



ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΟ ΙΔΡΥΜΑ  
ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ  
ΣΧΟΛΗ  
ΠΟΛΙΤΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ  
ΤΟΜΕΑΣ  
ΔΟΜΟΣΤΑΤΙΚΗΣ

Solar  
Oven

Ηλιακός Φούρνος

ΟΝΟΜΑΤΕΠΩΝΥΜΟ ΦΟΙΤΗΤΗ

ΔΗΜΗΤΡΟΚΑΛΛΗΣ ΕΜΜΑΝΟΥΗΛ

ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ

ΒΟΥΓΙΟΥΚΑΣ ΜΑΝΟΛΗΣ

ΑΘΗΝΑ 2016



## ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η ανάγκη μαγειρέματος για τη θρέψη είναι θεμελιώδους σημασίας σχεδόν για κάθε κοινωνία και απαιτεί την κατανάλωση ενέργειας σε οποιαδήποτε μορφή. Η ηλιακή ενέργεια μπορεί να αξιοποιηθεί για την κάλυψη αυτής της ανάγκης, χωρίς τα περιβαλλοντικά προβλήματα και τα προβλήματα υγείας που συνδέονται με τα περισσότερα άλλα καύσιμα. Υπάρχει μία ευρεία ποικιλία συσκευών που σχεδιάζονται για να αιχμαλωτίζουν την ενέργεια του ήλιου και την αξιοποιούν για το μαγείρεμα των τροφίμων. Δυστυχώς, οι συσκευές αυτές είναι συχνά δύσκολο να συγκριθούν μεταξύ τους. Αυτό οφείλεται κυρίως στην έλλειψη ενός προτύπου δοκιμής ικανού να ομαλοποιήσει τα αυστηρά στοιχεία των μετρήσεων με τις περιβαλλοντικές συνθήκες, οι οποίες ποικίλλουν σε μεγάλο βαθμό ανάλογα με τον τόπο και την εποχή του έτους.

Στην έρευνα αυτή, θα μελετηθούν τα διάφορα είδη ηλιακών φούρνων αφού πρώτα γίνει αναφορά σε βασικές έννοιες και αρχές της θερμότητας. Θα περιγραφεί ο σχεδιασμός και ο τρόπος λειτουργίας τους και θα γίνει αναφορά στα υπάρχοντα πρότυπα και στις αδυναμίες που παρουσιάζουν. Θα αναπτυχθούν οι ικανότητες των ηλιακών φούρνων και η ασφάλεια που παρέχουν. Τέλος θα γίνει αναφορά στην επίδραση των ηλιακών φούρνων στη ζωή των ανθρώπων.

**Λέξεις κλειδιά:** Ηλιακός φούρνος, θερμότητα, ηλιακή ενέργεια, ανακλαστήρες, συλλέκτες φωτός, μόνωση, διαφανές υλικό, ηλιακή ακτινοβολία.

## ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΠΕΡΙΛΗΨΗ .....	i
ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ .....	1
ΠΙΝΑΚΑΣ ΕΙΚΟΝΩΝ.....	3
ΛΙΣΤΑ ΠΙΝΑΚΩΝ.....	5
ΕΙΣΑΓΩΓΗ .....	7
<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1<sup>ο</sup> :ΗΛΙΑΚΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑ ΚΑΙ ΜΑΓΕΙΡΕΜΑ .....</b>	<b>9</b>
1.1 Τι είναι Ενέργεια .....	9
1.2 Αρχές Θερμότητας σε Σχέση με τους Ηλιακούς Φούρνους.....	10
1.2.1 Κέρδος Θερμότητας από το Φαινόμενο του Θερμοκηπίου .....	11
1.2.2 Κέρδος Θερμότητας από τον Προσανατολισμό του Γυαλιού .....	12
1.2.3 Επιπρόσθετο Κέρδος Θερμότητας από τους Ανακλαστήρες.....	12
1.2.4 Απώλεια Θερμότητας.....	13
1.2.5 Απώλεια Θερμότητας από την Αγωγιμότητα .....	13
1.2.6 Απώλεια Θερμότητας από την Ακτινοβολία .....	14
1.2.7 Απώλεια Θερμότητας από τη Μεταγωγή .....	15
1.2.8 Απώλεια από την Αποθήκευση Θερμότητας .....	15
1.3 Ηλιακή Ενέργεια για το Μαγείρεμα .....	16
1.4 Ιστορία της Μαγειρικής μέσω του Ήλιου .....	17
<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2<sup>ο</sup> :ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΤΥΠΟΙ ΗΛΙΑΚΩΝ ΦΟΥΡΝΩΝ.....</b>	<b>20</b>
2.1 Ηλιακός Φούρνος .....	20
2.2 Εργαλεία και Υλικά .....	20
2.3 Απαιτήσεις Υλικών.....	21
2.3.1 Δομικό Υλικό.....	22
2.3.2 Μόνωση.....	22
2.3.3 Διαφανές Υλικό .....	23
2.3.4 Αντοχή στην Υγρασία .....	23
2.3.5 Ανακλαστήρας.....	24
2.4 Χρήση των Ηλιακών Φούρνων .....	24
2.5 Ασφάλεια .....	26
2.6 Τύποι Ηλιακών Φούρνων.....	26
2.6.1 Ηλιακοί Φούρνοι Κουτιού .....	27

