμός απορροφητικότητας του δίσκου απορρόφησης έτσι ώστε να μπορέσει να μεταφέρει τη μέγιστη ενέργεια από την ηλιακή ακτινοβολία στο φαγητό.^[28] Υπήρξαν δοκιμές για τη βελτιστοποίηση του δίσκου απορρόφησης, οι οποίες οδήγησαν σε διάφορα συμπεράσματα. Για παράδειγμα η χρήση πτερυγίων στο δίσκο απορρόφησης έδειξε ότι μειώθηκε ο χρόνος βρασμού κατά 12%.

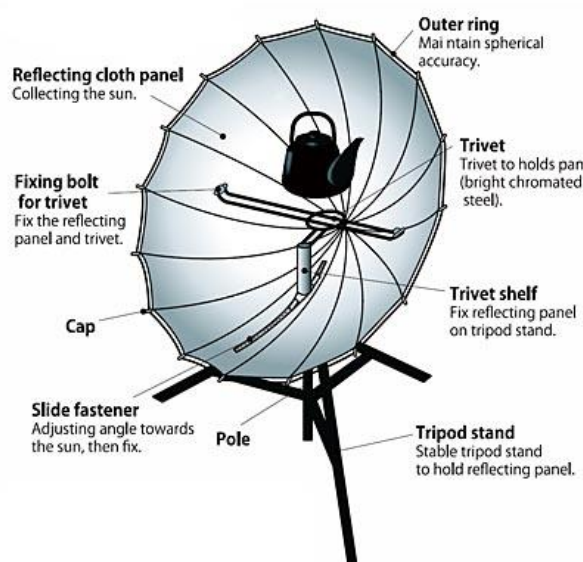


Σχήμα 2.3. Ηλιακός φούρνος τύπου κουτιού

2.3.3 Ηλιακοί φούρνοι με παραβολικό ανακλαστήρα

Οι ηλιακοί φούρνοι με παραβολικό ανακλαστήρα ελκύουν την προσοχή του κόσμου λόγω της εξαιρετικής τους απόδοσης. Αυτού του τύπου οι ηλιακοί φούρνοι μπορούν να φτάσουν σε

εξαιρετικά υψηλές θερμοκρασίες σε πολύ σύντομο χρονικό διάστημα, σε σχέση με τις άλλες δύο κατηγορίες ηλιακών φούρνων. Το αρνητικό του είναι ότι λόγω της υψηλής συγκέντρωσης ισχύος υπάρχει η σοβαρή πιθανότητα να καεί το φαγητό που μαγειρεύουμε. Συνεπώς δεν πρέπει να μένει για μεγάλο διάστημα χωρίς κάποιος να τον προσέχει κατά τη διάρκεια της λειτουργίας του. Ο τρόπος κατασκευής και λειτουργίας του είναι απλός. Αποτελείται από έναν παραβολικό ανακλαστήρα, στου οποίου το σημείο συγκέντρωσης της ηλιακής ακτινοβολίας τοποθετείται το σκεύος μαγειρικής. Τέλος, υπάρχει και μια βάση στήριξης του όλου συστήματος.



Σχήμα 2.4. Ηλιακός φούρνος με παραβολικό ανακλαστήρα

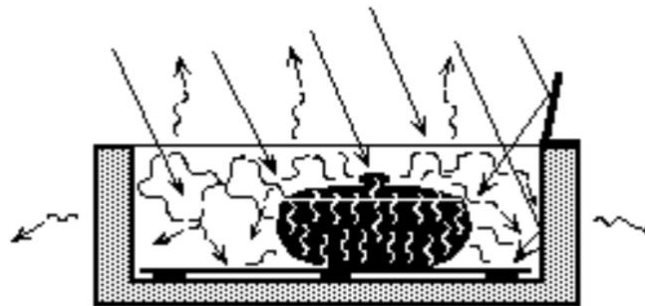
2.4 Βασικές αρχές λειτουργίας

Ο βασικός σκοπός του ηλιακού φούρνου είναι να μαγειρεύει το φαγητό, να καθαρίζει το νερό, να αποστειρώνει το γάλα και το νερό και γενικά να θερμαίνει φαγητά στέρεης ή υγρής μορφής. Ο λόγος που μπορεί και επιτελεί το σκοπό του είναι η ηλιακή ακτινοβολία. Η ηλιακή ακτινοβολία, είτε άμεσα, είτε με ανάκληση, εισέρχεται στον φούρνο μέσω κάποιου υαλοπίνακα συνήθως. Η ηλιακή ακτινοβολία απορροφάται από τη μαύρη πλάκα απορρόφησης, η οποία με τη σειρά της εκλύει θερμική ενέργεια. Αυτή η ενέργεια προκαλεί την αύξηση της θερμοκρασίας στον φούρνο, η οποία θερμοκρασία συνεχίζει να αυξάνεται μέχρι το σημείο που οι θερμικές απώλειες του φούρνου θα εξισωθούν με τα θερμικά κέρδη. Μέχρι αυτό το σημείο, είναι εύκολο να επιτευχθούν θερμοκρασίες ικανές για μαγείρεμα. Η λειτουργία του ηλιακού φούρνου βασίζεται στις επόμενες αρχές.

2.4.1 Θερμικά κέρδη

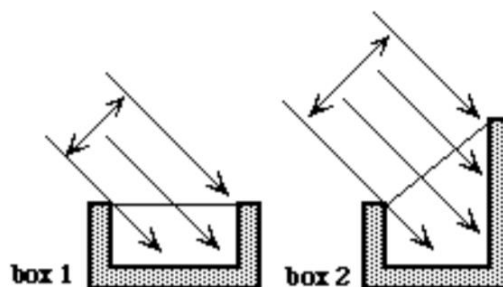
Τα θερμικά κέρδη μπορούν να επιτευχθούν με διάφορους τρόπους. Σε αυτό το σημείο θα αναλύσουμε τους βασικούς τρόπους.

Αρχικά έχουμε το **φαινόμενο του θερμοκηπίου**. Το φαινόμενο του θερμοκηπίου οδηγεί στη θέρμανση ενός κλειστού χώρου, τους οποίους ακτινοβολεί ο ήλιος μέσω ενός διαφανούς υλικού, συνήθως έχουμε γυαλί και πλαστικό. Το ορατό φως περνάει το γυαλί και απορροφάται από τα υλικά μέσα στο φούρνο. Η φωτεινή ενέργεια του φωτός απορροφάται από τα μαύρου χρώματος σκεύη και την επίσης μαύρου χρώματος πλάκα απορρόφησης, και στη συνέχεια μετατρέπεται σε θερμική ενέργεια μεγαλύτερου μήκους κύματος, η οποία ακτινοβολεί από τα εσωτερικά υλικά του φούρνου. Η μεγαλύτερη ποσότητα της θερμικής ενέργειας που ακτινοβολείται, λόγω του μεγάλου μήκους κύματος της, δεν μπορεί να περάσει την γυάλινη οροφή. Συνεπώς μένει παγιδευμένη μέσα στο κλειστό χώρο του φούρνου. Όσο από το ανακλώμενο φως δεν απορροφηθεί από τα εσωτερικά υλικά του φούρνου, επιστρέφει στην ατμόσφαιρα. Αυτό μπορεί να συμβεί διότι δεν αλλάζει μήκος κύματος. Αυτό που είναι σημαντικό για την απόδοση του ηλιακού φούρνου είναι το ότι η θερμότητα που έχει συλλεχθεί από την πλάκα απορρόφησης και τα σκεύη άγεται μέσω αυτών των υλικών για να πραγματοποιηθεί η θέρμανση και το μαγείρεμα του φαγητού.



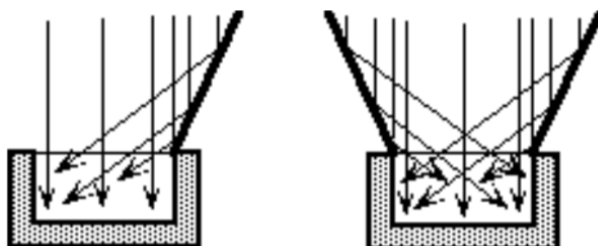
Σχήμα 2.5. Το φαινόμενο του θερμοκηπίου

Στη συνέχεια έχουμε τον **προσανατολισμό του υαλοπίνακα**. Η ευθύτητα με την οποία ακτινοβολεί ο ήλιος τον υαλοπίνακα του φούρνου παίζει ρόλο στα θερμικά οφέλη που έχουμε. Οπότε όσο πιο άμεση είναι η ηλιακή ακτινοβολία που προσπίπτει στον υαλοπίνακα, τόσο μεγαλύτερα είναι τα θερμικά οφέλη που έχουμε. Στο σχήμα 2.6 βλέπουμε τη διαφορά. Έχουμε δύο κουτιά ίδιου μεγέθους. Παρατηρούμε ότι ο υαλοπίνακας του κουτιού 2 ακτινοβολείται περισσότερο από αυτόν του κουτιού 1. Επίσης το δεύτερο κουτί έχει περισσότερες αδιαφανείς επιφάνειες. Οπότε θα έχει και περισσότερες απώλειες μέσω των τοιχωμάτων του.



Σχήμα 2.6. Προσανατολισμός υαλοπίνακα

Τέλος, έχουμε τους **ανακλαστήρες**. Οι ανακλαστήρες, ένας ή περισσότεροι, βοηθούν στην αύξηση των θερμικών κερδών μας. Αυτό συμβαίνει διότι ανακλούν την ηλιακή ακτινοβολία και την οδηγούν στον υαλοπίνακα και κατά συνέπεια στο εσωτερικό του φούρνου μας. Η προσθήκη τους μας οδηγεί στην αύξηση της θερμοκρασίας μέσα στο φούρνο.



Σχήμα 2.7. Μονός και διπλοί ανακλαστήρες

2.4.2 Θερμικές απώλειες

Ο 2^{ος} νόμος της Θερμοδυναμικής λέει ότι κάθε θερμική μηχανή έχει απώλειες ενέργειας. Σύμφωνα πάντα με τον 2^ο νόμο, η θερμότητα μεταφέρεται πάντα από τα θερμότερα σώματα προς τα ψυχρότερα. Σε αυτό το κομμάτι θα δούμε τους λόγους που έχουμε θερμικές απώλειες στους ηλιακούς φούρνους.

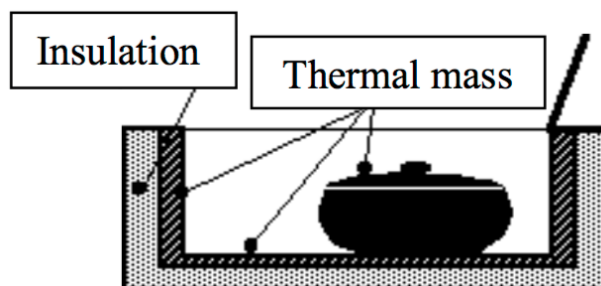
Μια αιτία ονομάζεται **αγωγιμότητα**. Η θερμότητα σε έναν ηλιακό φούρνο χάνεται κατά τη μεταφορά της στο εξωτερικό περιβάλλον μέσω των μορίων των φύλλων αλουμινίου, του γυαλιού, του χαρτονιού, του αέρα και της μόνωσης. Η ηλιακά θερμαινόμενη πλάκα απορρόφησης άγει τη θερμότητα που εκλύει στο πάτο του μεταλλικού και αγωγίμου μαγειρικού σκεύους. Για να αποφευχθούν οι απώλειες θερμότητας, η πλάκα απορρόφησης είναι ανυψωμένη στον πάτο του ηλιακού φούρνου, στηριζόμενη όμως σε μονωμένα ποδαράκια.

Μια άλλη αιτία ονομάζεται **ακτινοβολία**. Τα θερμά σώματα εκλύουν θερμικά κύματα ή ακτινοβολούν θερμότητα στο περιβάλλον τους. Αυτά τα θερμικά κύματα ακτινοβολούνται μέσω του αέρα. Η περισσότερη θερμότητα που ακτινοβολείται από τα θερμά σώματα μέσα τον φούρνο, όπως η πλάκα απορρόφησης και τα μαγειρικά σκεύη, ανακλάται πάνω στην επιφάνεια των φύλλων αλουμινίου ή του υαλοπίνακα, με συνέπεια να επιστρέφει προς τα μαγειρικά σκεύη και τη πλάκα απορρόφησης. Οι διάφανες γυάλινες επιφάνειες, παρόλο που παγιδεύουν την θερμική ακτινοβολία σε μεγάλο βαθμό, έχουν και αυτές θερμικές απώλειες. Γενικά, το γυαλί ακτινοβολεί τη θερμότητα καλύτερα από το πλαστικό.

Μια τρίτη και τελευταία αιτία είναι η **συναγωγή**. Τα μόρια του αέρα μετακινούνται μέσα και έξω από το φούρνο, μέσω ανοιγμάτων. Τα θερμαινόμενα μόρια του αέρα που βρίσκονται μέσα στον ηλιακό φούρνο, συνήθως δραπετεύουν από ανοίγματα στην πάνω επιφάνεια, από ανοίγματα στο κομμάτι της πόρτας του φούρνου και από κατασκευαστικά ελαττώματα. Επίσης ψυχρά μόρια αέρα, μπορούν να εισέλθουν στον φούρνο με τον ίδιο ακριβώς τρόπο. Αυτό το πρόβλημα μπορεί να επιλυθεί μέσω του σφραγίσματος των ανοιγμάτων.

2.4.3 Αποθήκευση θερμότητας

Όσο η πυκνότητα και το βάρος των υλικών μέσα στον φούρνο αυξάνει, τόσο αυξάνεται και η ικανότητα του φούρνου να αποθηκεύει τη θερμότητα. Το εσωτερικό ενός φούρνου που περιλαμβάνει βαριά υλικά, όπως βαριά κουζίνα σκεύη και βαριά φαγητά, θα αργήσει να θερμανθεί, εξαιτίας αυτής της επιπλέον ικανότητας αποθήκευσης θερμότητας. Η εισερχόμενη ενέργεια αποθηκεύεται ως θερμότητα σε αυτά τα υλικά, καθυστερώντας όμως της θέρμανση του αέρα του φούρνου. Αυτά τα πυκνά υλικά όμως θα ακτινοβολήσουν στη συνέχεια θερμότητα, κρατώντας τον ηλιακό φούρνο ζεστό για μεγαλύτερο διάστημα.^[29]



Σχήμα 2.8. Θερμικές μάζες στο εσωτερικό ενός ηλιακού φούρνου

2.5 Συστήματα αποθήκευσης ενέργειας

Η ενέργεια μπορεί να αποθηκευτεί ως αισθητή θερμότητα σε ένα υγρό ή σε ένα στερεό στοιχείο. Επίσης μπορεί να αποθηκευτεί ως λανθάνουσα θερμότητα, ως χημική ενέργεια ή ως προϊόντα σε μια αναστρέψιμη χημική αντίδραση. Όταν χρησιμοποιούμε τα υλικά αλλαγής φάσεως (PCM), ο όγκος αποθήκευσης μπορεί να μειωθεί σημαντικά.

Για την αποδοτική αποθήκευση θερμότητας για μελλοντική χρήση, μπορεί να χρησιμοποιηθεί μια αποθήκη θερμικής ενέργειας (TES). Αυτή η αποθήκη θα διατηρήσει τη θερμότητα κατά τη διάρκεια διαλειπουσών καταστάσεων του ήλιου. Ως συνέπεια, μπορεί να κάνει πιθανό το μαγείρεμα, ώρες μετά τις ώρες της ηλιακής ακμής.

Ένα TES για το ηλιακό μαγείρεμα πρέπει να είναι αναστρέψιμο και επαναφορτιζόμενο. Σε γενικές γραμμές τα TES χρησιμοποιούνται τόσο για θερμή όσο και για ψυχρή αποθήκευση. Τα ξεχωρίζουμε ανάλογα τις καταστάσεις, σε καθημερινή αποθήκευση ή σε εποχιακή αποθήκευση. Η καθημερινή αποθήκη για να είναι χρήσιμη πρέπει να φορτίζεται καθημερινά. Η εποχιακή αποθήκευση μπορεί να λιώσει μια μεγάλη ποσότητα PCM κατά τη θερμή εποχή του χρόνου και έπειτα να την απελευθερώσει την κρύα εποχή του χρόνου.

2.5.1 Αισθητή θερμότητα

Η αισθητή θερμότητα είναι η αποθηκευμένη ενέργεια σε ένα αντικείμενο και την αντιλαμβανόμαστε από την αύξηση της θερμοκρασίας του αντικειμένου. Η αισθητή θερμότητα μπορεί να εκφραστεί από την παρακάτω σχέση.

$$Q = mC_p\Delta T = \rho V C_p \Delta T \quad (2.1)$$

όπου το C_p είναι η ειδική θερμοχωρητικότητα.

Τα αέρια είναι ακατάλληλα για την αποθήκευση της αισθητής θερμότητας λόγω του ότι έχουν πολύ χαμηλή θερμοχωρητικότητα. Η αισθητή θερμότητα είναι ένας κοινός τρόπος αποθήκευσης ενέργειας. Στις οικιακές δεξαμενές νερού, κοινώς τους θερμοσίφωνες, το νερό που θερμαίνεται και αποθηκεύεται στη δεξαμενή χρησιμοποιεί την ικανότητα του νερού για αισθητή θερμότητα. Μπορούμε να αντιληφθούμε ότι το νερό ζεστάθηκε, μέσω της αφής. Αυτός είναι ένας πολύ απλός τρόπος αποθήκευσης ενέργειας. Ένα άλλο στοιχείο που βοηθάει είναι ότι πολύ συχνά η θερμική χωρητικότητα είναι γραμμική σε σχέση με τη θερμοκρασία. Αυτό μπορεί να φανεί χρήσιμο όταν η αισθητή θερμότητα αλλαγής φάσης αντικατασταθεί από τη λανθάνουσα θερμότητα εντός του θερμοκρασιακού πεδίου της αλλαγής φάσης.