2.6.2 Ηλιακοί Φούρνοι Παραβολικής Συγκέντρωσης .....	30
2.6.3 Σύγκριση των δύο Τύπων .....	32
2.6.4 Φούρνοι με Πάνελ.....	34
2.6.5 Συλλέκτες ή Έμμεσοι Φούρνοι.....	35
2.7 Άλλοι Σχεδιασμοί Ηλιακών Φούρνων .....	36
2.7.1 Φούρνος με Ελαστικό .....	36
2.7.2 Φούρνος με Μπολ .....	37
2.7.3 Κωνικός Φούρνος .....	38
2.7.4 Φούρνος από Χαρτοκιβώτιο .....	39
2.7.5 Φούρνος Παραβολικού Κοίλου .....	40
<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3<sup>ο</sup> : ΜΑΓΕΙΡΕΜΑ ΜΕ ΤΗ ΧΡΗΣΗ ΗΛΙΑΚΩΝ ΦΟΥΡΝΩΝ ΚΑΙ ΠΡΟΤΥΠΑ .....</b>	<b>42</b>
3.1 Καλύτερη Περίοδος του Χρόνου για τη Χρήση των Ηλιακών Φούρνων .....	42
3.2 Παράγοντες που Επηρεάζουν το Χρόνο Μαγειρέματος .....	43
3.3 Απαιτήσεις Μαγειρέματος .....	46
3.4 Προσέγγιση Ικανοτήτων των Ηλιακών Φούρνων .....	49
3.4.1 Εξοικονόμηση Χρόνου.....	49
3.4.2 Σωματική Υγεία .....	49
3.4.3 Δραστηριότητες Παραγωγής Εισοδήματος .....	50
3.4.4 Συμμετοχή στα Πολιτικά Ζητήματα .....	51
3.4.5 Κοινωνικές Σχέσεις.....	51
3.5 Θερμική Απόδοση ενός Ηλιακού Φούρνου με Αυξημένη Συγκέντρωση Ηλιακού Φωτός.....	53
3.6 Πρότυπα .....	<b>Σφάλμα! Δεν έχει οριστεί σελιδοδείκτης.</b>
3.6.1 Πρότυπο ASAE S580.....	<b>Σφάλμα! Δεν έχει οριστεί σελιδοδείκτης.</b>
3.6.2 Πρότυπο Mullick .....	<b>Σφάλμα! Δεν έχει οριστεί σελιδοδείκτης.</b>
3.6.3 Πρότυπο της Ευρωπαϊκής Επιτροπής Έρευνας των Ηλιακών Φούρνων ...	<b>Σφάλμα! Δεν έχει οριστεί σελιδοδείκτης.</b>
<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4<sup>ο</sup> : ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΗΛΙΑΚΟΥ ΦΟΥΡΝΟΥ .....</b>	<b>58</b>
4.1 Το λογισμικό Legacy OpenStudio Plug-in.....	55
4.2 Το πρόγραμμα EnergyPlus.....	56
4.3 Εισαγωγή σχεδιαστικών δεδομένων του OpenStudio .....	57
4.4 Αποτελέσματα της προσομοίωσης .....	58
<b>ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ .....</b>	<b>72</b>
<b>ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ .....</b>	<b>73</b>

## ΠΙΝΑΚΑΣ ΕΙΚΟΝΩΝ

<b>Εικόνα 1.1</b> – Ηλιακός φούρνος κουτιού με κάλυμμα, παράθυρο και ανακλαστήρα. ....	11
<b>Εικόνα 1.2</b> – Το φαινόμενο του θερμοκηπίου. ....	12
<b>Εικόνα 1.3</b> – Προσανατολισμός γυαλιού. ....	12
<b>Εικόνα 1.4</b> – Ανακλαστήρες για επιπλέον ηλιακό κέρδος. ....	13
<b>Εικόνα 1.5</b> – Η θερμότητα άγει μέσω του τηγανιού στην χειρολαβή. ....	14
<b>Εικόνα 1.6</b> – Η θερμότητα ακτινοβολεί από τα ζεστά μαγειρικά σκεύη. ....	15
<b>Εικόνα 1.7</b> – Ο θερμός αέρας μπορεί να διαφύγει μέσα από τις ρωγμές. ....	15
<b>Εικόνα 1.8</b> – Θερμική μάζα στο εσωτερικό του κουτιού του ηλιακού φούρνου. ....	16
<b>Εικόνα 2.1</b> – Δομικά υλικά του ηλιακού φούρνου. ....	21
<b>Εικόνα 2.2</b> – Υλικά: δομικά, μόνωσης, διαφανή και αντοχής στην υγρασία. ....	22
<b>Εικόνα 2.3</b> – Μονωμένο κουτί με μαύρο μαγειρικό σκεύος και παράθυρο από γυαλί/πλαστικό. ....	27
<b>Εικόνα 2.4</b> – Σχεδιασμός ηλιακού φούρνου κουτιού με τρεις ανακλαστήρες. ....	29
<b>Εικόνα 2.5</b> – Παγκόσμιος ηλιακός φούρνος. ....	30
<b>Εικόνα 2.6</b> – Ηλιακός φούρνος «Villager». ....	30
<b>Εικόνα 2.7</b> – Ηλιακός φούρνος παραβολικής συγκέντρωσης οικιακού μεγέθους. ....	31
<b>Εικόνα 2.8</b> – Ηλιακός φούρνος παραβολικής συγκέντρωσης SK14. ....	32
<b>Εικόνα 2.9</b> – Ηλιακός φούρνος με πάνελ. ....	35
<b>Εικόνα 2.10</b> – Φούρνος συλλέκτη. Προστίθενται κάτοπτρα για να αυξήσουν την ποσότητα του ηλιακού φωτός που πέφτει στον συλλέκτη. ....	36
<b>Εικόνα 2.11</b> – Φούρνος με ελαστικό. ....	37
<b>Εικόνα 2.12</b> – Κωνικοί φούρνοι. ....	39
<b>Εικόνα 2.13</b> – Φούρνος χαρτοκιβωτίου. ....	40
<b>Εικόνα 2.14</b> – Μερικώς ολοκληρωμένος φούρνος παραβολικού κοίλου. ....	41
<b>Εικόνα 3.1</b> – Κατάλληλη ώρα μαγειρέματος ανάλογα με τη θέση του ήλιου. ....	43
<b>Εικόνα 3.2</b> – Περίοδοι ηλιοφάνειας σε όλες τις περιοχές του κόσμου. ....	43

<b>Εικόνα 3.3</b> – Ιδιότητες θερμοκρασιών στους απλούς ηλιακούς φούρνους. ....	45
<b>Εικόνα 3.4</b> – Τυπικοί χρόνοι μαγειρέματος για δύο κιλά τροφών σε μία ηλιόλουστη ημέρα.....	46
<b>Εικόνα 3.5</b> – Γράφημα που δείχνει τη σχέση μεταξύ θερμοκρασίας και χρόνου μαγειρέματος. ....	48
<b>Εικόνα 3.6</b> – Αύξηση συγκεκριμένων ικανοτήτων από τη χρήση ηλιακού φούρνου.....	52
<b>Εικόνα 3.7</b> – Συγκριτική απόδοση φούρνου κάτω από ένα τυπικό κύκλο εργασίας που αποτελείται από δύο περιόδους πλήρους σκίασης που διαρκούν 10 λεπτά και 13 λεπτά (Α και Β αντίστοιχα) και μία εκτεταμένη περίοδο μη εντοπισμού που συνδυάζεται με ακτινοβολία που διαρκεί 40 λεπτά (c). 54	
<b>Εικόνα 4.1</b> - Τον προσδιορισμό της τομής συστήματος σελ .....	59

## ΛΙΣΤΑ ΠΙΝΑΚΩΝ

<b>Πίνακας 2.1</b> – Σύγκριση αποδοτικότητας των δύο τύπων ηλιακών φούρνων. ....	33
<b>Πίνακας 2.2</b> – Σύγκριση της τεχνολογίας του ηλιακού φούρνου κουτιού με τον ηλιακό φούρνο παραβολικής συγκέντρωσης. ....	34
<b>Πίνακας 3.1</b> – Παράγοντες που επηρεάζουν την ταχύτητα του μαγειρέματος. ....	44
<b>Πίνακας 3.2</b> – Συγκριτικός πίνακας περιπτώσεων των γραφήματος. ....	48
<b>Πίνακας 4.1</b> - Αποθήκευση θερμότητας στο εσωτερικό της κατασκευής .....	62
<b>Πίνακας 4.2</b> - Μεταβολή θερμοκρασία στη διάρκεια του χρόνου .....	62
<b>Πίνακας 4.3</b> - Δείκτες αξιολόγησης διαφόρων υλικών αντανάκλασης .....	63
<b>Πίνακας 4.4</b> - Δοκιμή αντανάκλασης .....	64
<b>Πίνακας 4.5</b> - Δείκτες αξιολόγηση του υλικού αντανάκλασης .....	65
<b>Πίνακας 4.6</b> - Εξίσωση της σχέσης παλινδρόμησης ενέργειας (όταν $T_d = 50^{\circ}\text{C}$ ) και στα δύο σχέδια κουζίνας .....	66
<b>Πίνακας 4.7</b> - Μέτρο της απόδοσης της ισχύος του φούρνου σε αναλογία με το υλικό κατασκευής .....	66
<b>Πίνακας 4.8</b> - Προϋποθέσεις σχεδίαση πρότυπης κατασκευής .....	66
<b>Πίνακας 4.9</b> - Δοκιμές ηλιακής ακτινοβολίας.....	67
<b>Πίνακας 4.10</b> - Απομόνωση ηλιακής θερμικής ενέργειας κατά την διάρκεια δοκιμών.....	67
<b>Πίνακας 4.11</b> - Δείκτες της διαφοράς θερμοκρασίας ( $T_d$ ) για κάθε χρονικό διάστημα.....	68
<b>Πίνακας 4.12</b> - Υπολογισμός Μαγειρική Ισχύος... ..	70
<b>Πίνακας 4.13</b> - Μεταβολή της θερμικής ισχύος συναρτήσει του χρόνου .....	71





## ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η τροφή αποτελεί μία παγκόσμια ανάγκη, με εκτεταμένες συνέπειες. Η συγκέντρωση, η προετοιμασία και η κατανάλωση τροφίμων υπόκειται σε πολλούς πολιτιστικούς παράγοντες. Στις αναπτυσσόμενες χώρες οι επιλογές μαγειρέματος του φαγητού μπορεί να είναι περιορισμένες. Πολλοί άνθρωποι βασίζονται στο ξύλο ως το πρωτογενές καύσιμο, μαγειρεύοντας πάνω σε απλές ανοιχτές φωτιές. Ενώ το ξύλο υπήρξε το πρωτογενές καύσιμο ανά τους αιώνες, γίνεται ολοένα πιο ακριβό, πιο δύσκολο να βρεθεί και δαπανηρό για το περιβάλλον.<sup>1</sup>

Οι ηλιακοί φούρνοι συλλέγουν και διατηρούν τη θερμότητα από τον ήλιο, ώστε να παρέχουν μία ασφαλή και περιβαλλοντικά καθαρή μέθοδο μαγειρέματος των τροφών και αποστείρωσης του νερού. Συγκεκριμένα, η τεχνολογία έχει μεγάλες δυνατότητες χρήσης από κατοίκους μη ηλεκτροδοτούμενων οικισμών, όπως έχει αποδειχθεί σε αναπτυσσόμενες χώρες.<sup>2</sup>

Η ηλιακή ενέργεια είναι το αποτέλεσμα των θερμοπυρηνικών αντιδράσεων από «υδρογόνο» σε «ήλιο» που λαμβάνουν χώρα στον ήλιο. Αυτές οι θερμοπυρηνικές αντιδράσεις απελευθερώνουν τεράστια ποσά ενέργειας και ακτινοβολούν συνεχώς την ενέργεια στο διάστημα. Το είδος αυτό της ενέργειας που είναι συνεχής και πολυετής είναι διαθέσιμο ως ηλιακή ενέργεια. Η μέση ένταση της ηλιακής ακτινοβολίας για την τροχιά της Γης είναι  $1367\text{kW/m}^2$ , και η ισημερινή περιφέρεια της γης είναι  $40,000\text{km}$ , έτσι μπορεί να υπολογιστεί ότι η ενέργεια που λαμβάνει η γη φτάνει τα  $173,000\text{TW}$ .