2.5.2 Λανθάνουσα θερμότητα

Η θερμότητα που παρέχεται κατά τη διάρκεια της τήξης λέγεται λανθάνουσα θερμότητα. Η λανθάνουσα θερμότητα ανήκει στο θερμοκρασιακό πεδίο της αλλαγής φάσης. Η αποθηκευμένη ενέργεια σε ένα αντικείμενο μπορεί να ανέβει πάρα πολύ, ενώ η θερμοκρασία να ανέβει με πολύ χαμηλότερο ρυθμό σε σχέση με το θερμοκρασιακό πεδίο της αισθητής θερμότητας. Η αλλαγή φάσης μπορεί να συμβεί και σε σταθερή θερμοκρασία. Αυτή η ιδιότητα μας δίνει την ικανότητα αποθήκευσης ή έκλυσης μεγάλων ποσών θερμικής ενέργειας σε ένα πολύ μικρό θερμοκρασιακό εύρος.

Το υλικό στο οποίο θα αποθηκευτεί η λανθάνουσα θερμότητα πρέπει να επιλεγεί προσεκτικά. Η θερμοκρασία τήξης, η έναρξη στερεοποίησης, το σημείο έναρξης της τήξης για να γίνει χρήση της λανθάνουσας θερμότητας και η αποθηκευτική ικανότητα είναι σημεία που οδηγούν σε ένα αξιόπιστο υλικό. Με την επιλογή του σωστού υλικού, μπορεί κάποιος να αποθηκεύσει μεγάλα ποσά ενέργειας σε επιθυμητό θερμοκρασιακό εύρος. Η λανθάνουσα θερμότητα οδηγεί σε εξοικονόμηση όγκου και μείωση βάρους για μια συγκεκριμένη ποσότητα ενέργειας.

Έχει δοθεί πολλή προσπάθεια στην ανάπτυξη της λανθάνουσας ενέργειας, διότι μπορεί να αποθηκεύσει ενέργεια, που αλλιώς θα πήγαινε χαμένη. Η αποθήκευση της λανθάνουσας θερμότητας μπορεί να γεφυρώσει το χάσμα μεταξύ της παραγωγής ενέργειας και της κατανάλωσης.

Σε σύγκριση με την αισθητή θερμότητα, η λανθάνουσα θερμότητα κάνει εξοικονόμηση βάρους. Τα συστήματα λανθάνουσας θερμότητας είναι ελαφρύτερα και έχουν επίσης και μικρότερο όγκο από αυτά της αισθητής, για μια δεδομένη ποσότητα ενέργειας. Άλλο ένα πλεονέκτημα της αποθήκευσης λανθάνουσας θερμότητας είναι η ικανότητα αποθήκευσης ενέργειας σε περίπου σταθερή θερμοκρασία, το οποίο αντιστοιχεί στην θερμοκρασία αλλαγής φάσης του υλικού PCM.

2.5.3 Πτερύγια

Όπως γνωρίζουμε, τα PCM έχουν πολύ χαμηλή θερμική αγωγιμότητα. Αυτό οδηγεί σε χαμηλούς ρυθμούς φόρτισης και αποφόρτισης. Συνεπώς χρειάζονται τεχνικές υποβοήθησης μεταφοράς θερμότητας.

Γενικά, το πτερύγιο είναι ένα μέσο για την υποβοήθηση της θερμικής μεταφοράς. Ένας από τους βασικούς λόγους χρήσης του είναι ότι η μια πλευρά του έχει ξεκάθαρα μεγαλύτερη θερμική αγωγιμότητα από την άλλη. Άλλοι τρόποι υποβοήθησης της θερμικής μεταφοράς είναι η εισαγωγή ενός μεταλλικού πινάκα μέσα στο PCM, η χρήση του PCM διάσπαρτα σε συνδυασμό με υψηλής αγωγιμότητας σωματίδια και η μικρό-ενθυλάκωση του PCM.

Στο ερευνητικό πεδίο της μεταφοράς θερμότητας, η θερμική υποβοήθηση γίνεται κυρίως με τη χρήση πτερυγίων. Τα πτερύγια εισέρχονται στο υλικό PCM για να βοηθήσουν τη θερμική αγωγιμότητα. Τα πτερύγια προτιμώνται λόγω της απλότητας τους, της ευκολίας κατασκευής τους και του χαμηλού τους κόστους. Η χρήση σωλήνων με πτερύγια είναι σημαντική διότι η ενέργεια που ακτινοβολείται πρέπει να κατανέμεται ομοιόμορφα σε όλη την αποθήκη θερμότητας και να μεταφέρεται επίσης ομοιόμορφα σε ολόκληρη την επιφάνεια μαγειρικής.

2.6 Υλικό αλλαγής φάσης (PCM)

Η αλλαγή φάσης μπορεί να γίνει με τέσσερις τρόπους, από στερεά σε στερεά μορφή, από στερεά σε υγρή μορφή, από υγρή μορφή σε αέρια μορφή και από στερεά μορφή σε αέρια μορφή. Ο πιο συνηθισμένος τρόπος αποθήκευσης θερμικής ενέργειας είναι από στερεά σε υγρή μορφή. Τα υλικά αλλαγής φάσης επιτρέπουν την αποθήκευση της λανθάνουσας θερμότητας. Κατά τη διάρκεια της αλλαγής φάσης, τα PCM αποθηκεύουν μεγάλη ποσότητα θερμότητας, η οποία μπορεί να εκλυθεί σε μελλοντικό χρόνο. Το υλικό PCM για τους ηλιακούς φούρνους πρέπει να σχεδιαστεί έτσι ώστε να καλύπτει κάποιες προδιαγραφές. Αυτές είναι οι εξής:

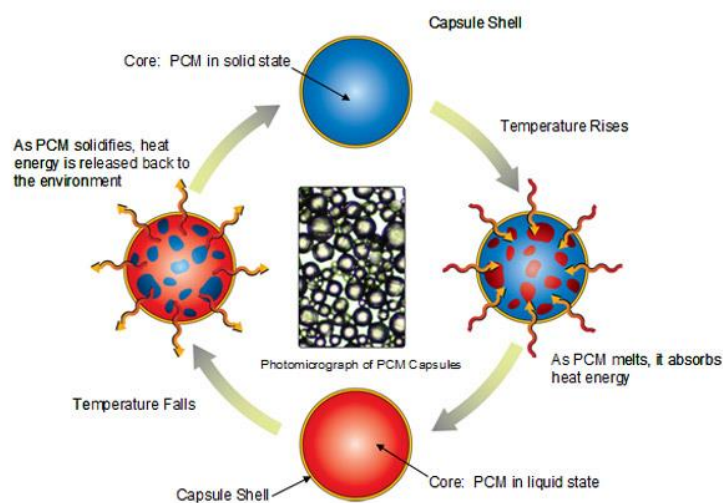
- Η αποθήκευση και η εξάντληση να είναι αναστρέψιμες
- Αρκετή αποθηκευτική χωρητικότητα
- Η αλλαγή φάσης να συμβαίνει στο επιθυμητό θερμοκρασιακό εύρος
- Η είσοδος και η έξοδος της θερμότητας να συμβαίνει σε αποδεκτούς ρυθμούς

Η ανάλυση της μεταφοράς θερμότητας της διαδικασίας αλλαγής φάσης είναι περίπλοκη. Τα όρια της αλλαγής από στερεά σε υγρή μορφή και αντίστροφα, αλλάζουν ανάλογα με την ταχύτητα

τήξης και πήξης. Η εφαρμογή των PCM εξαρτάται από τη θερμοκρασία, κάτω από την οποία γίνεται η αλλαγή φάσης.

Για να μπορέσουν να εφαρμοστούν τα υλικά PCM στους ηλιακούς φούρνους πρέπει να μπορούν να είναι διαθέσιμα σε μεγάλες ποσότητες και σε χαμηλό κόστος. Επίσης δεν πρέπει να περιέχουν δηλητηριώδη, εύφλεκτα ή εκρηκτικά μέρη. Δεν πρέπει να είναι διαβρωτικά στο δοχείο στο οποίο αποθηκεύονται. Επίσης, κατά τη διάρκεια της πήξης, δεν πρέπει να εμφανίσουν υπόψυξη γιατί θα επηρεάσουν το θερμικό αποτέλεσμα. Τέλος, η πυκνότητα του PCM αλλάζει, οπότε πρέπει να κρατηθεί μικρή για να διευκολύνει τη γεωμετρία μια απλής θερμικής αποθήκευσης.

Για να σιγουρευτούμε ότι το PCM έχει αρκετή αποθηκευτική ικανότητα και ότι διατηρεί μια λογική θερμική αγωγιμότητα, η ποσότητα του PCM πρέπει να είναι περιορισμένη. Με την επιλογή ενός PCM που έχει υψηλή λανθάνουσα θερμότητα σύντηξης ανά μάζα, θα αποτρέψει από τη χρήση μιας μεγάλης αποθήκης θερμότητας. Μια μεγάλη αποθήκη θερμότητας θα έχει μεγαλύτερες απαιτήσεις για μεταφορά θερμότητας, οι οποίες στη συνέχεια θα κάνουν τις θερμικές απώλειες να φαίνονται πολύ σημαντικές. Μια αποτελεσματική αποθήκη θερμότητας, επίσης απαιτεί από το υλικό PCM να έχει υψηλή ειδική θερμότητα, έτσι ώστε να μπορεί να αποθηκευτεί και μεγάλη ποσότητα αισθητής θερμότητας.



Σχήμα 2.9. Λειτουργία ενός υλικού PCM

2.6.1 Ο κύκλος του PCM

Ο κύκλος του PCM εξελίσσεται ως εξής:

1. Στην αρχή της θέρμανσης το PCM είναι στερεό. Η θερμότητα που του μεταφέρεται, θα αυξήσει την θερμοκρασία της αποθήκης. Απλή αγωγιμότητα.
2. Η δεύτερη διαδικασία συναγωγής αρχίζει όταν η θερμότητα μεταφέρεται εξ' ολοκλήρου μέσω αγωγιμότητας και η διαδικασία μετατροπής από στερεό σε υγρό έχει αρχίσει.

3. Το πάχος του στρώματος τήξης έχει αυξηθεί πολύ. Αυτό καταλήγει σε δύο ξεχωριστές φάσεις στερεού και υγρού.
4. Ξεκινάει η συναγωγή. Το περισσότερο στερεό έχει λιώσει και η διανομή της θερμοκρασίας στον πυρήνα του υγρού εξαρτάται από τη γεωμετρία και όχι από τον χρόνο.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3

ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΤΟΥ ΛΟΓΙΣΜΙΚΟΥ ENERGYPLUS

3.1 Γενικά

Το EnergyPlus είναι ένα λογισμικό ανοιχτού κώδικα που αναπτύχθηκε από το υπουργείο Ενέργειας των Η.Π.Α., με σκοπό την προσομοίωση και την ενεργειακή ανάλυση κτιρίων. Το λογισμικό βασίζεται στην αναλυτική περιγραφή των γεωμετρικών και δομικών χαρακτηριστικών του κτιρίου, των συστημάτων ψύξης – θέρμανσης και κλιματισμού, των μηχανολογικών εγκαταστάσεων και των κλιματολογικών χαρακτηριστικών της περιοχής που βρίσκεται το κτίριο. Με βάση τα δεδομένα που του δίνουμε, το EnergyPlus έχει τη δυνατότητα υπολογισμού μεγάλου αριθμού αποτελεσμάτων όπως, η ενεργειακή κατανάλωση του κτιρίου, οι θερμοκρασίες των θερμικών ζωνών και επιφανειών του κτιρίου, τα θερμικά και ψυκτικά φορτία που απαιτούνται για να καλυφθούν οι ψυκτικές και θερμικές απαιτήσεις του κτιρίου και διάφορα άλλα. Αυτά τα αποτελέσματα μπορούν να βοηθήσουν στη λήψη αποφάσεων διαφόρων μέτρων σχετικά με την ενεργειακή αναβάθμιση του κτιρίου.

Τα λογισμικά πάνω στα οποία βασίζεται το EnergyPlus είναι το BLAST (Building Loads And System Thermodynamics) και το DOE-2 (Department Of Energy-2). Αυτά είναι λογισμικά ενεργειακής ανάλυσης και δημιουργήθηκαν στα τέλη της δεκαετίας του '70 και στις αρχές τις δεκαετίας του '80. Κύρια αιτία δημιουργίας τους ήταν η ενεργειακή κρίση στις αρχές της δεκαετίας του '70, η οποία οδήγησε στο να αναγνωριστεί ότι η ενεργειακή κατανάλωση των κτιρίων είναι ένα πολύ σημαντικό δεδομένο. Το EnergyPlus έχει καταφέρει να διορθώσει πολλές από τις αδυναμίες των παραπάνω λογισμικών, με την εφαρμογή καινοτόμων μεθόδων προσομοίωσης όπως, η προσομοίωση της αλληλεπίδρασης μεταξύ των συστημάτων ψύξης – θέρμανσης και κλιματισμού με τις θερμικές ζώνες, η προσομοίωση με συστήματα ψύξης – θέρμανσης και κλιματισμού τελευταίας τεχνολογίας και η έκδοση αποτελεσμάτων με χρονικά βήματα μικρότερα της μιας ώρας.

3.2 Καταγραφή και ανάλυση των κατηγοριών δεδομένων εισόδου

Σε αυτό το σημείο θα καταγραφούν και θα περιγραφούν οι κυριότερες κατηγορίες δεδομένων που ζητά το λογισμικό. Η κάθε κατηγορία αποτελείται από επιμέρους αντικείμενα, τα οποία εμπεριέχουν όλα τα χαρακτηριστικά του κτιρίου που πρόκειται να μοντελοποιηθεί και καθορίζουν τα αποτελέσματα που θα προκύψουν.

Οι κύριες κατηγορίες δεδομένων είναι οι εξής:

- **Simulation Parameters:** Ορισμός διαφόρων παραμέτρων
- **Location and Climate:** Ορισμός κλιματολογικών συνθηκών της περιοχής μελέτης

- **Schedules:** Ορισμός χρονοδιαγραμμάτων
- **Surface Construction Elements:** Ορισμός των δομικών στοιχείων που αποτελούν το κτίριο
- **Thermal Zones and Surfaces:** Ορισμός των θερμικών ζωνών του κτιρίου. Επίσης ορίζονται οι εσωτερικές και εξωτερικές επιφάνειες, υαλοπίνακες και οι θερμικές ζώνες στις οποίες ανήκουν
- **Advanced Construction, Surface, Zone Concepts:** Ορισμός των συνθηκών που περιβάλλουν κάθε κτιριακή επιφάνεια
- **Room Air Models:** Ορισμός μαθηματικών μοντέλων υπολογισμού της θερμοκρασίας του αέρα σε κάθε ζώνη, στη περίπτωση που αυτή είναι ανομοιόμορφη.
- **Internal Gains:** Ορισμός παραγόντων που επηρεάζουν τα εσωτερικά θερμικά κέρδη του κτιρίου
- **Daylighting:** Ορίζεται ο έλεγχος του τεχνητού φωτισμού κάποιας ζώνης, ανάλογα με το επίπεδο φυσικού φωτισμού
- **Zone Air Flow:** Ορισμός αθέλητου και φυσικού αερισμού κάθε ζώνης
- **Exterior Equipment:** Ορισμός αντικειμένων που βρίσκονται εξωτερικά του κτιρίου και δεν το επηρεάζουν θερμικά
- **Fans:** Ορισμός ανεμιστήρα που διαθέτει ένα σύστημα ψύξης – θέρμανσης και κλιματισμού
- **Coils:** Ορισμός θερμοσυσσωρευτών που διαθέτει ένα σύστημα ψύξης – θέρμανσης και κλιματισμού
- **Evaporative Coolers:** Ορισμός ενός συστήματος ψύξης που βρίσκεται μέσα στο κτίριο
- **Humidifiers and Dehumidifiers:** Ορισμός του υγραντήρα και του αφυγραντήρα που διαθέτει ένα σύστημα ψύξης – θέρμανσης και κλιματισμού
- **Heat Recovery:** Ορισμός του εναλλάκτη θερμότητας που διαθέτει ένα σύστημα ψύξης – θέρμανσης και κλιματισμού
- **Controllers / Set Point Managers:** Έλεγχος της λειτουργίας της μηχανολογικής εγκατάστασης των συστημάτων ψύξης – θέρμανσης και κλιματισμού
- **Air Distribution:** Ορισμός της διανομής του αέρα σε μια ζώνη από τα συστήματα ψύξης – θέρμανσης και κλιματισμού
- **Node Branch - Management:** Ορισμός των κομβικών σημείων για την σύνθεση ενός συστήματος ψύξης – θέρμανσης και κλιματισμού
- **Pumps:** Ορισμός τύπου αντλιών που διαθέτει ο μηχανολογικός εξοπλισμός του κτιρίου
- **Plant – Condenser Flow Control:** Ορισμός του τρόπου διανομής των ρευστών του κλειστού κυκλώματος της μηχανολογικής εγκατάστασης
- **Solar Collectors:** Ορισμός των ηλιακών συλλεκτών που χρησιμοποιούνται στο κτίριο
- **Plant Heating and Cooling Equipment, Condenser Equipment and Heat Exchangers:** Ορισμός των εξαρτημάτων από τα οποία αποτελείται μια μηχανολογική εγκατάσταση
- **Water Heater and Thermal Storage:** Ορισμός τύπου δεξαμενών αποθήκευσης ζεστού νερού
- **Refrigeration:** Ορισμός του συστήματος ψύξης του κτιρίου

- **Demand Limiting Controls:** Παρέχει τη δυνατότητα περιορισμού των ενεργειακών απαιτήσεων του κτιρίου για συγκεκριμένα χρονικά διαστήματα
- **Electric Load Center Generators / Specifications:** Ορισμός συστημάτων που παράγουν ενέργεια στο κτίριο
- **Performance Curves:** Ορισμός τύπων εξισώσεων που δείχνουν τον τρόπο μεταβολής της απόδοσης των εξαρτημάτων της μηχανολογικής εγκατάστασης
- **Fluid Properties:** Ορισμός των ιδιοτήτων των ρευστών που χρησιμοποιούνται στις μηχανολογικές εγκαταστάσεις του κτιρίου
- **Economics:** Ορισμός οικονομικών στοιχείων που αφορούν την ενεργειακή κατανάλωση του κτιρίου
- **Output Reporting:** Ορισμός των αποτελεσμάτων που θα δώσει το λογισμικό, μετά το πέρας της προσομοίωσης

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4

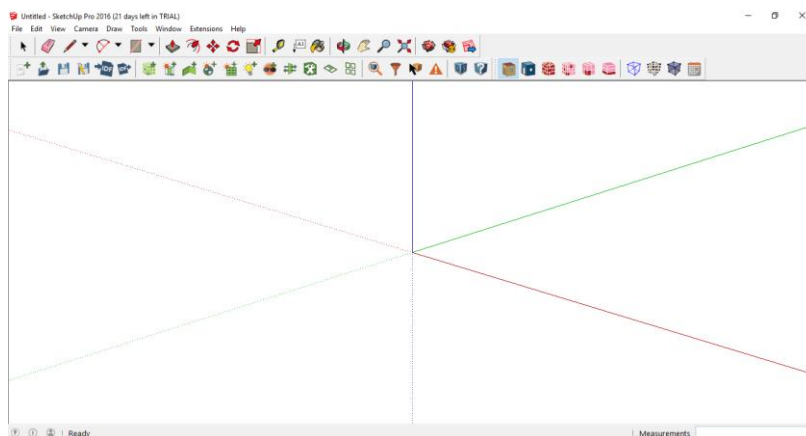
ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗ ΜΕ ΤΟ ΛΟΓΙΣΜΙΚΟ ENERGYPLUS

4.1 Σχεδιασμός με την βοήθεια των λογισμικών SketchUp και OpenStudio

Για τον σχεδιασμό του ηλιακού φούρνου χρησιμοποιήθηκε το λογισμικό SketchUp και το plug-in του OpenStudio στο SketchUp. Με το λογισμικό SketchUp κάνουμε το σχεδιαστικό κομμάτι. Ουσιαστικά κάνουμε τη διαστασιολόγηση του αντικειμένου μας. Το OpenStudio με τη σειρά του μας βοηθά στο να ορίσουμε τις θερμικές ζώνες και στη συνέχεια να τις εισάγουμε στο EnergyPlus.