Στη σύγχρονη εποχή, η χρήση της ηλιακής ενέργειας γίνεται έντονα διαδεδομένη, συμπεριλαμβάνοντας, την ηλιακή θερμική αξιοποίηση, την ηλιακή χρήση φωτοβολταϊκών, την φωτοχημική αξιοποίηση, κλπ. Η ηλιακή ισχύς είναι η μετατροπή του ηλιακού φωτός σε ηλεκτρισμό. Το φως του ήλιου μπορεί να μετατραπεί άμεσα σε ηλεκτρισμό χρησιμοποιώντας φωτοβολταϊκά, ή έμμεσα με συγκεντρωμένη ηλιακή ισχύ, η οποία φυσιολογικά εστιάζει την ηλιακή ενέργεια στο βράσιμο νερού, που με τη σειρά του χρησιμοποιείται για να παρέχει

---

<sup>1</sup> Rachel Martin et al. (2006). Design of Solar Ovens for Use in the Developing World. International Journal for Service Learning in Engineering. Vol. 2, No. 1, pp. 78-91.

<sup>2</sup> M J Brooks (2007). Thermal performance of a solar oven with augmented sunlight concentration. Journal of Energy in Southern Africa • Vol 18 No 2.

ισχύ. Τα συστήματα συγκεντρωμένης ηλιακής ισχύος χρησιμοποιούν φακούς ή καθρέπτες (κάτοπτρα) και συστήματα ανίχνευσης, για να εστιάσουν μία μεγάλη περιοχή ηλιακού φωτός μέσα σε μία μικρή δέσμη (ακτίνα). Η συγκεντρωμένη θερμότητα χρησιμοποιείται έπειτα ως πηγή θερμότητας.<sup>3</sup>

Οι ηλιακοί φούρνοι είναι απλές συσκευές που αιχμαλωτίζουν θερμότητα από τον ήλιο με μία ανακλαστική επιφάνεια που είναι υπό γωνία ή καμπύλη προς μία κατσαρόλα. Λόγω του ότι μπορούν εύκολα να φτιαχτούν από φθηνά υλικά, όπως είναι το χαρτόνι και το αλουμινόχαρτο, χρησιμοποιούνται ευρέως σε περιοχές του κόσμου όπου τα δέντρα και τα ορυκτά καύσιμα είναι σπάνια ή ακριβά. Μόλις κατασκευαστούν, μπορούν να χρησιμοποιηθούν για το μαγείρεμα φαγητού και το βράσιμο νερού σε μία λογική διάρκεια χρόνου με απολύτως κανένα κόστος.

---

<sup>3</sup> M. Balakrishnan, A. Claude, D. R. Arun Kumar (2012). Engineering, design and fabrication of a solar cooker with parabolic concentrator for heating, drying and cooking purposes. Scholars Research Library. Archives of Applied Science Research, 2012, 4 (4):1636-1649.

# 1<sup>ο</sup> ΚΕΦΑΛΑΙΟ

---

## ΗΛΙΑΚΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑ ΚΑΙ ΜΑΓΕΙΡΕΜΑ

---

### 1.1 Τι είναι Ενέργεια

Χρησιμοποιούμε την ενέργεια σε κάθε πτυχή της ζωής μας – παρακολουθώντας τηλεόραση, μαγειρεύοντας γεύματα, πλένοντας, χρησιμοποιώντας υπολογιστές, θερμαίνοντας το σπίτι, κλπ. Σχεδόν κάθε ανθρώπινη δραστηριότητα χρησιμοποιεί με τον ένα ή τον άλλο τρόπο ενέργεια, όπως είναι ο ηλεκτρισμός και η θερμότητα. Η πιο κοινή χρησιμοποιούμενη μορφή ενέργειας είναι η θερμική. Στις Ηνωμένες Πολιτείες, την Αυστραλία, και σε κάποια άλλα σημεία του κόσμου, η θερμική ενέργεια καταλαμβάνει περίπου 70% της ενέργειας στον οικιακό τομέα<sup>4</sup>, στον οποίο η θέρμανση του χώρου και του νερού αποτελούν τις δύο κορυφαίες περιοχές κατανάλωσης θερμικής ενέργειας.

Από πού αντλούμε θερμική ενέργεια? Ο ήλιος, για παράδειγμα, παρέχει την πιο καθαρή και αειφόρο θερμική ενέργεια στη γη, συγκρινόμενη με άλλες παραδοσιακές πηγές όπως είναι τα ορυκτά καύσιμα και το φυσικό αέριο. Το φως που ταξιδεύει από τον ήλιο στη γη ονομάζεται ηλιακή ενέργεια. Ενώ πολλοί ηλιακοί συλλέκτες απορροφούν σήμερα το φως και το μετατρέπουν σε ηλεκτρική ενέργεια, είναι αναποτελεσματικοί – μόνο περίπου 15% των ακτινών φωτός που χτυπούν έναν ηλιακό συλλέκτη μετατρέπονται σε ηλεκτρισμό. Πολλές συσκευές μαγειρέματος χρησιμοποιούν ηλεκτρισμό ή αέριο για να παράγουν θερμική ενέργεια, αλλά υπάρχει επίσης και ενέργεια που χάνεται όταν ο ηλεκτρισμός μετατρέπεται σε θερμότητα.

---

<sup>4</sup> Energy Use in the Australian Residential Sector 1986 – 2020 – Department of Environment, Water, Heritage and the Arts (DEWHA), 2008.

Ο ηλιακός φούρνος είναι μία έξυπνη μαγειρική συσκευή που συλλέγει το φως του ήλιου και το μετατρέπει απευθείας σε θερμότητα. Εξαλείφοντας το στάδιο της μετατροπής σε ηλεκτρική ενέργεια και αντίστροφα, ένας ηλιακός φούρνος υψηλής απόδοσης μπορεί να μετατρέψει περισσότερο από 80% του εισερχόμενου φωτός σε θερμότητα. Χρησιμοποιώντας ηλιακούς φούρνους και παρόμοιες συσκευές στο σπίτι, βοηθά στον περιορισμό του κόστους ενέργειας και μειώνει την εκπομπή άνθρακα από τη χρήση άλλων πηγών.<sup>5</sup>

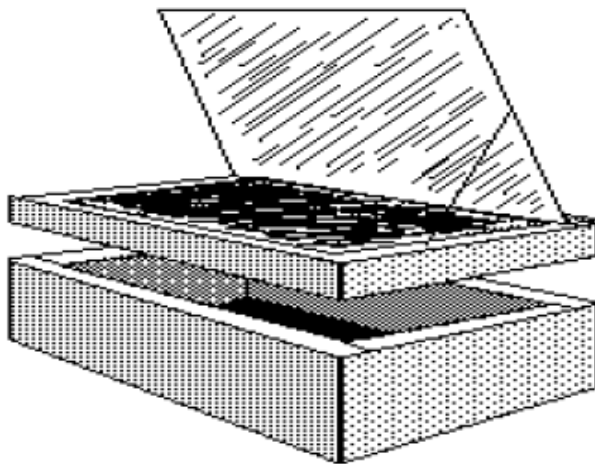
## 1.2 Αρχές Θερμότητας σε Σχέση με τους Ηλιακούς Φούρνους

Ο βασικός σκοπός ενός ηλιακού φούρνου είναι να ζεστάνει το φαγητό, να καθαρίσει το νερό και να αποστειρώσει εργαλεία. Ο ηλιακός φούρνος μαγειρεύει επειδή το εσωτερικό του θερμαίνεται από την ενέργεια του ήλιου. Το φως αυτό, είτε άμεσο είτε έμμεσο, εισέρχεται στην κατασκευή μέσα από το γυάλινο ή πλαστικό καπάκι (Εικόνα 1.1). Μετατρέπεται σε θερμική ενέργεια όταν απορροφάται από το σκούρο πιάτο απορρόφησης και από τις κατσαρόλες (μαγειρικά σκεύη). Αυτή η είσοδος της θερμότητας προκαλεί την αύξηση της θερμοκρασίας στο εσωτερικό του φούρνου μέχρι η απώλεια θερμότητας του να είναι ίση με το κέρδος της ηλιακής θερμότητας. Οι επαρκείς θερμοκρασίες για το μαγείρεμα των τροφών και την αποστείρωση του νερού επιτυγχάνονται εύκολα.<sup>6</sup>

---

<sup>5</sup> Solsource(2014). The Science Behind Solar Cookers. Copyright 2014 © One Earth Designs. Διαθέσιμο από: [http://www.oneearthdesigns.com/wp-content/uploads/2014/03/The\\_Science\\_Behind\\_Solar\\_Cookers.pdf](http://www.oneearthdesigns.com/wp-content/uploads/2014/03/The_Science_Behind_Solar_Cookers.pdf)

<sup>6</sup> M. Balakrishnan, A. Claude, D. R. Arun Kumar (2012). Engineering, design and fabrication of a solar cooker with parabolic concentrator for heating, drying and cooking purposes. Scholars Research Library. Archives of Applied Science Research, 2012, 4 (4):1636-1649.



**Εικόνα 1.1** – Ηλιακός φούρνος κουτιού με κάλυμμα, παράθυρο και ανακλαστήρα.

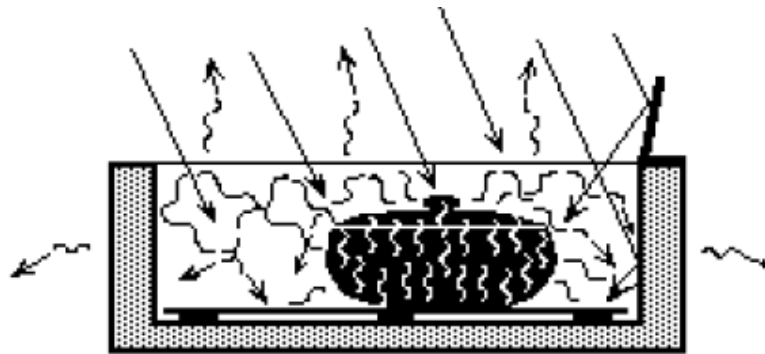
### 1.2.1 Κέρδος Θερμότητας από το Φαινόμενο του Θερμοκηπίου

Το φαινόμενο αυτό οδηγεί στη θέρμανση των κλειστών χώρων μέσα στους οποίους λάμπει ο ήλιος μέσω ενός διαφανούς υλικού, όπως είναι το γυαλί ή το πλαστικό. Το ορατό φως περνά εύκολα μέσα από το γυαλί και απορροφάται και ανακλάται από υλικά μέσα στον κλειστό χώρο. Η ενέργεια του φωτός που απορροφάται από τα σκούρα μαγειρικά σκεύη και το σκούρο πιάτο απορρόφησης κάτω από αυτά, μετατρέπεται σε θερμική ενέργεια μεγαλύτερου μήκους κύματος και ακτινοβολεί από τα εσωτερικά υλικά. Το μεγαλύτερο μέρος της ακτινοβόλου ενέργειας, επειδή είναι μεγαλύτερου μήκους κύματος, δεν μπορεί να περάσει πίσω μέσα από το γυαλί και έτσι παγιδεύεται μέσα στον κλειστό χώρο (Εικόνα 1.2).

Το ανακλώμενο φως, είτε απορροφάται από άλλα υλικά μέσα στον χώρο ή, λόγω του ότι δεν αλλάζει μήκος κύματος, περνά πίσω μέσα από το γυαλί. Ζωτικής σημασίας για την απόδοση του ηλιακού φούρνου, η θερμότητα που συλλέγεται από το σκούρο μεταλλικό πιάτο απορρόφησης και τις κατσαρόλες, επάγεται μέσω αυτών των υλικών για το ζέσταμα και το μαγείρεμα του φαγητού.<sup>7</sup>

---

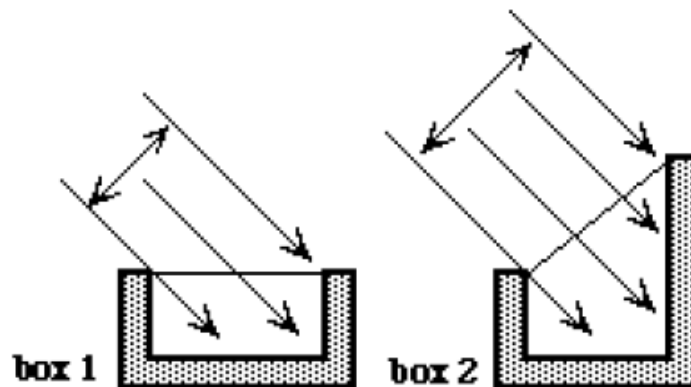
<sup>7</sup> N. Rajeshwari and A. Ramalingam, *Archives of Applied Science Research*, 2012, 4 (3): 1476-1482.