Εκτελώντας το SketchUp, η πρώτη μας κίνηση είναι να επιλέξουμε πρότυπο (template). Το λογισμικό μας δίνει διάφορες επιλογές, ανάλογα με το αντικείμενο που θα σχεδιάσουμε και με τις διαστάσεις που αυτό θα έχει. Το κομμάτι των διαστάσεων είναι σημαντικό, διότι ότι μονάδα μέτρησης επιλέξουμε, αυτή πρέπει να χρησιμοποιήσουμε μόνο κατά τη διάρκεια του σχεδιασμού. Για τις ανάγκες της συγκεκριμένης εργασίας χρησιμοποιήθηκε το πρότυπο «Construction Documentation – Meters». Οπότε από εδώ και πέρα, ότι μέγεθος θελήσουμε να εισάγουμε θα πρέπει να είναι σε μέτρα.

Μπαίνοντας στην εφαρμογή, η πρώτη εικόνα που βλέπουμε είναι αυτή που ακολουθεί. Παρατηρώντας βλέπουμε ότι έχει δύο σειρές εργαλείων. Η πάνω σειρά είναι τα εργαλεία σχεδιασμού του SketchUp. Η κάτω σειρά περιλαμβάνει διάφορα χρήσιμα εργαλεία του OpenStudio. Σε αυτό το σημείο θα αναλύσουμε κάποια από τα εργαλεία του SketchUp. Τα καθαρά σχεδιαστικά είναι τα εξής, το εργαλείο «lines», το οποίο μας επιτρέπει να χαράζουμε ευθείες γραμμές, το «arcs», που μας βοηθά στο να σχεδιάζουμε ελλειπτικά αντικείμενα και τέλος το εργαλείο «shapes», το οποίο μας βοηθά να σχεδιάσουμε διάφορα σχήματα, όπως τετράγωνα, κύκλους και πολύγωνα. Στη συνέχεια έχουμε τα εργαλεία μορφοποίησης όπως το «push/pull», το οποίο δίνει βάθος σε μια δισδιάστατη επιφάνεια έτσι ώστε να μπορέσουμε να δημιουργήσουμε τρισδιάστατα μοντέλα, το «offset», το οποίο μετατοπίζει τις επιλεγμένες άκρες σε μια επιφάνεια, το «move», το οποίο μετακινεί, τεντώνει και αντιγράφει τις επιλεγμένες επιφάνειες και το «rotate», το οποίο περιστρέφει την επιλεγμένη επιφάνεια στην επιθυμητή γωνία. Τέλος, έχουμε τα εργαλεία περιήγησης όπως, το «orbit», το οποίο περιστρέφει το οπτικό μας πεδίο γύρω από το μοντέλο, το «pan», το οποίο μας επιτρέπει να μετακινήσουμε το οπτικό μας πεδίο κάθετα και οριζόντια και τέλος το «zoom», το οποίο μας επιτρέπει τη μεγέθυνση ή τη σμίκρυνση του αντικειμένου μελέτης μας. Από τα εργαλεία του OpenStudio θα χρησιμοποιήσουμε μόνο το «new space», το οποίο μας επιτρέπει να δημιουργήσουμε μια θερμική ζώνη.

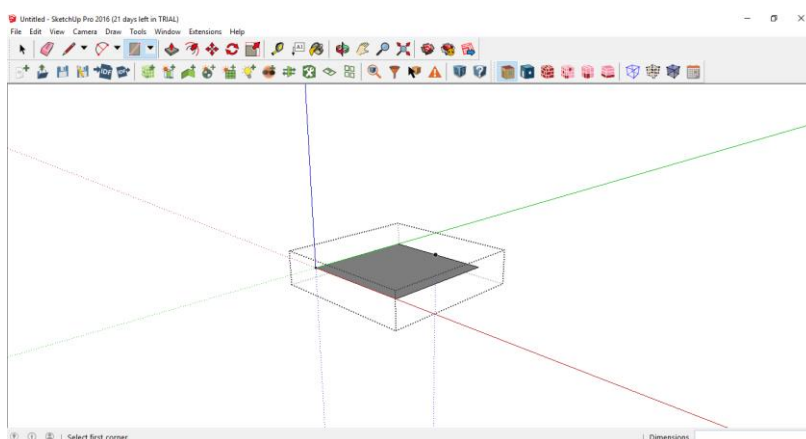


Σχήμα 4.1. Η αρχική εικόνα που βλέπουμε μπαίνοντας στο περιβάλλον του SketchUP

4.1.1 Σχεδιασμός των επίπεδων ηλιακών φούρνων

Σε αυτή την εργασία θα μελετήσουμε δύο μοντέλα επίπεδων φούρνων. Έναν μικρού μεγέθους και έναν μεγάλου μεγέθους. Ο επίπεδος ηλιακός φούρνος μικρού μεγέθους θα έχει διαστάσεις 0,55m x 0,55m x 0,17m και ο μεγάλος 0,55m x 0,55m x 0,34m. Και οι δύο θα έχουν γυάλινη οροφή με ένα πλαίσιο 0,02m. Ο υαλοπίνακας και των δύο επίπεδων φούρνων έχει διαστάσεις 0,51m x 0,51m.

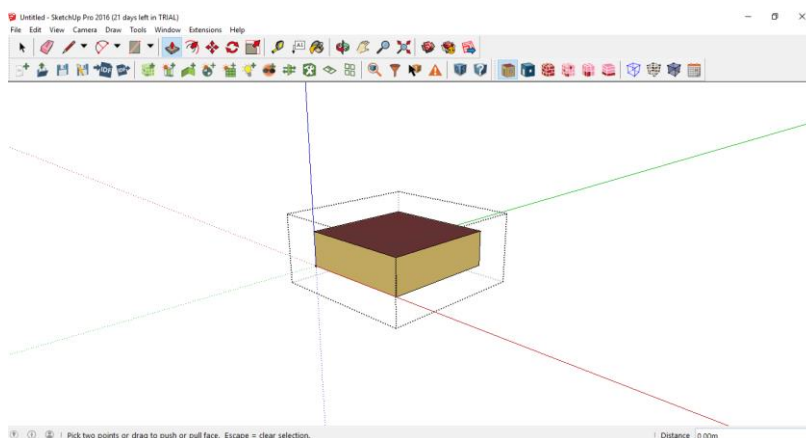
Ο τρόπος σχεδιασμού τους είναι ο ίδιος, απλά θα αλλάξει η διαστασιολόγηση από το ένα μοντέλο στο άλλο. Για να τους σχεδιάσουμε, αρχικά με το εργαλείο «new space» δημιουργούμε μια θερμική ζώνη στο σημείο με συντεταγμένες (0,0,0). Για να επιλέξουμε τη ζώνη πρέπει να κάνουμε διπλό κλικ πάνω στο σημείο που την ορίσαμε. Στη συνέχεια επιλέγουμε το εργαλείο «σχήματα» και σχεδιάζουμε ένα τετράγωνο με διαστάσεις 0,55m x 0,55m και για τους δύο επίπεδους φούρνους.



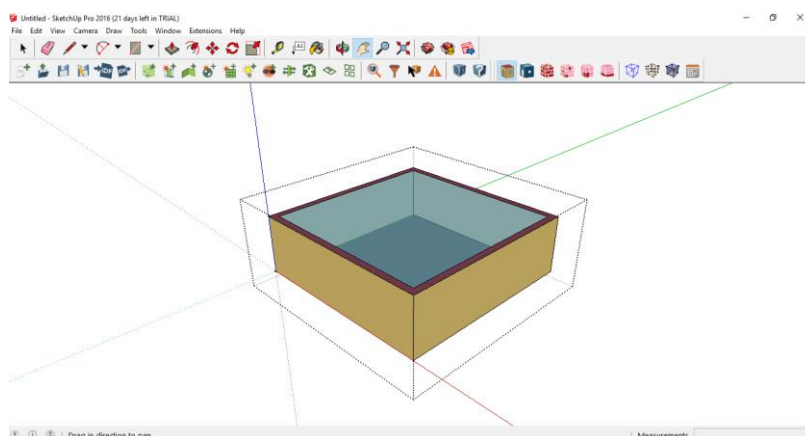
Σχήμα 4.2. Δημιουργία κάτοψης ηλιακού φούρνου

Στη συνέχεια επιλέγουμε την επιφάνεια που μόλις δημιουργήσαμε και με το εργαλείο «push/pull» δημιουργούμε ύψος 0,17m για τον μικρό επίπεδο φούρνο και 0,34m για τον μεγάλο επίπεδο φούρνο. Στη πάνω επιφάνεια των μοντέλων που δημιουργήσαμε, χρησιμοποιούμε το εργαλείο

«offset» σε μία από τις πλευρές της επιλεγμένης επιφάνειας και μετατοπίζουμε 0,02m. Σε αυτό το σημείο παρατηρούμε ότι αυτόματα το λογισμικό το θεωρεί παράθυρο. Αυτό συμβαίνει λόγω της χρήσης της θερμικής ζώνης. Όπως για παράδειγμα θεωρεί ότι η κάτω επιφάνεια είναι το πάτωμα, οπότε τη ξεχωρίζει δίνοντας της γκρι χρώμα. Στη συνέχεια τους τοίχους τους ξεχωρίζει με το μπλε χρώμα και τέλος την οροφή την χρωματίζει μωβ. Σε αυτό σημείο ολοκληρώσαμε τη σχεδίαση των μοντέλων επίπεδου ηλιακών μας φούρνων.



Σχήμα 4.3. Το τρισδιάστατο αποτέλεσμα της χρήσης του εργαλείου push/pull

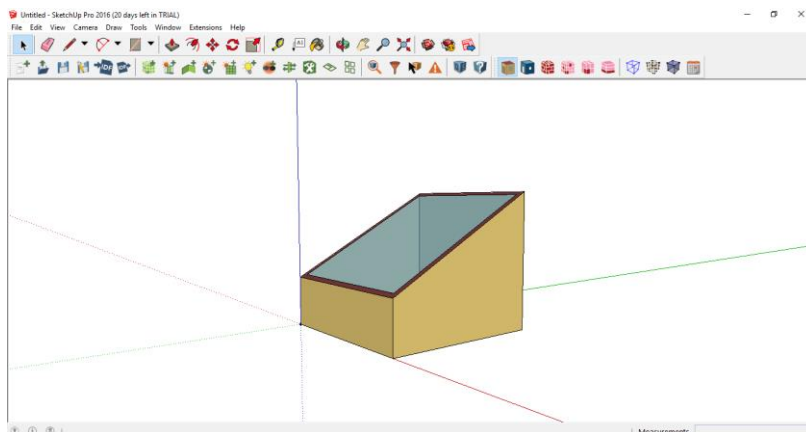


Σχήμα 4.4. Η τελική μορφή του επίπεδου ηλιακού φούρνου

4.1.2 Σχεδιασμός του κεκλιμένου ηλιακού φούρνου

Σε αυτή την ενότητα θα μελετήσουμε έναν κεκλιμένο ηλιακό φούρνο. Πριν ξεκινήσουμε, πρέπει να σημειωθεί ότι ο πράσινος και ο κόκκινος άξονας του περιβάλλοντος του λογισμικού υποδηλώνουν τα σημεία του ορίζοντα. Η πράσινη συνεχόμενη γραμμή δείχνει προς τον Βορρά, ενώ η συνεχόμενη κόκκινη γραμμή δείχνει προς την Ανατολή. Αντιστοίχως οι διακεκομμένες δείχνουν προς τον Νότο και τη Δύση αντίστοιχα. Η κατακόρυφη μπλε γραμμή απλά προσθέτει την τρίτη διάσταση. Οπότε, πρέπει να προσέξουμε οι κεκλιμένοι ηλιακοί φούρνοι να κοιτάνε προς το νότο.

Η διαδικασία σχεδιασμού είναι ίδια με του μικρού επίπεδου φούρνου μέχρι το σημείο που χρησιμοποιήσαμε το εργαλείο «push/pull». Η διαφορά είναι στη χρήση του εργαλείου «move». Χρησιμοποιώντας λοιπόν αυτό το εργαλείο στη βορινή πλευρά της επάνω επιφάνειας του μοντέλου μας, επιμηκύνουμε το τοίχωμα παράλληλα με τον μπλε άξονα για 0,34m. Έτσι δημιουργήσαμε ένα τρισδιάστατο κεκλιμένο μοντέλο. Με τον ίδιο τρόπο, όπως και στον πρώτο ηλιακό φούρνο, δημιουργούμε το παράθυρο. Είναι σημαντικό για την αξιοπιστία της σύγκρισης να είναι διαστάσεων 0,51m x 0,51m.



Σχήμα 4.5. Η τελική μορφή του κεκλιμένου ηλιακού φούρνου

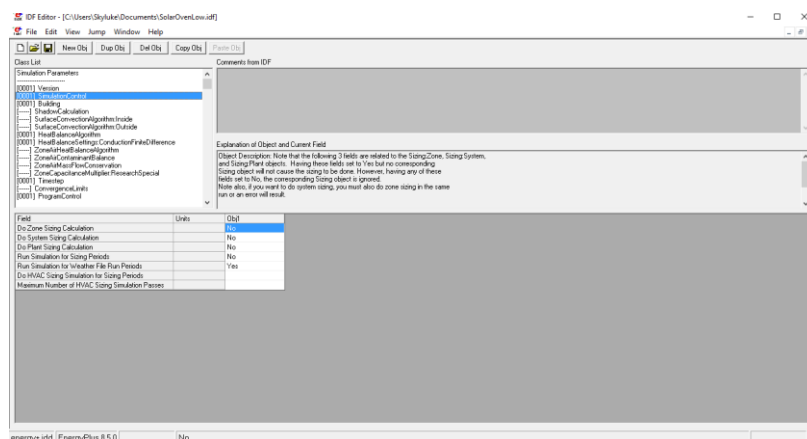
Αφού ολοκληρωθεί ο σχεδιασμός, χρησιμοποιούμε την επιλογή «export energyplus idf». Με αυτή την επιλογή μπορεί να μεταφερθεί το μοντέλο μας στο περιβάλλον του EnergyPlus, όπου θα γίνει η εισαγωγή διαφόρων δεδομένων, όπως κλιματικών συνθηκών, παραμέτρων προσομοίωσης, ορισμός υλικών κατασκευής κ.α.

Ηλιακοί φούρνοι	Όγκος (V)	Εμβαδόν υαλοπίνακα
Μικρός	0,051425 m ³	0,2601 m ²
Μεγάλος	0,10285 m ³	0,2601 m ²
Κεκλιμένος	0,10285 m ³	0,2601 m ²

Πίνακας 4.1. Ο όγκος των ηλιακών φούρνων που θα μελετήσουμε και το εμβαδόν των υαλοπινάκων τους

4.2 Εισαγωγή δεδομένων με το Idf Editor

Η εισαγωγή των δεδομένων γίνεται με ένα μικρό πρόγραμμα που περιλαμβάνεται στο πακέτο του EnergyPlus και ονομάζεται «Idf editor». Τις βασικές κατηγορίες που θα συναντήσουμε εδώ τις αναλύσαμε στο προηγούμενο κεφάλαιο. Κάποιες από αυτές θα τις χρησιμοποιήσουμε σε αυτή τη προσομοίωση.