**Εικόνα 1.2** – Το φαινόμενο του θερμοκηπίου.

### 1.2.2 Κέρδος Θερμότητας από τον Προσανατολισμό του Γυαλιού

Όσο πιο άμεση είναι η θέση του γυαλιού απέναντι στον ήλιο, τόσο πιο μεγάλο είναι το κέρδος της ηλιακής θερμότητας. Αν το γυαλί στα κουτιά 1 και 2 είναι του ίδιου μεγέθους, ο ήλιος θα λάμπει περισσότερο στο κουτί 2 επειδή η θέση του είναι πιο άμεση απέναντι στον ήλιο. Πρέπει να σημειωθεί ότι το κουτί 2 έχει μεγαλύτερη έκταση τοίχου μέσω της οποίας χάνει θερμότητα (Εικόνα 1.3).<sup>8</sup>

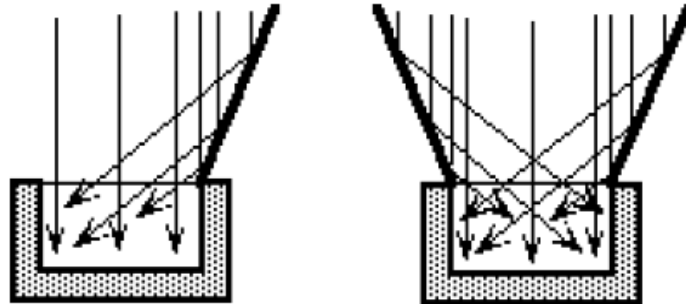


**Εικόνα 1.3** – Προσανατολισμός γυαλιού.

### 1.2.3 Επιπρόσθετο Κέρδος Θερμότητας από τους Ανακλαστήρες

<sup>8</sup> Ibeh G.F, Agbo G.A, Anyigor S, and Isikwue B.C, *Archives of Applied Science Research*, 2012, 4 (3): 1223-1226.

Οι απλοί ή πολλαπλοί ανακλαστήρες αναπηδούν επιπλέον ηλιακό φως μέσω του γυαλιού και μέσα στο ηλιακό κουτί. Αυτή η επιπρόσθετη είσοδος ηλιακής ενέργειας οδηγεί σε υψηλότερες θερμοκρασίες μαγειρέματος (Εικόνα 1.4).<sup>9</sup>



**Εικόνα 1.4** – Ανακλαστήρες για επιπλέον ηλιακό κέρδος.

#### 1.2.4 Απώλεια Θερμότητας

Ο δεύτερος νόμος της θερμοδυναμικής δηλώνει ότι η θερμότητα ταξιδεύει πάντα από τη ζέστη προς το κρύο. Η θερμότητα μέσα σε έναν ηλιακό φούρνο κουτιού χάνεται με τρεις θεμελιώδεις τρόπους: την αγωγιμότητα, την ακτινοβολία και τη μεταγωγή ή συναγωγή.

#### 1.2.5 Απώλεια Θερμότητας από την Αγωγιμότητα

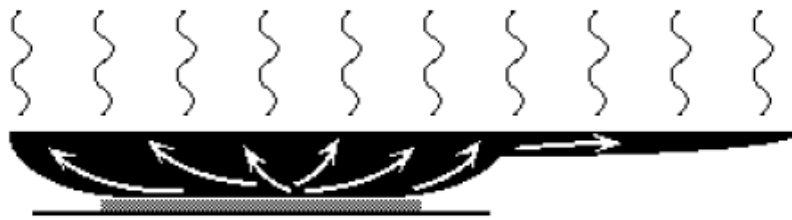
Η χειρολαβή ενός μεταλλικού τηγανιού πάνω στην κουζίνα ή την φωτιά γίνεται ζεστή μέσα από τη μεταφορά της θερμότητας από τη φωτιά μέσω των υλικών του τηγανιού, στα υλικά της χειρολαβής. Κατά τον ίδιο τρόπο, η θερμότητα μέσα σε ένα ηλιακό φούρνο χάνεται όταν ταξιδεύει μέσα από τα μόρια αλουμινόχαρτου, γυαλιού, χαρτονιού, αέρα και της μόνωσης, στον αέρα έξω από το κουτί. Το ηλιακό θερμαινόμενο πιάτο απορροφητήρα οδηγεί τη θερμότητα στο κάτω μέρος των σκευών. Για να αποτραπεί η απώλεια αυτής της

---

<sup>9</sup> M. Balakrishnan, A. Claude, D. R. Arun Kumar (2012). Engineering, design and fabrication of a solar cooker with parabolic concentrator for heating, drying and cooking purposes. Scholars Research Library. Archives of Applied Science Research, 2012, 4 (4):1636-1649.



θερμότητας δια μέσου της αγωγιμότητας, το πιάτο απορρόφησης ανυψώνεται από το κάτω μέρος χρησιμοποιώντας μικρούς μονωτικούς αποστάτες (Εικόνα 1.5).<sup>10</sup>



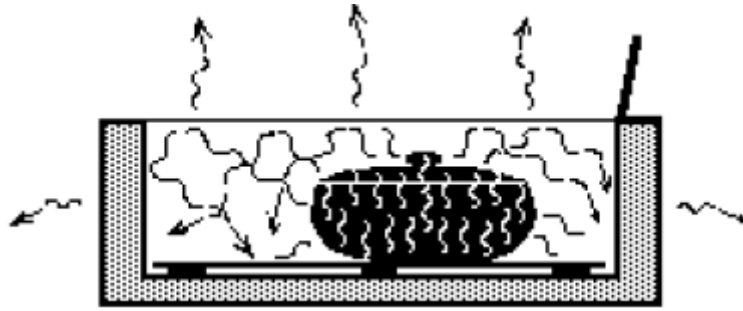
**Εικόνα 1.5** – Η θερμότητα άγει μέσω του τηγανιού στην χειρολαβή.