Σχήμα 4.6. Οι επιλογές της κατηγορίας Simulation Control

4.2.1 Simulation Parameters

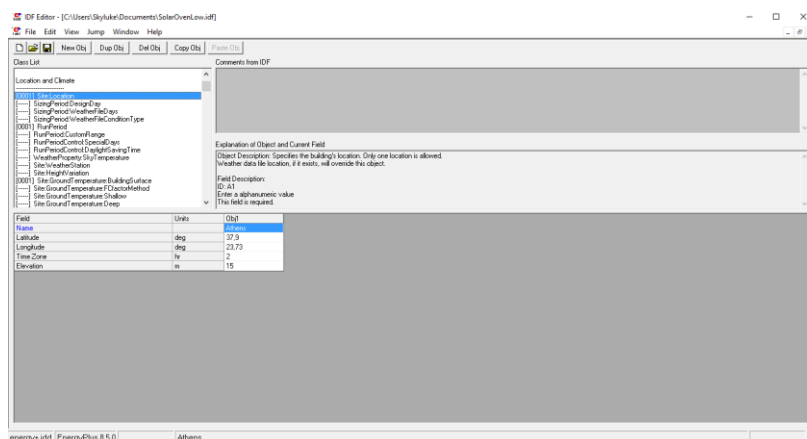
Στη κατηγορία Simulation Control επιλέχθηκαν τα εξής:

- Do Zone Sizing Calculation: επιλέγουμε «όχι» διότι δεν θέλουμε το πρόγραμμα να μας υπολογίσει τα θερμικά φορτία με βάση ένα ιδανικό θεωρητικό μοντέλο
- Do System Sizing Calculation: επιλέγουμε «όχι» διότι δεν θέλουμε το πρόγραμμα να μας υπολογίσει τα θερμικά φορτία με βάση ένα απλοποιημένο μοντέλο
- Do Plant Sizing Calculation: επιλέγουμε «όχι» διότι δεν θέλουμε να υπολογιστεί η δυναμικότητα των συστημάτων ψύξης και θέρμανσης, εφ' όσον δεν υπάρχουν στο μοντέλο
- Run Simulation for Sizing Periods: επιλέγουμε «όχι» διότι δεν μας ενδιαφέρει να γίνει προσομοίωση για τις πρότυπες μέρες
- Run Simulation for Weather File Run Periods: επιλέγουμε «ναι» διότι θέλουμε να πραγματοποιηθεί προσομοίωση για περιόδους του έτους που θα δηλωθούν σε επόμενη κατηγορία

Στη συνέχεια, στη κατηγορία Building ορίζουμε το αντικείμενο μας ως SolarOven. Έπειτα, στο πεδίο Heat Balance Algorithm επιλέγουμε τον αλγόριθμο Conduction Finite Difference και αφήνουμε ανεπηρέαστες τις επιλογές που μας δίνει. Στη συνέχεια στο πεδίο Heat Balance Settings: Conduction Finite Difference εισάγουμε την επιλογή Fully Implicit Fully Order αφήνοντας όλες τις υπόλοιπες επιλογές ανεπηρέαστες. Ακολούθως, στην κατηγορία Timestep, ορίζουμε ως χρονικό βήμα το 1 λεπτό. Οπότε, επιλέγουμε τα 60 χρονικά βήματα την ώρα στο πεδίο Number of Timesteps per Hour.

4.2.2 Location and Climate

Στη κατηγορία Site Location ορίζουμε τα δεδομένα της περιοχής που θα γίνει η μελέτη. Στην προκειμένη περίπτωση θα οριστεί η Αθήνα. Τα δεδομένα που εισήχθησαν φαίνονται στο επόμενο σχήμα.



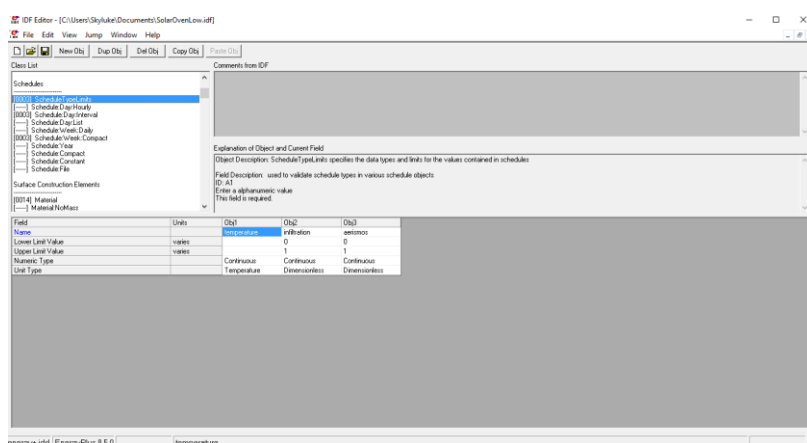
Σχήμα 4.7. Τα γεωγραφικά δεδομένα της Αθήνας

Στη συνέχεια στην επιλογή Run Period, επιλέγουμε την εποχή του χρόνου που θέλουμε να γίνει η προσομοίωση. Αυτή την εποχή την ορίζουμε σε μια τυπική καλοκαιρινή μέρα, γιατί τότε μπορούμε κυρίως να εκμεταλλευτούμε την ηλιακή ακτινοβολία για το ηλιακό μαγείρεμα. Αυτή η τυπική μέρα είναι η 23^η Ιουλίου. Στο πεδίο Day of Week for Start Day επιλέγουμε το Use Weather File. Στα επόμενα πεδία που ρωτάει για χρήση του αρχείου καιρού επιλέγουμε «όχι».

Στη συνέχεια, στη κατηγορία Site Ground Temperature Building Surface ορίζουμε τη μέση θερμοκρασία των καλοκαιρινών μηνών. Τα δεδομένα αυτά μπορούμε να τα πάρουμε από τον ιστοσελίδα του Κέντρου Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας (Κ.Α.Π.Ε.). Οπότε για το μήνα Ιούλιο θέτουμε θερμοκρασία 24,7°C.

4.2.3 Schedules

Αυτή η κατηγορία χρησιμοποιείται για την εισαγωγή των χρονοδιαγραμμάτων, βάση των οποίων λειτουργούν διάφορες συσκευές, φωτισμοί και θερμοστάτες. Επίσης χρησιμοποιείται για τον προγραμματισμό της πυκνότητας κατοίκησης των χώρων από χρήστες καθώς και το επίπεδο δραστηριότητας των χρηστών.



Σχήμα 4.8. Τα schedules του ηλιακού φούρνου

Σε ένα μοντέλο όπως αυτό που μελετάει αυτή η εργασία, θα δημιουργήσουμε τα εξής χρονοδιαγράμματα, θερμοκρασία, αερισμός και διείσδυση αέρα. Θα πρέπει να προσέξουμε, λόγω του γεγονότος ότι η μελέτη μας διαρκεί μόνο τους καλοκαιρινούς μήνες, τα πεδία που ορίζουν τα χρονοδιαγράμματα σε ετήσια βάση πρέπει να μην οριστούν.

4.2.4 Surface Construction Elements

Σε αυτή την κατηγορία ορίζουμε τα υλικά κατασκευής των επιφανειών του ηλιακού φούρνου. Στην υποκατηγορία Materials προσθέτουμε τα χαρακτηριστικά των αδιαφανών υλικών που θα χρησιμοποιήσουμε για τις επιφάνειες του ηλιακού φούρνου.

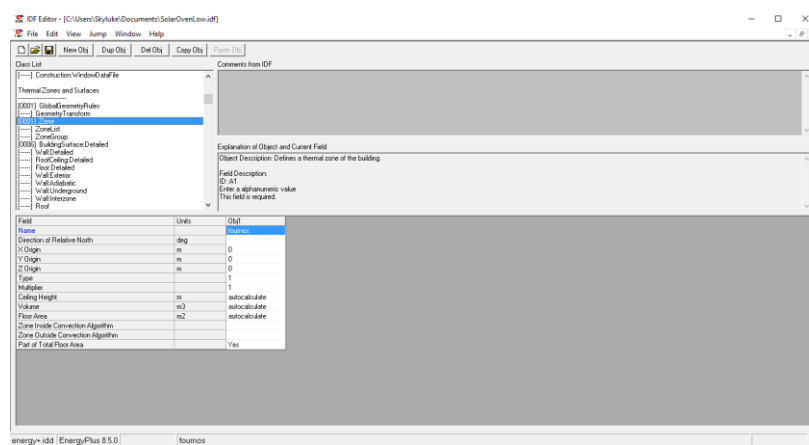
Υλικά	Χαρακτηριστικά			
	Πάχος (m)	Θερμική αγωγιμότητα (w/m- K)	Πυκνότητα (kg/m ³)	Ειδική θερμότητα (J/kg-K)
<i>Εξωτερικό περίβλημα</i>				
Κόντρα – πλακέ	0,004	0,12	540	1210
<i>Μόνωση</i>				
Aerogel	0,04	0,014	150	1000
Φελλός	0,04	0,04	250	1800
Μαλλί προβάτου	0,04	0,042	14	1700
Fiberglass	0,091	0,04	1600	700
<i>Εσωτερικό περίβλημα</i>				
Μαύρος χάλυβας	0,001	50	8000	445
Φύλλα αλουμινίου	0,0002	235	2700	900
<i>Πλάκα απορρόφησης</i>				
Μαύρος χάλυβας	0,01	50	8000	445
Χυτοσίδηρος	0,01	58	7300	460

Πίνακας 4.2. Τα χαρακτηριστικά των αδιαφανών υλικών που χρησιμοποιήσαμε

Η επόμενη κατηγορία που μας ενδιαφέρει είναι η Window Material: Glazing. Σε αυτή τη κατηγορία ορίζουμε τα διαφανή υλικά που θα χρησιμοποιήσουμε. Επιλέξαμε να χρησιμοποιήσουμε δύο ειδών γυαλιά, ένα με χαμηλή και ένα με υψηλή ανακλαστικότητα.

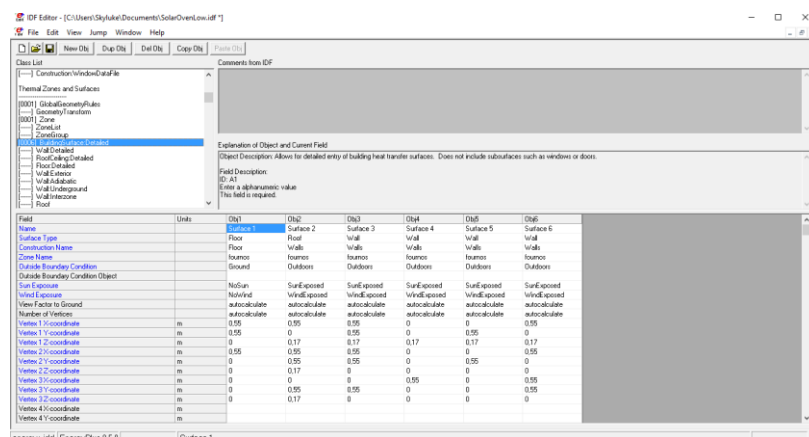
- Coordinate System: Ορίσαμε Relative για να έχουμε ευελιξία σε αλλαγές θέσης και προσανατολισμού
- Daylighting Reference Point Coordinate System: Ορίσαμε Relative για τον παραπάνω λόγο. Το Relative σύστημα αξόνων λαμβάνει υπ' όψιν του τον βόρειο άξονα του κτηρίου και της κάθε ζώνης για να προσδιορίσει το σημείο αναφοράς στο χώρο
- Rectangular Surface Coordinate System: Ορίζουμε Relative για τον ίδιο λόγο.

Στη συνέχεια στο πεδίο Zone δηλώνουμε τη θερμική ζώνη με τις συντεταγμένες της. Οι συντεταγμένες των θερμικών ζωνών προσδιορίζονται από το λογισμικό OpenStudio και συνεπώς βρίσκονται στο αρχείο idf από τη πρώτη στιγμή που δημιουργείται το αρχείο. Στη περίπτωση που για κάποιο λόγο δεν μπουν αυτόματα, τότε τις εισάγουμε εμείς. Στη προκειμένη περίπτωση, οι συντεταγμένες της θερμικής μας ζώνης είναι (x,y,z)=(0,0,0).



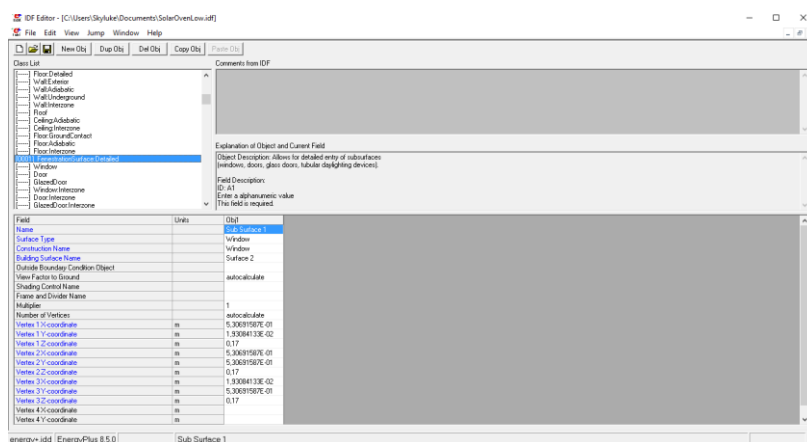
Σχήμα 4.11. Τα πεδία της κατηγορίας Zone

Στη κατηγορία Building Surface: Detailed εισάγουμε τις αδιαφανείς επιφάνειες του ηλιακού φούρνου και τις αντιστοιχίζουμε με τον τύπο της επιφάνειας τους, με τα δομικά τους στοιχεία, τη θερμική ζώνη, τις οριακές συνθήκες στις οποίες υπόκεινται (αν είναι εκτεθειμένες σε ήλιο και άνεμο) και με τις συντεταγμένες τους.



Σχήμα 4.12. Οι αδιαφανείς επιφάνειες του φούρνου και με τι αντιστοιχίζονται

Στη συνέχεια στη κατηγορία Fenestration Surface: Detailed ορίζουμε τους υαλοπίνακες μαζί με τον τύπο επιφάνειας τους, τα δομικά τους στοιχεία, την αδιαφανή επιφάνεια πάνω στην οποία βρίσκονται και τις συντεταγμένες τους.



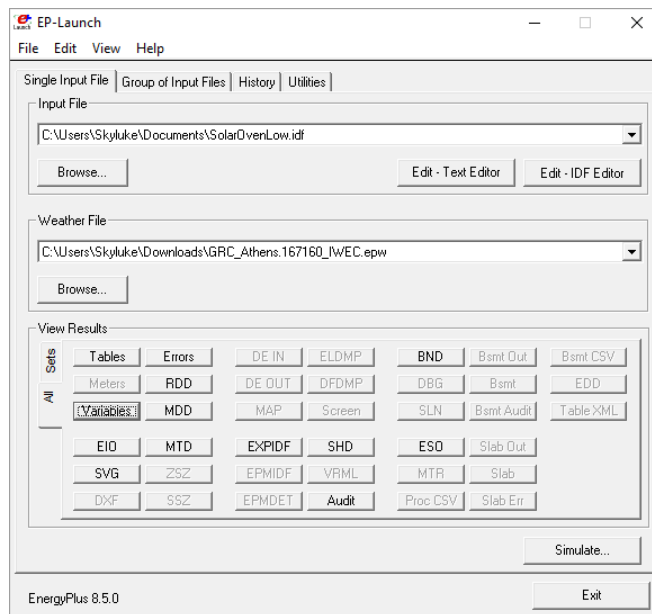
Σχήμα 4.13. Οι αδιαφανείς επιφάνειες του φούρνου και με τι αντιστοιχίζονται

4.2.6 Output Reporting

Στη κατηγορία Output: Variable μπορούμε να επιλέξουμε από μια σειρά μεταβλητών για επιπλέον αποτελέσματα. Από αυτό το πεδίο θα εισάγουμε τις μεταβλητές «Zone Air Temperature» και «Surface Inside Face Temperatures». Αυτές οι μεταβλητές θα μας δώσουν την θερμοκρασία του αέρα στο θάλαμο του ηλιακού φούρνου και την θερμοκρασία των εσωτερικών επιφανειών του αντίστοιχα. Επίσης θα βάλουμε αρχικά και την μεταβλητή «Outdoor Air DryBulb Temperature» για να δούμε τη διακύμανση της θερμοκρασίας του περιβάλλοντος την τυπική καλοκαιρινή μέρα που διαλέξαμε. Τέλος, στο «reporting frequency» θα επιλέξουμε ωριαίο.

4.3 Προσομοίωση με το EP – Launch

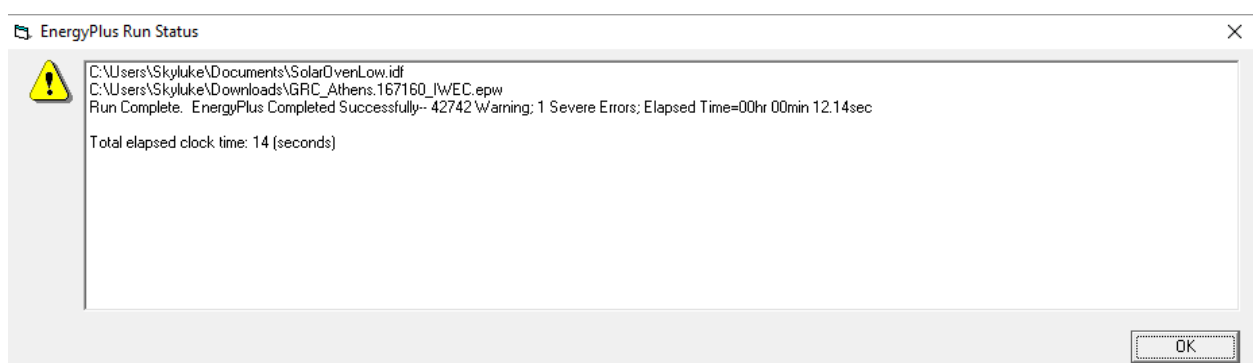
Η προσομοίωση είναι το τελευταίο βήμα της διαδικασίας. Ακολουθεί μετά την εισαγωγή όλων των απαραίτητων δεδομένων στο βοηθητικό πρόγραμμα Idf Editor. Για την προσομοίωση θα χρησιμοποιήσουμε ένα άλλο βοηθητικό πρόγραμμα του EnergyPlus, το EP – Launch. Η αρχική του εικόνα, μόλις μπαίνουμε στο περιβάλλον του είναι αυτή που ακολουθεί.