### 1.2.6 Απώλεια Θερμότητας από την Ακτινοβολία

Τα αντικείμενα που είναι ζεστά ή καυτά – φωτιές, εστίες, ή κατσαρόλες και φαγητό μέσα σε έναν ηλιακό φούρνο – εκπέμπουν κύματα θερμότητας, ή ακτινοβολούν θερμότητα στο περιβάλλον τους. Αυτά τα κύματα θερμότητας ακτινοβολούν από θερμά αντικείμενα μέσω του αέρα ή του κενού. Το μεγαλύτερο μέρος της εκπεμπόμενης θερμότητας που εκπέμπεται από τις ζεστές κατσαρόλες μέσα σε ένα ηλιακό φούρνο, ανακλάται από το αλουμινόχαρτο και το γυαλί πίσω στις κατσαρόλες και στον δίσκο που βρίσκεται στο κάτω μέρος. Αν και τα διαφανή γυαλιά δεν παγιδεύουν το μεγαλύτερο μέρος της ακτινοβολούμενης θερμότητας, τμήμα της μπορεί να διαφύγει απ' ευθείας μέσω του γυαλιού. Το γυαλί παγιδεύει την εκπεμπόμενη θερμότητα καλύτερα από τα περισσότερα πλαστικά υλικά (Εικόνα 1.6).<sup>11</sup>

<sup>10</sup> Ashok Kundapur, 'Solar Cookers - a review - 'All India conference on alternative Energy Sources, MIT, Manipal, 1995.

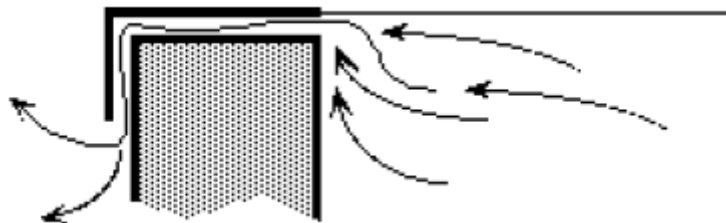
<sup>11</sup> M. Balakrishnan, A. Claude, D. R. Arun Kumar (2012). Engineering, design and fabrication of a solar cooker with parabolic concentrator for heating, drying and cooking purposes. Scholars Research Library. Archives of Applied Science Research, 2012, 4 (4):1636-1649.



**Εικόνα 1.6** – Η θερμότητα ακτινοβολεί από τα ζεστά μαγειρικά σκεύη.

### 1.2.7 Απώλεια Θερμότητας από τη Μεταγωγή ή Συναγωγή

Τα μόρια του αέρα κινούνται μέσα και έξω από το κουτί του ηλιακού φούρνου μέσα από τις ρωγμές. Προκαλούν μεταγωγή. Τα μόρια του θερμού αέρα μέσα στο ηλιακό κουτί διαφεύγουν, αρχικά μέσω των ρωγμών γύρω από το καπάκι, από το άνοιγμα της πόρτας του φούρνου, ή από κατασκευαστικές ατέλειες. Ο ψυχρότερος αέρας έξω από το κουτί εισέρχεται επίσης μέσα από αυτά τα ανοίγματα (Εικόνα 1.7).<sup>12</sup>



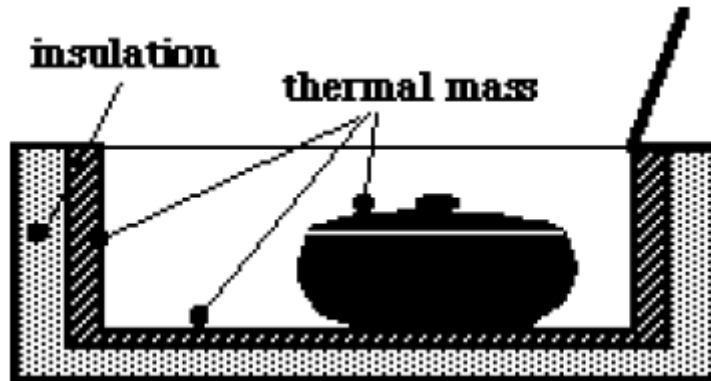
**Εικόνα 1.7** – Ο θερμός αέρας μπορεί να διαφύγει μέσα από τις ρωγμές.

### 1.2.8 Απώλεια από την Αποθήκευση Θερμότητας

Καθώς αυξάνει η πυκνότητα και το βάρος των υλικών μέσα στο μονωμένο κέλυφος του ηλιακού φούρνου, αυξάνει και η ικανότητα του κουτιού να κρατά τη θερμότητα. Το εσωτερικό ενός κουτιού συμπεριλαμβάνοντας βαριά υλικά όπως είναι πέτρες, τούβλα, βαριά σκεύη, νερό, ή βαριά τρόφιμα θα χρειαστεί περισσότερο χρόνο να θερμανθεί εξαιτίας αυτής της επιπρόσθετης ικανότητας αποθήκευσης της θερμότητας. Η εισερχόμενη ενέργεια

<sup>12</sup> N. Rajeshwari and A. Ramalingam, *Archives of Applied Science Research*, 2012, 4 (3): 1476-1482.

αποθηκεύεται ως θερμότητα σε αυτά τα βαριά υλικά, επιβραδύνοντας τη θερμότητα του αέρα στο κουτί. Αυτά τα πυκνά υλικά, που θερμαίνονται, θα ακτινοβολήσουν τη θερμότητα αυτή μέσα στο κουτί, διατηρώντας τα ζεστά για μεγαλύτερο χρονικό διάστημα (Εικόνα 1.8).<sup>13</sup>



**Εικόνα 1.8** – Θερμική μάζα στο εσωτερικό του κουτιού του ηλιακού φούρνου.

### 1.3 Ηλιακή Ενέργεια για το Μαγείρεμα

Η ανάπτυξη των τεχνολογιών ανανεώσιμης ενέργειας, και συγκεκριμένα της ηλιακής ενέργειας, αναπαριστά μία περεταίρω επιλογή στον τρόπο βελτίωσης της τρέχουσας ενεργειακής κατάστασης, ιδιαίτερα αν τα ηλιακά συστήματα μπορούν να χρησιμοποιηθούν στο μαγείρεμα των γευμάτων.<sup>14</sup> Ο ήλιος αποτελεί την πιο σημαντική πηγή ενέργειας σε ολόκληρο τον κόσμο, εκπέμποντας τεράστια ποσά ενέργειας.<sup>15</sup> Σύμφωνα με τον Abelsen (2007)<sup>16</sup>, η ετήσια παγκόσμια χρήση ηλιακής ενέργειας είναι πολύ λιγότερη από την ποσότητα της ηλιακής ενέργειας που λαμβάνεται στην επιφάνεια της γης. Το κλάσμα που αγγίζει ετησίως την επιφάνεια της γης είναι περισσότερο από 10.000 φορές υψηλότερο από την παγκόσμια κατανάλωση ενέργειας.