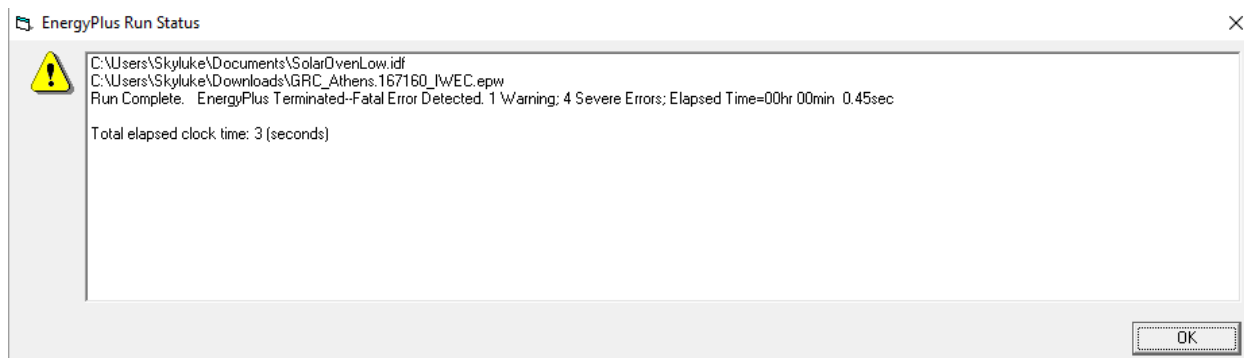
Σχήμα 4.14. Το περιβάλλον του EP - Launch

Στην πρώτη καρτέλα Single Output File επιλέγουμε τα αρχεία που επεξεργαστήκαμε, έτσι ώστε να τρέξει η προσομοίωση. Στο πεδίο Input File επιλέγουμε το αρχείο idf, στο οποίο εισαγάγαμε τα δεδομένα. Η επιλογή γίνεται με την αναζήτηση του αρχείου μέσα από τα αρχεία του υπολογιστή μας.

Στο δεύτερο πεδίο που έχει όνομα Weather File, εισαγάγουμε τον καιρό της Αθήνας. Το αρχείο αυτό, που έχει κατάληξη .epw, μπορεί να βρεθεί από το Υπουργείο Ενέργειας των Η.Π.Α. μέσω της ιστοσελίδας του EnergyPlus. Όταν είμαστε έτοιμοι πατάμε την επιλογή Simulate (Προσομοίωση). Το αποτέλεσμα μπορεί να είναι επιτυχημένο ή αποτυχημένο. Αυτό έχει σχέση με την ορθότητα των δεδομένων που εισαγάγαμε.



Σχήμα 4.15. Παράθυρο διαλόγου επιτυχημένης προσπάθειας προσομοίωσης



Σχήμα 4.16. Παράθυρο διαλόγου επιτυχημένης προσπάθειας προσομοίωσης

4.4 Παραμετροποίηση

Προκειμένου να γίνει η μελέτη του ηλιακού φούρνου, πρέπει να ελέγξουμε την αντίδραση του στις αλλαγές κάποιων παραμέτρων. Σε αυτό το σημείο θα αναλυθούν οι παράμετροι που θα μελετηθούν και θα εξηγηθεί ο λόγος για τον οποίο θεωρούμε την κάθε μία σημαντική.

4.4.1 Μέγεθος και σχήμα ηλιακού φούρνου

Το μέγεθος του ηλιακού φούρνου επηρεάζει άμεσα στο θεωρητικό κομμάτι τα αποτελέσματα. Ένας μεγαλύτερος χώρος χρειάζεται περισσότερη ώρα να θερμανθεί και πολλές φορές δεν μπορεί να συγκεντρώσει τις θερμοκρασίες που χρειάζονται έτσι ώστε να λειτουργήσει σωστά. Από την άλλη ένας μικρότερος χώρος λόγω του μικρότερου του όγκου έχει καλύτερα αποτελέσματα.

Ένας παράγοντας επίσης που παίζει σημαντικό ρόλο είναι το σχήμα του φούρνου. Ένας φούρνος που ο υαλοπίνακας του βρίσκεται σε κλίση και με κατεύθυνση προς τον Νότο, συγκεντρώνει περισσότερες ώρες την ημέρα την ηλιακή ακτινοβολία, από ότι ο επίπεδος. Επίσης, η ηλιακή ακτινοβολία που προσπίπτει στην επιφάνεια του υαλοπίνακα, λόγω της κλίσης είναι κυρίως άμεση, ενώ στον επίπεδο, το συντριπτικά μεγαλύτερο ποσοστό ηλιακής ακτινοβολίας που προσπίπτει στον υαλοπίνακα είναι μετά από αντανάκλαση. Επίσης, η ενέργεια που μεταφέρει η άμεση ακτινοβολία είναι μεγαλύτερη από την αντανακλώμενη.

Σε αυτή την εργασία θα μελετήσουμε τριών ειδών ηλιακούς φούρνους, έναν μικρό, έναν μεγάλο και έναν κεκλιμένο. Οι διαστάσεις του αναφέρθηκαν στην αρχή αυτού του κεφαλαίου κατά το σχεδιασμό τους.

4.4.2 Ανακλαστικότητα του εξωτερικού υαλοπίνακα

Η ανακλαστικότητα είναι μια τιμή που τη συμβολίζουμε με το λατινικό χαρακτήρα R και μετρά την ικανότητα ενός υλικού, στη προκειμένη περίπτωση υαλοπίνακα, να ανακλά την ηλιακή ακτινοβολία. Το εύρος τιμών της είναι από το 0 μέχρι το 1, όπου η μηδενική τιμή δείχνει ότι όλη

η ακτινοβολία που προσκρούει στο υλικό απορροφάται, ενώ η μονάδα ότι έχουμε ολική ανάκλαση της ηλιακής ακτινοβολίας.

Στον ηλιακό φούρνο που μελετάμε έχουμε 2 υαλοπίνακες. Ο εξωτερικός υαλοπίνακας θέλουμε να έχει χαμηλή ανακλαστικότητα, έτσι ώστε να συγκεντρώνεται μεγάλο μέρος της θερμικής ακτινοβολίας του ήλιου μέσα στον φούρνο. Θα αξιολογηθεί το κατά πόσο ένας μεγαλύτερος συντελεστής ανάκλασης επηρεάζει την απόδοση του φούρνου.

4.4.3 Χρήση διαφορετικής μόνωσης

Υπάρχουν πολλές κατηγορίες μόνωσης, εμείς θα ασχοληθούμε με τη θερμομόνωση. Ως θερμομόνωση ορίζεται η μείωση των αποτελεσμάτων ποικίλων διαδικασιών μεταφοράς θερμότητας μεταξύ αντικειμένων, τα οποία βρίσκονται σε θερμική επαφή ή σε απόσταση ικανή για επίδραση από ακτινοβολία. Η θερμότητα που μεταφέρεται σε ένα σώμα εξαρτάται από τη μάζα του, το είδος του υλικού και από τη μεταβολή της θερμοκρασίας του.

Στόχος των θερμομονωτικών υλικών είναι να μειώσουν την θερμική ροή μεταξύ σωμάτων ή χώρων που βρίσκονται σε διαφορετική θερμοκρασία. Η θερμομόνωση μειώνει τη μεταφορά θερμότητας από αγωγή ή ακτινοβολία, εμποδίζοντας ή αντανακλώντας και όχι απορροφώντας την ενέργεια.

Τα θερμομονωτικά υλικά χαρακτηρίζονται από την τιμή U , δηλαδή από τη θερμοπερατότητα τους. Αυτή η τιμή χρησιμοποιείται για να δώσει την αποτελεσματικότητα διαφόρων μονωτικών υλικών με διάφορα πάχη. Είναι η θερμική αντίσταση ενός υλικού συγκεκριμένου πάχους και εκφράζει τη ροή θερμότητας που προκαλείται από τη διαφορά θερμοκρασίας. Σε αυτή την εργασία θα μελετήσουμε την επίδραση που έχουν στην απόδοση του φούρνου δύο θερμομονωτικά υλικά, ο φελλός και το aerogel.

4.4.4 Χρήση ή όχι ανακλαστικών εσωτερικών τοιχωμάτων

Στο χώρο της κατασκευής ηλιακών φούρνων κυριαρχούν δύο σχολές. Η πρώτη θεωρεί ότι στα εσωτερικά τοιχώματα του φούρνου, πρέπει να βάλουμε κάποιο υλικό με υψηλή ανακλαστικότητα. Με αυτό τον τρόπο η ηλιακή ακτινοβολία που εισέρχεται στον θάλαμο του φούρνου, ανακλάται στα τοιχώματα και οδηγείται στο μαγειρικό σκεύος, στο οποίο και ανεβάζει τη θερμοκρασία.

Η άλλη σχολή θεωρεί ότι στα εσωτερικά τοιχώματα του φούρνου, πρέπει να βάζουμε κάποιο θερμοαπορροφητικό υλικό μαύρου χρώματος. Ουσιαστικά, η ηλιακή ακτινοβολία που εισέρχεται στο θάλαμο του φούρνου, απορροφάται από αυτό το υλικό, το οποίο στη συνέχεια την εκπέμπει στο χώρο σε μορφή θερμικής ενέργειας. Αυτό έχει ως σκοπό την αύξηση της θερμοκρασίας του αέρα του φούρνου. Σε αυτή την εργασία θα χρησιμοποιήσουμε ως ανακλαστικό υλικό τα φύλλα αλουμινίου και ως θερμοαπορροφητικό υλικό, χάλυβα μαύρου χρώματος και χυτοσίδηρο.

4.4.5 Χρήση διαφορετικών υλικών για το δάπεδο του φούρνου

Για την εξέταση αυτής της παραμέτρου θα μελετήσουμε τον χάλυβα και τον χυτοσίδηρο. Είναι δύο υλικά που έχουν την ικανότητα να απορροφούν την θερμότητα και θέλουμε να εξετάσουμε την επίδραση που έχει το καθένα στην απόδοση του ηλιακού φούρνου.

4.4.6 Χρήση περισσότερων στρώσεων υαλοπινάκων

Σε αυτή την παράμετρο θα μελετήσουμε την επίδραση που έχουν στην απόδοση του ηλιακού φούρνου οι περισσότερες στρώσεις υαλοπίνακα.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5

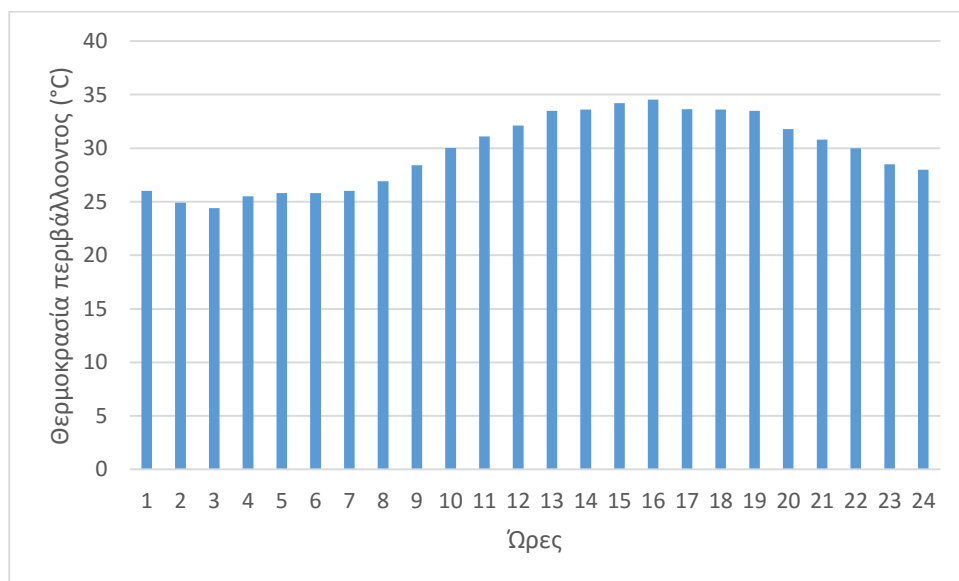
ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗΣ

Στο κεφάλαιο αυτό θα παρουσιαστούν τα αποτελέσματα που προέκυψαν από τις προσομοιώσεις των διαφόρων μοντέλων από το λογισμικό EnergyPlus. Οι βασικοί παράμετροι που επιλέξαμε για να κατασκευάσουμε τους ηλιακούς φούρνους και στη συνέχεια να τους συγκρίνουμε μεταξύ τους για να ελέγξουμε την επίδραση του μεγέθους και της μορφολογίας είναι οι εξής:

- Εξωτερικό τοίχωμα: Κόντρα πλακέ
- Θερμομόνωση: Φελλός
- Εσωτερικό τοίχωμα: Εδώ θα χρησιμοποιήσουμε και τα φύλλα αλουμινίου και τον βαμμένο μαύρο χάλυβα.
- Εσωτερικό τοίχωμα πατώματος: χάλυβας μαύρου χρώματος

Διαλέξαμε μια τυπική καλοκαιρινή μέρα περίπου στα τέλη Ιουνίου. Η θερμοκρασία κατά τη διάρκεια της ημέρας μετρήθηκε με τη μεταβλητή «Site Outdoor Air Dry Bulb Temperature». Η εξωτερική θερμοκρασία είναι η ίδια σε όλα τα σενάρια. Οι μεταβλητές που επιλέξαμε να μετρήσουμε στη μελέτη μας είναι η μεταβλητή «Surface Inside Face Temperature» και η «Zone Air Temperature». Οι δύο μεταβλητές μας υποδεικνύουν διαφορετικά αποτελέσματα.

Η πρώτη, η «Surface Inside Face Temperature» θα μας βοηθήσει να υπολογίσουμε την θερμοκρασία στο μαγειρικό σκεύος που θα τοποθετήσουμε στον ηλιακό φούρνο. Τη μεταβλητή «Zone Air Temperature» θα την χρησιμοποιήσουμε για να μετρήσουμε τη θερμοκρασία του αέρα στον θάλαμο του φούρνου.

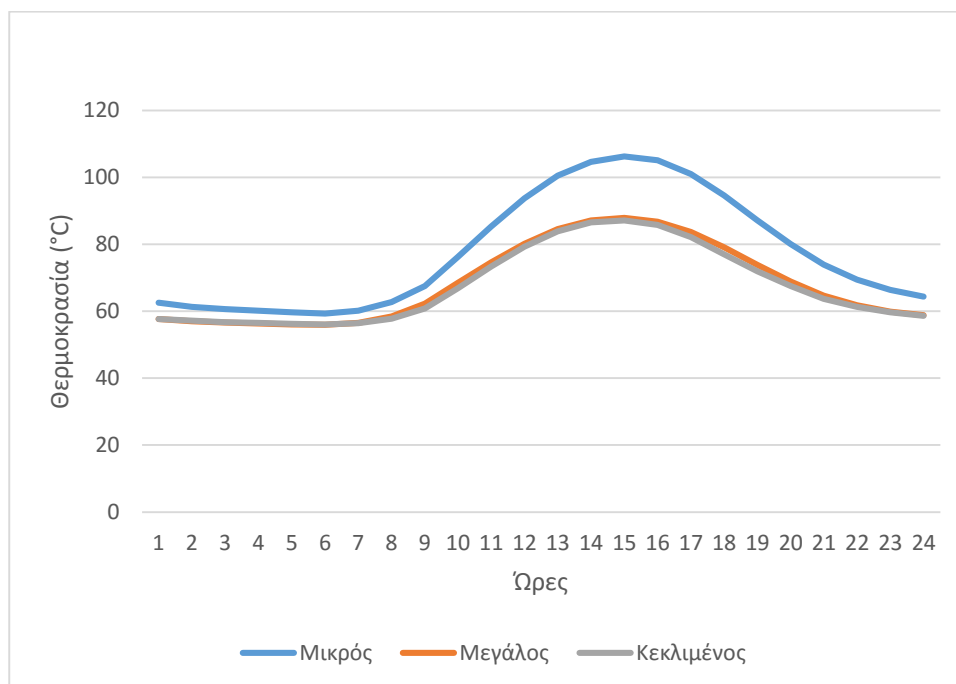


Διάγραμμα 5.1. Η διακύμανση της θερμοκρασίας περιβάλλοντος μια τυπική καλοκαιρινή μέρα

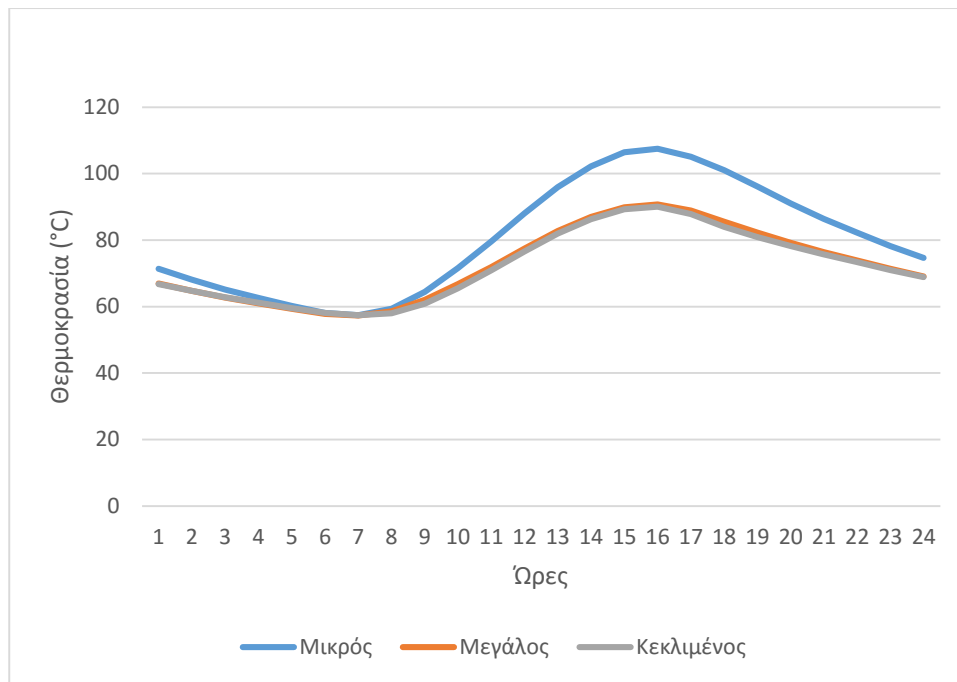
5.1 Αποτελέσματα με βάση τη παράμετρο του μεγέθους

Σε αυτήν την ενότητα θα παρουσιαστούν τα διαγράμματα απόδοσης των μοντέλων ηλιακών φούρνων που χρησιμοποιήσαμε. Αρχικά θα παρουσιάσουμε τη συσχέτιση των δύο παραπάνω μεταβλητών, τη θερμοκρασία στην πλάκα απορρόφησης του φούρνου, η οποία είναι η εσωτερική κάτω επιφάνεια του φούρνου, από μαύρου χάλυβα και τη θερμοκρασία του αέρα μέσα στον φούρνο. Η συσχέτιση αυτών των δύο μεταβλητών θα μας οδηγήσει σε συμπεράσματα.

5.1.1 Θερμοκρασία αέρα φούρνου

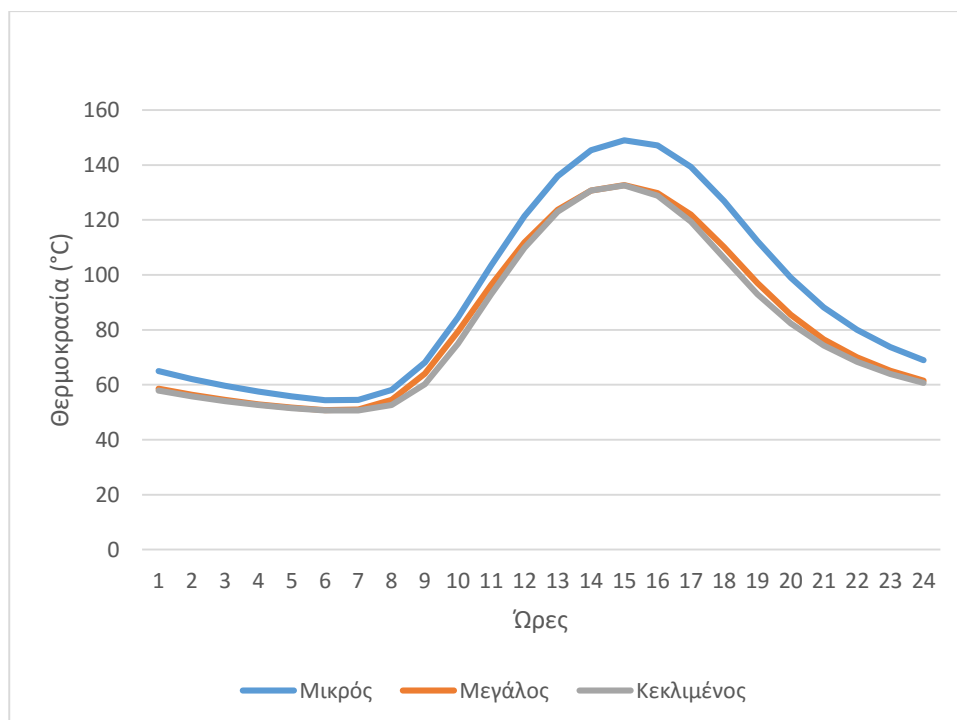


Διάγραμμα 5.2. Σύγκριση των ηλιακών φούρνων με φύλλα αλουμινίου στην εσωτερική τους επιφάνεια με βάση τη θερμοκρασία του αέρα στον φούρνο

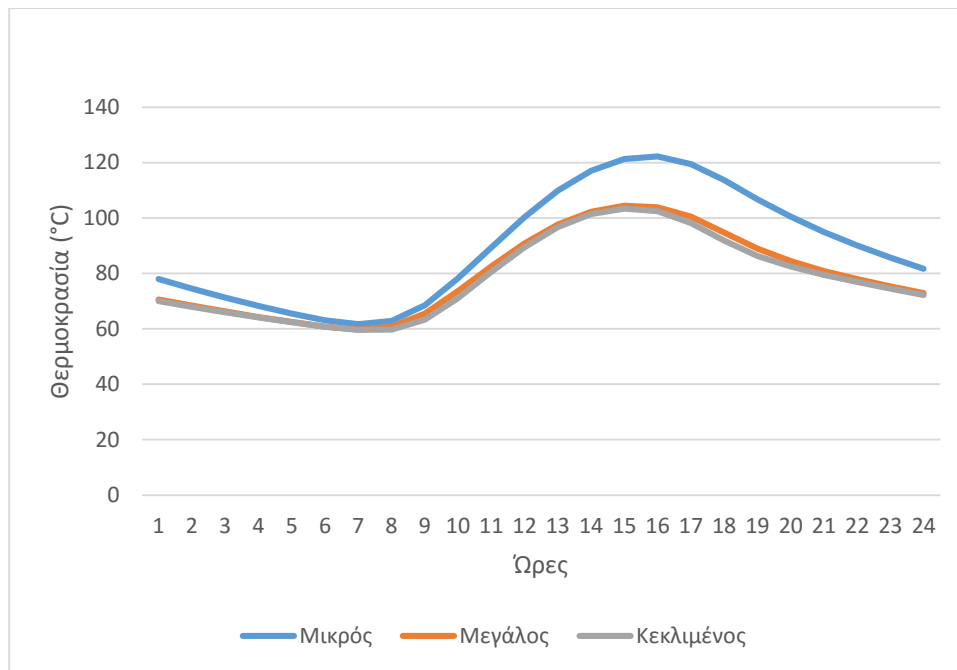


Διάγραμμα 5.3. Σύγκριση των ηλιακών φούρνων με φύλλα χάλυβα στην εσωτερική τους επιφάνεια με βάση τη θερμοκρασία του αέρα στον φούρνο

5.1.2 Θερμοκρασία δαπέδου

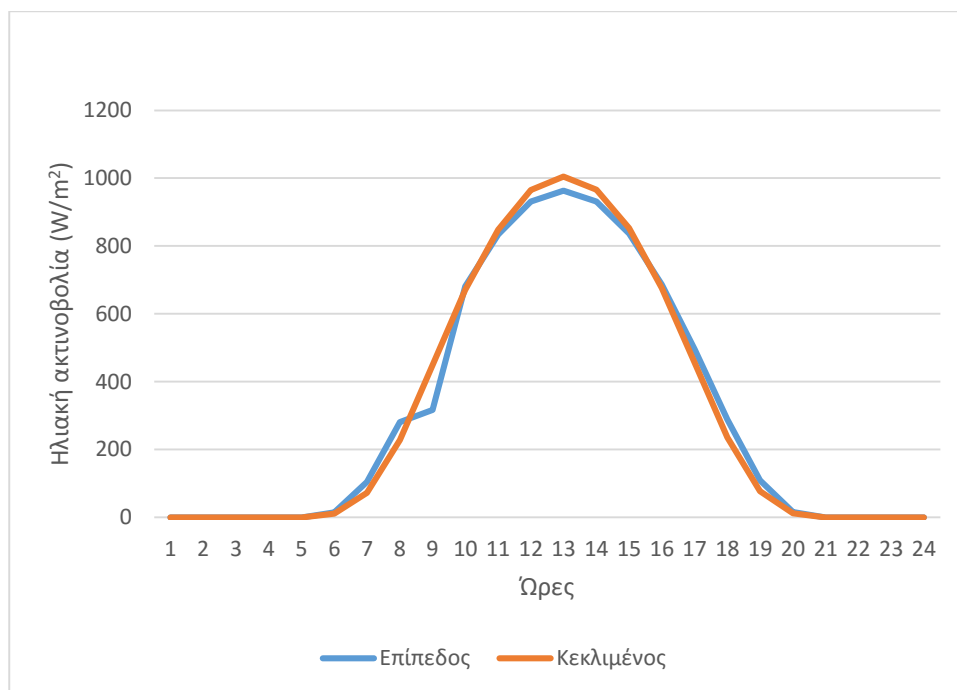


Διάγραμμα 5.4. Σύγκριση των ηλιακών φούρνων με φύλλα αλουμινίου στην εσωτερική τους επιφάνεια με βάση τη θερμοκρασία δαπέδου στον φούρνο

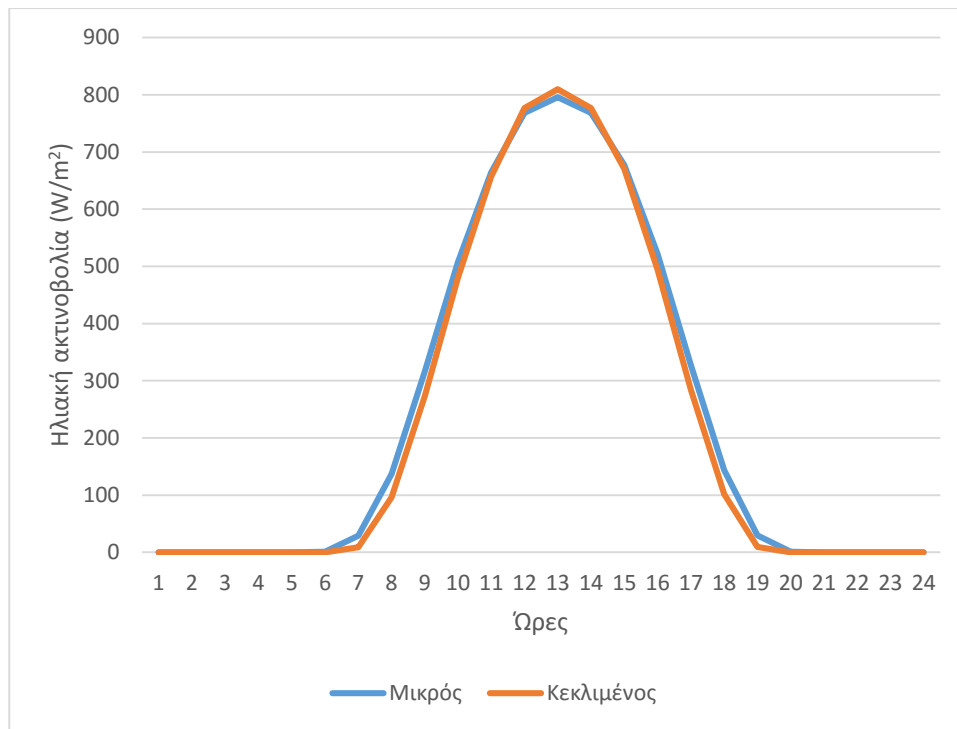


Διάγραμμα 5.5. Σύγκριση των ηλιακών φούρνων με φύλλα χάλυβα στην εσωτερική τους επιφάνεια με βάση τη θερμοκρασία του δαπέδου στον φούρνο

5.1.3 Ηλιακή ακτινοβολία



Διάγραμμα 5.6. Σύγκριση της ηλιακής ακτινοβολίας (incident solar radiation) που δέχονται ο επίπεδος και ο κεκλιμένος υαλοπίνακας στη διάρκεια της ημέρας



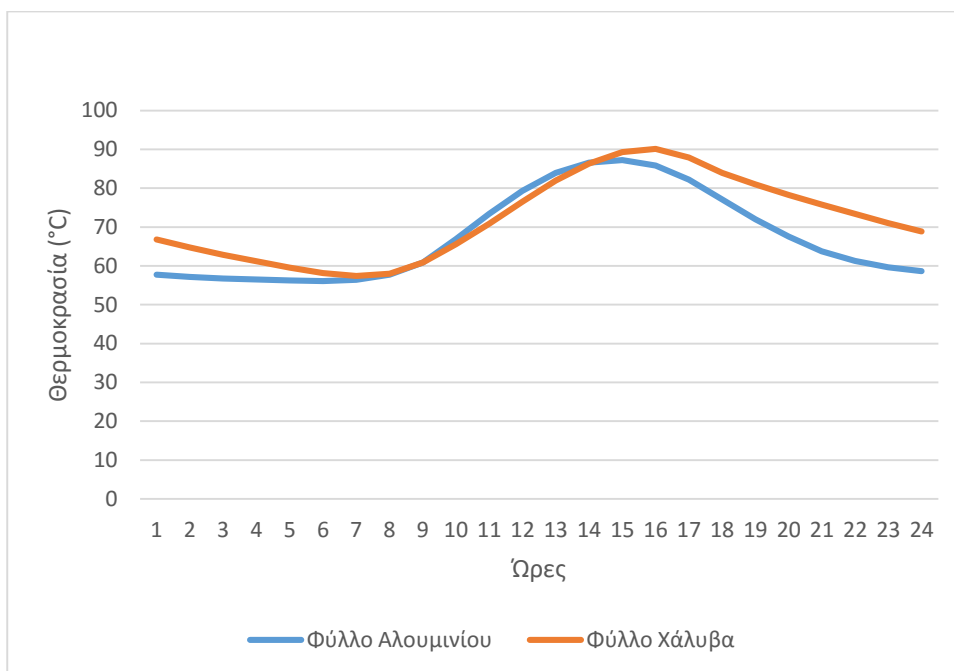
Διάγραμμα 5.7. Σύγκριση της άμεσης ηλιακής ακτινοβολίας (incident beam solar radiation) που δέχονται ο επίπεδος και ο κεκλιμένος υαλοπίνακας στη διάρκεια της ημέρας

5.2 Παραμετροποίηση του 2^{ου} κεκλιμένου φούρνου

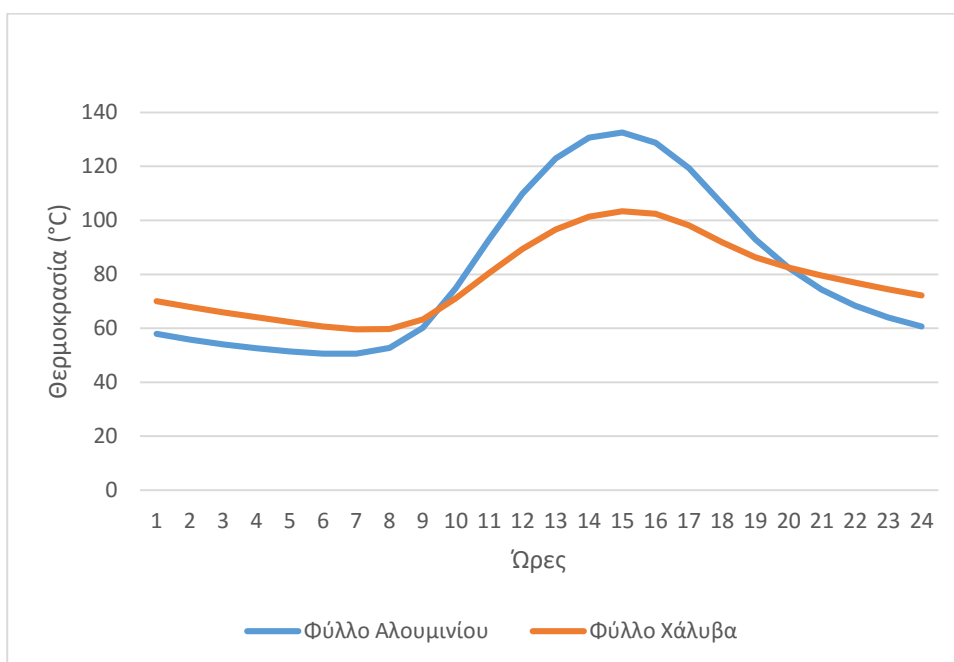
Σε αυτό το κομμάτι θα επιλέξουμε τον κεκλιμένο ηλιακό φούρνο που αναλύσαμε στο προηγούμενο κεφάλαιο για να κάνουμε την παραμετροποίηση. Θα θεωρήσουμε ως βάση τα υλικά που χρησιμοποιήθηκαν παραπάνω. Για την εσωτερική επιφάνεια θα χρησιμοποιήσουμε φύλλα αλουμινίου. Με βάση αυτά θα μελετηθούν οι παράμετροι που θέσαμε στο προηγούμενο κεφάλαιο, με σκοπό να εξεταστεί η απόδοση του ηλιακού φούρνου σε διάφορα υλικά. Συνοπτικά, η διαστρωμάτωση του τοίχου του φούρνου από την εξωτερική πλευρά προς την εσωτερική είναι τα εξής:

- κόντρα – πλακέ πάχους 0,004m
- πλάκα από φελλό πάχους 0,04m
- κόντρα – πλακέ πάχους 0,004m
- φύλλο αλουμινίου πάχους 0,001m. Τα φύλλα αλουμινίου είναι υψηλής ανάκλασης

5.2.1 Υλικό εσωτερικής επιφάνειας

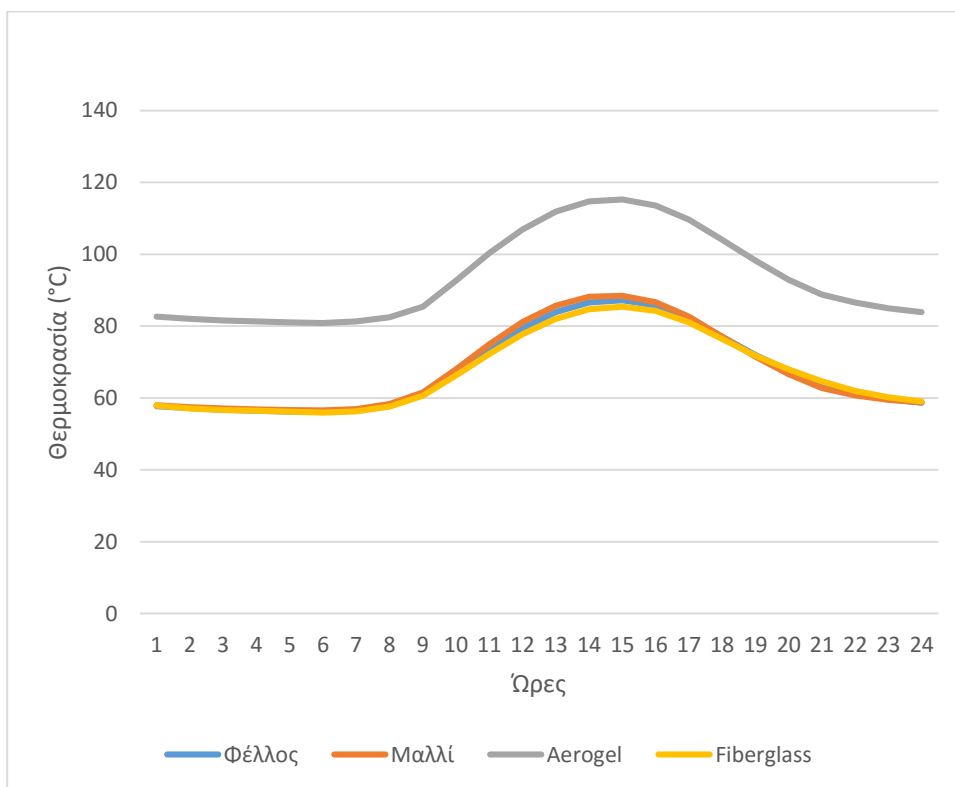


Διάγραμμα 5.8. Σύγκριση των φύλλων αλουμινίου με τα φύλλα χάλυβα για την εσωτερική επιφάνεια του φούρνου με βάση τη θερμοκρασία αέρα του φούρνου

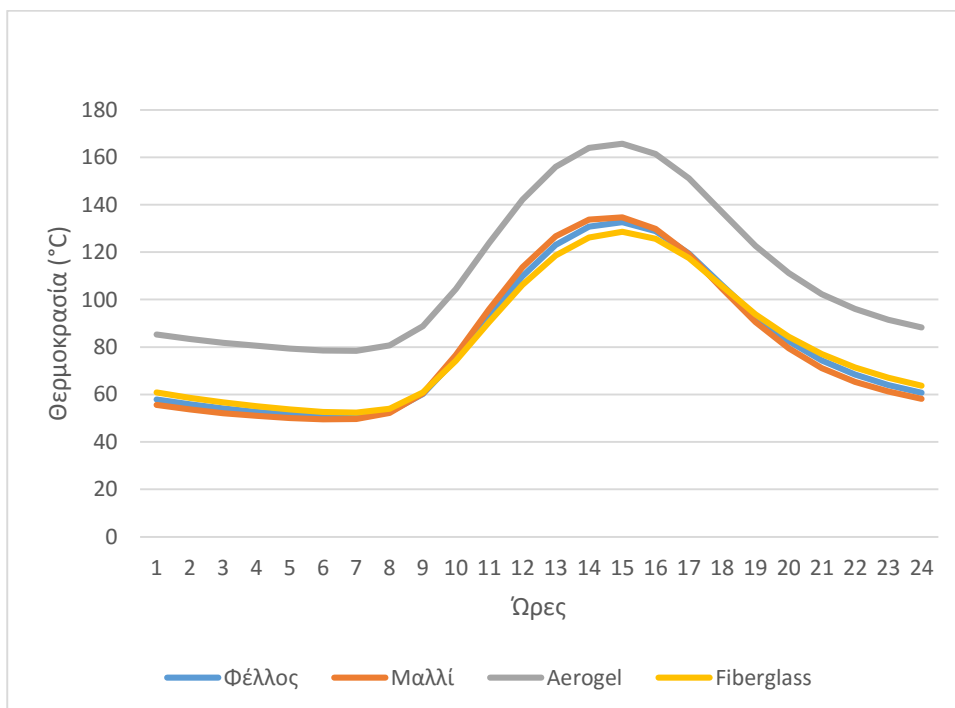


Διάγραμμα 5.9. Σύγκριση των φύλλων αλουμινίου με τα φύλλα χάλυβα για την εσωτερική επιφάνεια του φούρνου με βάση τη θερμοκρασία δαπέδου του φούρνου

5.2.2 Μονωτικό υλικό

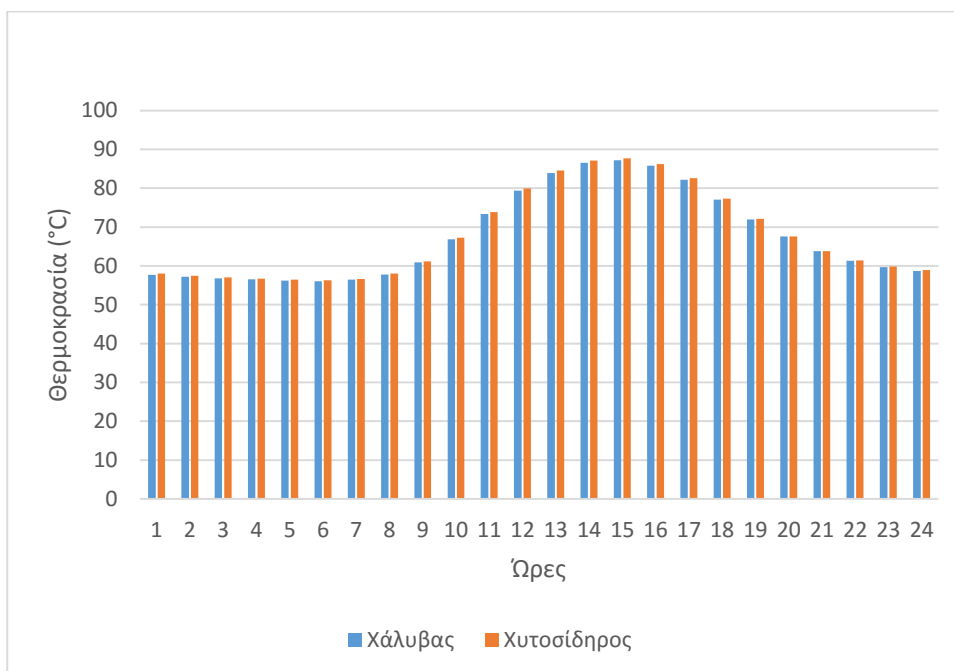


Διάγραμμα 5.10. Η επίδραση διαφορετικών μονωτικών υλικών στην θερμοκρασία αέρα του φούρνου

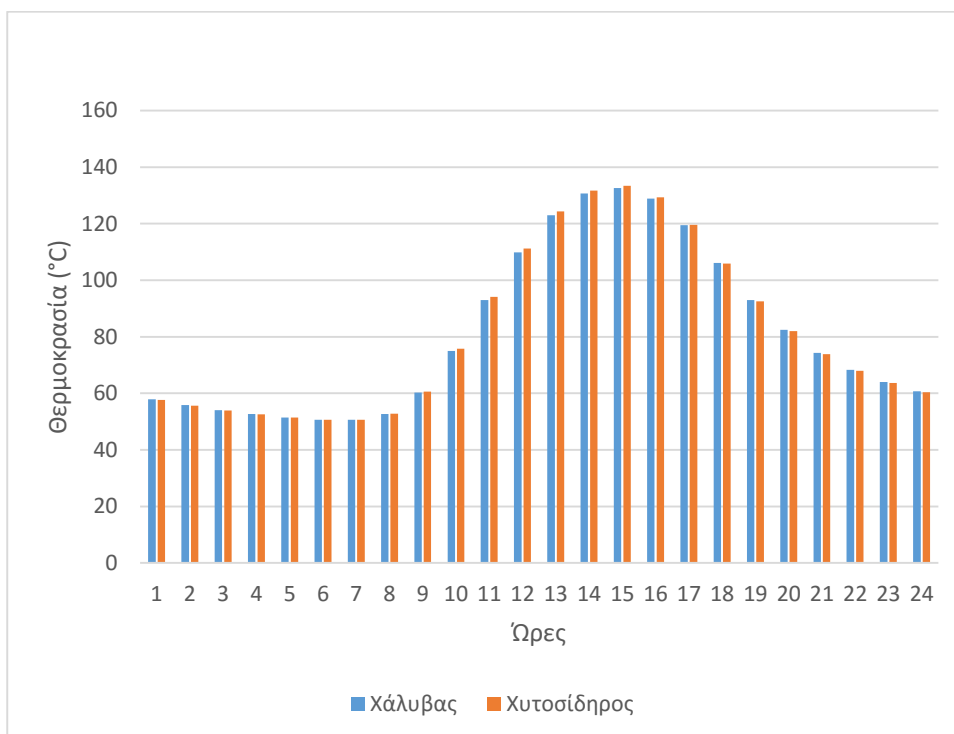


Διάγραμμα 5.11. Η επίδραση διαφορετικών μονωτικών υλικών στην θερμοκρασία δαπέδου του φούρνου

5.2.3 Υλικό δαπέδου

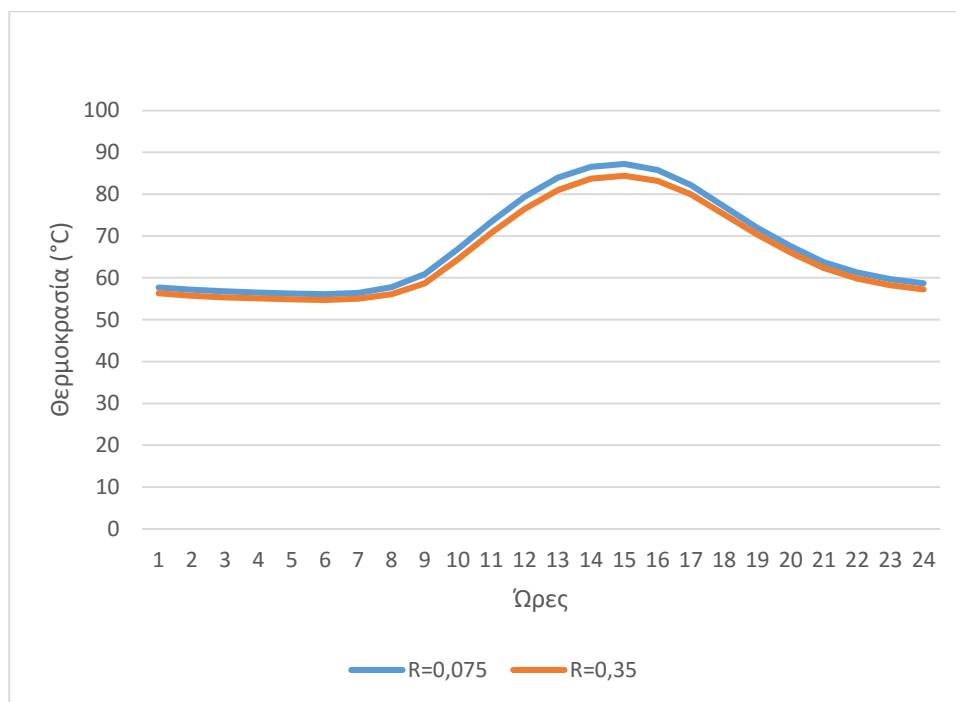


Διάγραμμα 5.12. Η επίδραση διαφορετικών υλικών για την επιφάνεια του δαπέδου στην θερμοκρασία του αέρα του φούρνου

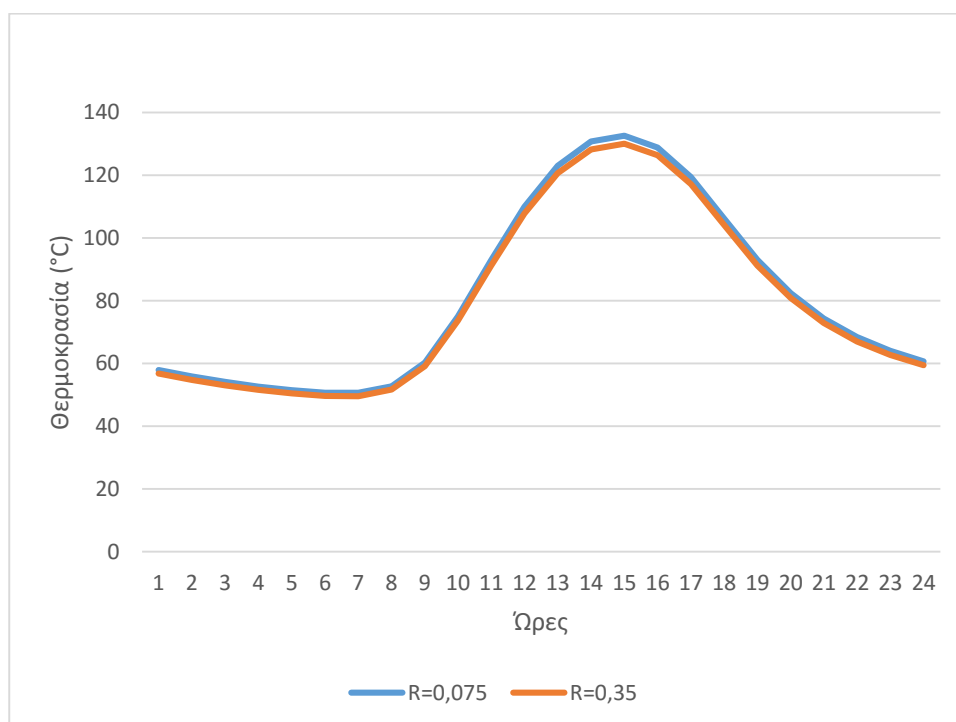


Διάγραμμα 5.13. Η επίδραση διαφορετικών υλικών για την επιφάνεια του δαπέδου στην θερμοκρασία του δαπέδου του φούρνου

5.2.4 Συντελεστής ανάκλασης ακτινοβολίας εξωτερικού υαλοπίνακα

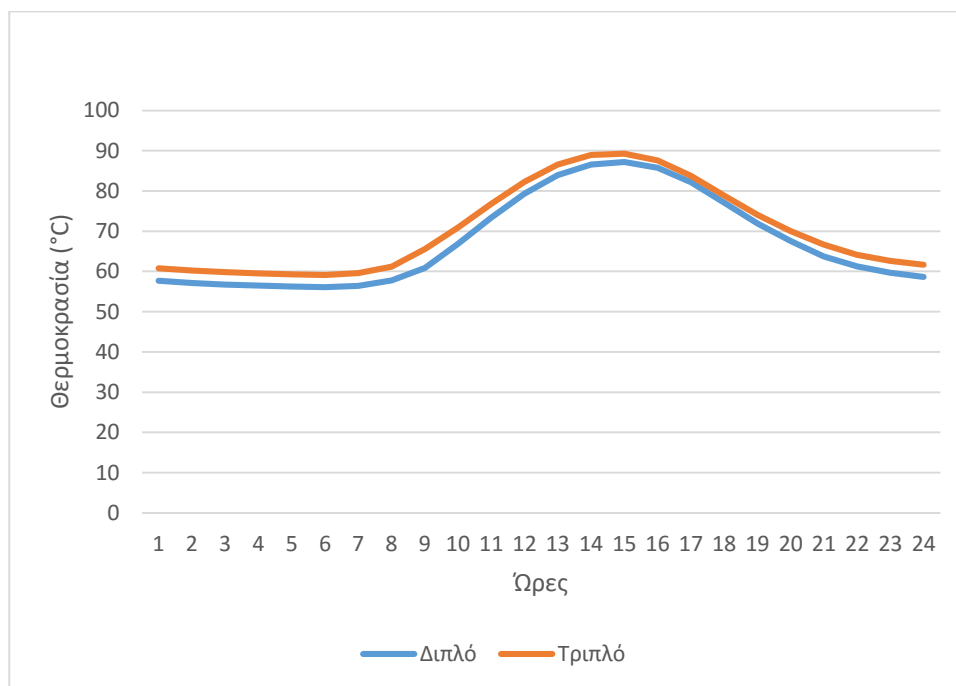


Διάγραμμα 5.14. Η επίδραση του συντελεστή ανάκλασης του εξωτερικού υαλοπίνακα στην θερμοκρασία του αέρα του φούρνου

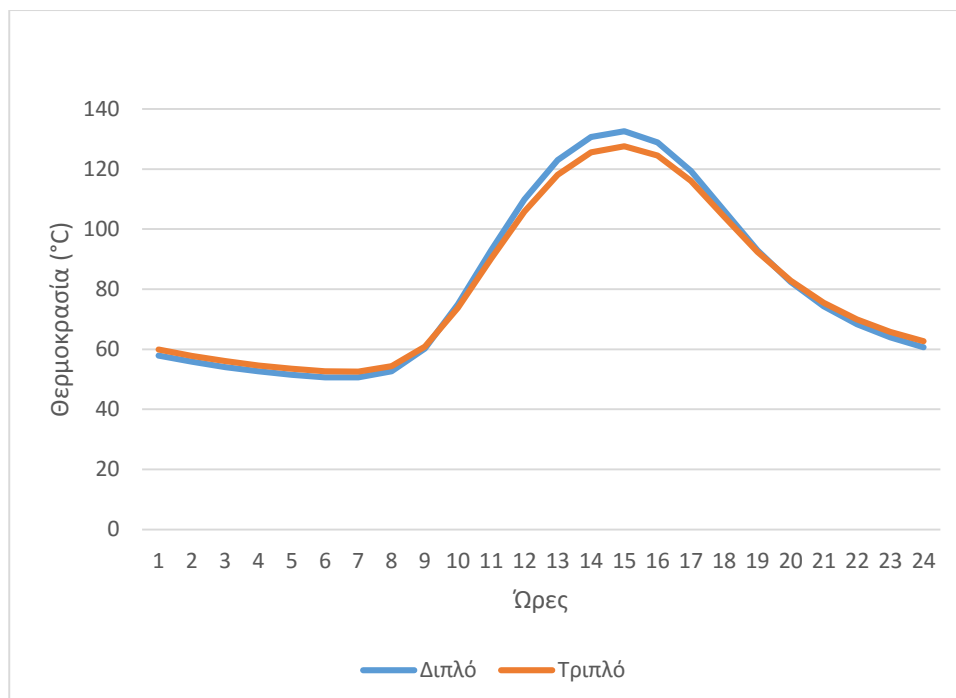


Διάγραμμα 5.15. Η επίδραση του συντελεστή ανάκλασης του εξωτερικού υαλοπίνακα στην θερμοκρασία του δαπέδου του φούρνου

5.2.5 Αριθμός στρώσεων υαλοπίνακα



Διάγραμμα 5.16. Η επίδραση του αριθμού στρώσεων του υαλοπίνακα στην θερμοκρασία του αέρα του φούρνου



Διάγραμμα 5.17. Η επίδραση του αριθμού στρώσεων του υαλοπίνακα στην θερμοκρασία του δαπέδου του φούρνου

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6

ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Η παρούσα διπλωματική εργασία μελετά την απόδοση ηλιακών φούρνων με τη χρήση του λογισμικού Energy+. Οι στόχοι της εργασίας ήταν δύο. Αρχικά να μελετήσουμε τα θερμικά κέρδη και στη συνέχεια να δούμε την ανταπόκριση του Energy+ σε κατασκευές μικρών διαστάσεων. Τα διαγράμματα που παρουσιάστηκαν στο προηγούμενο κεφάλαιο είναι τα αποτελέσματα πολύωρων προσομοιώσεων, και έχουν σκοπό την απεικόνιση των θερμοκρασιών που αναπτύσσονται στους ηλιακούς φούρνους που χρησιμοποιήσαμε. Από τα αποτελέσματα των προσομοιώσεων και τις συγκρίσεις μεταξύ τους προέκυψαν πολλά και αξιόλογα συμπεράσματα, τα οποία θα παραθέσουμε σε αυτό και τελευταίο κεφάλαιο αυτής της μεταπτυχιακής εργασίας.

Αρχικά θέσαμε κάποια βασική δομή, από άποψη υλικών, έτσι ώστε να μπορέσουμε να βγάλουμε αξιόπιστα συμπεράσματα για το μέγεθος και τη μορφολογία των φούρνων. Από τα διαγράμματα αυτά αντιλαμβανόμαστε ότι ο μικρός φούρνος είναι ο πιο αποδοτικός, είτε με τη χρήση φύλλων αλουμινίου, είτε με τη χρήση χάλυβα στην εσωτερική επιφάνεια του ηλιακού φούρνου. Επίσης, η απόδοση του φαίνεται και στο γεγονός ότι πιάνει την μεγαλύτερη θερμοκρασία, αλλά και το γεγονός ότι η αύξηση της θερμοκρασίας γίνεται πιο γρήγορα σε σχέση με τους υπόλοιπους.

Στη συνέχεια έχουμε τη σύγκριση του μεγάλου με τον κεκλιμένο. Αυτοί οι δύο φούρνοι έχουν τον ίδιο όγκο και το ίδιο εμβαδόν υαλοπίνακα. Σε αυτό που διαφέρουν είναι η κλίση του υαλοπίνακα. Παρατηρούμε λοιπόν ότι ο μεγάλος έχει ελάχιστα μεγαλύτερες θερμοκρασίες από τον κεκλιμένο, παρ' όλο που ο κεκλιμένος έχει την ικανότητα, λόγω της κλίσης στην οποία βρίσκεται, να τραβάει την άμεση ακτινοβολία του ηλίου, που είναι πιο ισχυρή. Αυτό μπορεί να εξηγηθεί με το γεγονός ότι ο κεκλιμένος είναι μονίμως στραμμένος προς το Νότο. Δεν ακολουθεί συνεπώς τον ήλιο. Ενώ ο υαλοπίνακας του επίπεδου φούρνου είναι μονίμως ελεύθερος προς την ηλιακή ακτινοβολία.

Από την ενότητα της μελέτης της απόδοσης των ηλιακών φούρνων με βάση το μέγεθος τους καταλήγουμε ότι όντως το μέγεθος ενός φούρνου παίζει σημαντικό ρόλο στην απόδοση του. Όσο μικρότερος τόσο πιο εύκολα μπορεί να συγκεντρώσει την απαραίτητη θερμότητα έτσι ώστε να αποκτήσει την κατάλληλη θερμοκρασία.

Στη συνέχεια επιλέξαμε τον σχεδιασμό του κεκλιμένου φούρνου, και προσπαθήσαμε να μελετήσουμε όσο ρεαλιστικά γίνεται την απόδοση του συγκεκριμένου ηλιακού φούρνου σε σχέση με διάφορες παραμέτρους, οι οποίες αναλύθηκαν στο τέλος του τετάρτου κεφαλαίου.

Αρχικά εξετάσαμε το υλικό των εσωτερικών επιφανειών του ηλιακού φούρνου. Πέρα από τα φύλλα αλουμινίου που είναι η προεπιλογή μας, μελετήθηκε και ο χάλυβας. Το αποτέλεσμα έδειξε ότι ο χάλυβας ανεβάζει περισσότερο την θερμοκρασία του αέρα του φούρνου, ενώ τα φύλλα αλουμινίου της θερμοκρασία στο δάπεδο του φούρνου. Παρατηρούμε ότι πέρα από το γεγονός ότι ανεβάζει τη θερμοκρασία περισσότερο από τα φύλλα αλουμινίου, επιπροσθέτως την διατηρεί και

σε υψηλότερα επίπεδα όσο πέφτει ο ήλιος. Αυτό είναι λογικό διότι ο χάλυβας έχει απορροφήσει θερμότητα κατά τη διάρκεια της ημέρας και την ακτινοβολεί στον χώρο παρ' όλο που έχει πέσει ο ήλιος.

Παρατηρούμε επίσης ότι τα φύλλα αλουμινίου αρχίζουν να ανεβάζουν πιο γρήγορα τη θερμοκρασία στην επιφάνεια, μέχρι βέβαια ένα συγκεκριμένο όριο και στη συνέχεια την ρίχνουν επίσης πιο γρήγορα. Αυτό γίνεται για ένα συγκεκριμένο λόγο. Τα φύλλα αλουμινίου έχουν την ιδιότητα να μην απορροφούν τη θερμότητα, περίπου σε ένα ποσοστό 2-5%. Συνεπώς την ακτινοβολούν αμέσως στο χώρο, οπότε θέρμαναν γρήγορα το δάπεδο. Όσο μειώνεται όμως η ένταση της ηλιακής ακτινοβολίας αδυνατούν και αυτά, και μη έχοντας τη δυνατότητα να συνεχίσουν να θερμαίνουν το χώρο λόγω αποθήκευσης ενέργειας, αρχίζουν και κρυώνουν σχετικά γρήγορα.

Στη συνέχεια εξετάσαμε την παράμετρο μόνωση. Χρησιμοποιήσαμε ως αντικείμενο μελέτης τα εξής μονωτικά υλικά, φελλό, μαλλί από πρόβατο, aerogel και υαλόνημα. Το αποτέλεσμα έδειξε ότι με την ίδια ποσότητα aerogel καταφέραμε να έχουμε τρομερά καλύτερα αποτελέσματα. Τα υπόλοιπα υλικά πάνω κάτω έχουν την ίδια απόδοση. Το aerogel όμως ανεβάζει σχεδόν 30°C παραπάνω από τη θερμοκρασία που ανεβάζουν τα υπόλοιπα. Είτε εξετάζοντας τη θερμοκρασία του αέρα, είτε εξετάζοντας τη θερμοκρασία στο δάπεδο του φούρνου. Αυτό είναι ένα αποτέλεσμα που το αναμέναμε διότι το aerogel είναι ίσως το καλύτερο μονωτικό υλικό που κυκλοφορεί αυτή τη στιγμή. Θα είχαμε καλύτερα αποτελέσματα ακόμα και με λιγότερο από τη μισή ποσότητα που βάλαμε.

Ακολούθως μελετήσαμε την υπόθεση του υλικού από το οποίο είναι φτιαγμένη η επιφάνεια του δαπέδου. Μελετήθηκε ο χάλυβας και ο χυτοσίδηρος. Το διάγραμμα που δείχνει την διακύμανση της θερμοκρασίας με βάση αυτά τα δύο υλικά, δείχνει ότι τα δύο υλικά σε όλες τις ώρες της ημέρας βρίσκονται σχεδόν στα ίδια επίπεδα θερμοκρασίας. Είναι και τα δύο εξαιρετικά υλικά, τα οποία μπορούν να χρησιμοποιηθούν και για την κατασκευή μαγειρικών σκευών. Για το τυπικό κομμάτι της αναφοράς, ο χυτοσίδηρος έπιασε μεγαλύτερη θερμοκρασία.

Στη συνέχεια, θα συνεχίσουμε με την εξέταση του συντελεστή ανάκλασης του εξωτερικού υαλοπίνακα. Παρατηρούμε ότι με την αύξηση του, μειώθηκε η απόδοση του ηλιακού φούρνου. Αυτό ήταν ένα αναμενόμενο αποτέλεσμα, διότι με την αύξηση του συντελεστή ανάκλασης, ποσοστό ηλιακής ακτινοβολίας, αντί να εισέρχεται στον θάλαμο του φούρνου, προσέπιπτε στην επιφάνεια του υαλοπίνακα και ανακλώταν προς το εξωτερικό περιβάλλον.

Η επόμενη παράμετρος και τελευταία παράμετρος που μελετήσαμε είναι η επίδραση του τριπλού υαλοπίνακα στην απόδοση του ηλιακού φούρνου. Η προεπιλογή μας ήταν το διπλό τζάμι με το εσωτερικό να είναι e-low. Για αυτή τη μελέτη τοποθετήσαμε άλλο ένα e-low στην εσωτερική πλευρά του υαλοπίνακα. Το αποτέλεσμα ήταν να έχουμε ένα παρόμοιο διάγραμμα, όσον αφορά τη θερμοκρασία του αέρα μέσα στο φούρνο, με σαφώς καλύτερη απόδοση από τη πλευρά του τριπλού τζαμιού. Αυτό ήταν ένα αποτέλεσμα που αναμέναμε, διότι ο επιπλέον υαλοπίνακας βοηθάει τον περισσότερο εγκλωβισμό της θερμότητας, με συνέπεια να αυξάνεται η θερμοκρασία.

Όσον αφορά όμως τη θερμοκρασία του δαπέδου, ο φούρνος πιάνει μεγαλύτερη θερμοκρασία με τη χρήση διπλών υαλοπινάκων.

Το επάγγελμα του μηχανικού είναι συνυφασμένο με το δίνει λύσεις στα τεχνικά προβλήματα και να επιδιώκει συνεχώς τις βελτιώσεις εκεί που όλα λειτουργούν καλά. Θα προσπαθήσουμε να αναφέρουμε μερικούς παράγοντες που μπορούν να οδηγήσουν στην αύξηση της απόδοσης των ηλιακών φούρνων.

Αρχικά υπάρχει η λύση των ανακλαστήρων που δεν εξετάστηκε εδώ. Οι ανακλαστήρες έχουν τη δυνατότητα να κατευθύνουν την ηλιακή ακτινοβολία στον υαλοπίνακα του φούρνου και κατά συνέπεια στο εσωτερικό του. Συνεπώς επιτρέπουν μεγαλύτερα ποσά ενέργειας να εισέλθουν στον ηλιακό φούρνο. Αυτό μεταφράζεται σε μεγαλύτερες θερμοκρασίες και ίσως σε γρηγορότερο χρόνο μαγειρέματος.

Στη συνέχεια, ο ηλιακός φούρνος μπορεί να περιστρέφεται ανάλογα με την κίνηση του ήλιου. Με αυτόν τον τρόπο θα τον ακτινοβολεί ο ήλιος βέλτιστα ανάλογα με την ώρα της ημέρας, κάτι που θα έχει επίσης ως αποτέλεσμα μεγαλύτερα ποσά ενέργειας και κατά συνέπεια μεγαλύτερες θερμοκρασίες στο εσωτερικό του.

Άλλες λύσεις έχουν σχέση με τη μείωση των θερμικών απωλειών. Μια παχύτερη μόνωση θα προσφέρει αυξημένη αντοχή στις θερμικές απώλειες. Επίσης, μια λύση που έχει κυρίως κατασκευαστικό χαρακτήρα, είναι η προσπάθεια μείωσης των απωλειών μέσω συναγωγής. Αυτό σημαίνει ότι πρέπει η κατασκευή να μην έχει ανοίγματα, όσο μικρά και αν είναι, έτσι ώστε να μη δραπετεύουν τα μόρια του θερμού αέρα, ούτε να εισέρχονται εύκολα αυτά του ψυχρού αέρα του περιβάλλοντος.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- [1] Riffat SB, Cuce E. “*A Review on Hybrid Photovoltaic/Thermal Collectors and Systems*”. Carbon Technol. [2011]
- [2] Panwar NL, Kaushik SC, Kothari S. “*Role of Renewable Energy Sources in Enviromental Protection: A Review*”. [2011]
- [3] Dr. N.J. Ekins-Daukes. “*Solar Energy for Heat and Electricity: The Potential for Mitigating climate change*”. Grantham Institute for Solar Energy. Briefing Paper No1. [2009]
- [4] Perez, Richard. “*A Way to the Most Abundant Energy*”. Scientific American [2013]
- [5] Perlin, John. “Solar Thermal”. www.californiasolarcenter.org στη 1/09/16
- [6] W.W. Anderson and Y.G. Chai. “*Becquerel effect solar cell*”. Energy Conversion, vol. 15 [1976]
- [7] Puddicombe, Jennifer. “*Solar Thermal Electric Power*”. Science Creative Quarterly. [2011]
- [8] Kryza, Frank T. “*The Power of Light: The Epic Story of Man’s Quest to Harness the Sun*”. McGraw-Hill [2013]
- [9] Madrigal, Alexis. “*Powering the Dream. The History and Promise of Green Technology*”. Cambridge MA: Da Capo, 2011.
- [10] Bradford, Travis. “*Solar Revolution: The Economic Transformation of the Global Energy Industry*”. MIT Press, Cambridge MA, 2006.
- [11] Shuman, Frank. “*Power from Sunshine*”.
- [12] Kryza, Frank. T. “*Power*”
- [13] Spencer, L.C. “*A Comprehensive Review of Small Solar Powered Heat Engines: Part 1. A History of Solar Powered Devices Up to 1950*”. Solar Energy, vol. 43 [1989]
- [14] Judith Collins and Al Nash. “*Preserving Yesterday’s View of Tomorrow: The Chicago World’s Fair Houses*”. Cultural Resource Management. [2002]
- [15] Collins and Nash. “*Preserving*”. The Passive Solar Energy Book. [1979]

- [16] Denzer, A. *“The Solar House in 1947”*. Second International Conference on Harmonization Between Architecture and Nature. [2008]
- [17] Αντωνόπουλος, Κίμων. *“Θερμικά – Ηλιακά Συστήματα”*. Πανεπιστημιακές Εκδόσεις Ε.Μ.Π. [2011]
- [18] Κέντρο Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας (Κ.Α.Π.Ε.). *“Θερμικά – Ηλιακά Συστήματα”* www.cres.gr στις 31/08/16
- [19] *“Solar Generation: Solar Electricity for over One Billion People and Two Million Jobs by 2020”*. September 2006
- [20] *“Advantages and Disadvantages of Solar Energy”*. Process Industry Forum.
- [21] Radabaugh, Joe. *“Heaven’s Flame: A Guide to Solar Cookers”*. Home Power Publishing. [1998]
- [22] Saxena A., Varun, Pandey SP, Srivastav G. *“A Thermodynamic Review On Solar Box Type Cookers”*. [2011]
- [23] Anderson, Lorraine. Palkovic, Rick. *“Cooking With Sunshine: The Complete Guide to Solar Cuisine With 150 Easy Sun-Cooked Recipes”*. Marlowe & Co.
- [24] Kimambo CZM. *“Development and Performance Testing of Solar Cookers”*. [2007]
- [25] Khan BH. *“Non-Conventional Energy Resources”*. Tata McGraw Hill Publications. [2008]
- [26] Duffle JA, Backman WA. *“Solar Engineering of Thermal Processes”*. 3rd edition. Wiley Publications. [2006]
- [27] Kalogirou, Soteris. *“The Potential of Solar Industrial Process Heat Applications”*. Applied Energy. December 2003.
- [28] Garg HP, Prakash J. *“Solar Energy Fundamentals and Applications”*. Tata McGraw Hill Publications. [2004]
- [29] Firdaus Bin Muhamad. *“Development of Solar Oven Incorporating Thermal Energy Storage Application”*. University of Malaysia. [2012]

ΠΑΡΟΡΑΜΑΤΑ

Σχήμα 1.1

www.geo.auth.gr. “Μάθημα ένατο: Ηλιακή και Γήινη Ακτινοβολία”. 6/10/16, 20:30

Σχήμα 1.2, 1.3, 1.4

Κίμωνος Α. Αντωνόπουλου “Θερμικά – Ηλιακά Συστήματα” [2011]

Σχήμα 1.5

www.opd.gr. 6/10/16, 20:40

Σχήμα 2.1

solarcooking.wikia.com. “Solar-cooker-design-Maria Telkes.jpg”. Solar Cookers International Network. 6/10/16, 21:01

Σχήμα 2.2

climatekids.nasa.gov. 6/10/16, 21:09

Σχήμα 2.3

science.howstuffworks.com. “Cooking With Light”. 6/10/16, 21:10

Σχήμα 2.4

“Solar Cooking Review”. Volume 15. Number 3. November 2009

Σχήμα 2.5, 2.6, 2.7, 2.8

Firdaus Bin Muhamad. “Development of Solar Oven Incorporating Thermal Energy Storage Application”. University of Malaysia. [2012]

Σχήμα 2.9

microteklabs.com. “How do PCMs work?”. 6/10/16, 21:42

Σχόλιο επί των πειραμάτων

Η ημερομηνία διεξαγωγής των μετρήσεων ήταν η 23/7.