<sup>13</sup> M. Balakrishnan, A. Claude, D. R. Arun Kumar (2012). Engineering, design and fabrication of a solar cooker with parabolic concentrator for heating, drying and cooking purposes. Scholars Research Library. Archives of Applied Science Research, 2012, 4 (4):1636-1649.

<sup>14</sup> Schwarzer, K., Da Silva, M., E., V., (2008). Characterisation and Design methods of solar cookers, *Solar Energy* Vol. 82, Issue 2, pp. 157-163, Elsevier.

<sup>15</sup> Quaschnig, V., (2005). *Understanding renewable energy systems*, Earthscan, London Sterling.

<sup>16</sup> Abelsen, A., (2007). Solenergi. *Fornybar energi 2007*, Norges Vassdrags- og energidirektoriat, Ch. 3.

Δυστυχώς, αν και υπάρχουν διαθέσιμες μεγάλες ποσότητες ηλιακής ενέργειας, η αξιοποίηση της ενέργειας αυτής παρεμποδίζεται από πολλές προκλήσεις. Η πρόσβαση στην ηλιακή ενέργεια σε βραχυπρόθεσμη βάση μπορεί να είναι αβέβαιη. Η συνολική εισερχόμενη ακτινοβολία συνήθως δεν μεταβάλλεται πολύ αλλά είναι δύσκολο να προβλεφτεί σε καθημερινή βάση λόγω των τοπικών καιρικών μοτίβων. Η ηλιακή ακτινοβολία επίσης χαρακτηρίζεται από εποχικές μεταβολές. Σύμφωνα με τους Johansson et al. (2004)<sup>17</sup>, η εφαρμοσιμότητα της ηλιακής ενέργειας εξαρτάται από την γεωγραφική τοποθεσία και τις συνήθεις καιρικές συνθήκες.

Η χρήση των ηλιακών φούρνων μπορεί να εφαρμοστεί περισσότερο σε χώρες που είναι γενικά ξηρές και ηλιόλουστες για τουλάχιστον έξι μήνες το χρόνο. Γεωγραφικά, αυτό σημαίνει πως τα γεωγραφικά πλάτη μεταξύ του ισημερινού και 40 βαθμών είναι συνήθως τα καλύτερα μέρη για μαγείρεμα με τη βοήθεια του ήλιου.<sup>18</sup>

## 1.4 Ιστορία της Μαγειρικής μέσω του Ήλιου

Η έννοια της μαγειρικής μέσω του ήλιου δεν είναι νέα και οι εφαρμογές της μπορούν να βρεθούν παγκοσμίως. Σύμφωνα με τον Kimambo (2007)<sup>19</sup>, ο πρώτος χρήστης ηλιακού φούρνου που έχει αναφερθεί ήταν ένας Ελβετός που ονομαζόταν Nicholas de Saussure (1740-1799), ο οποίος κατασκεύασε ένα μαύρο κουτί φούρνου με μόνωση και πολλά γυάλινα καλύμματα. Ο De Saussure ανέφερε πως μπορούσε να μαγειρέψει φρούτα με επιτυχία ακόμη και χωρίς τη χρήση ανακλαστήρων. Στην Αφρική, ο πρώτος αναφερόμενος ηλιακός φούρνος χρησιμοποιήθηκε στο Ακρωτήριο της Καλής Ελπίδας το 1837 από έναν Άγγλο, τον John Fredrick Herchel. Το 1869, το πρώτο βιβλίο σχετικά με την ηλιακή ενέργεια, εκδόθηκε από τον Augustin Mouchot. Ο Mouchot επίσης σχεδίασε και κατασκεύασε ηλιακούς φούρνους

---

<sup>17</sup> Johansson, T., B., Mc Cormick K., Neij, L., Turkenburg, W., (2004). *The potentials of Renewable Energy- Thematic Background Paper*, International Conference for Renewable Energies, Bonn.

<sup>18</sup> Pia Piroshka Otte(2009). *Cooking with the sun - An analysis of Solar Cooking in Tanzania, its adoption and impact on development*. Faculty of Social Sciences and Technology Management. Norwegian University of Science and Technology.

<sup>19</sup> Kimambo, C., Z., M. (2007). Development and Performance Testing of Solar Cookers, *Journal of Energy in Southern Africa*, Vol. 18, No. 3, pp. 41- 51.

για Γάλλους στρατιώτες στην Αφρική το 1877.<sup>20</sup> Αλλά οι ηλιακοί φούρνοι δεν αναπτύχθηκαν μόνο στην Ευρώπη και την Αφρική, αλλά και στην Ασία. Στην Βομβάη, ένας Άγγλος, ο William Adams (1878) διεξήγαγε πειράματα πάνω στους ηλιακούς φούρνους. Η μέθοδος του Adams ήταν η χρήση καθρεφτών από γυαλί επίπεδα διατεταγμένοι σε ένα σχήμα αναστραμμένης οκτάπλευρης πυραμίδας που εστιάζει το φως διαμέσου ενός κυλινδρικού κώδωνα μέσα στο δοχείο τροφίμων. Στην Αμερική, πρώτος ο Samuel Langel χρησιμοποίησε έναν φούρνο τύπου κουτιού στην Καλιφόρνια το 1884.

Ο Δεύτερος Παγκόσμιος Πόλεμος οδήγησε σε αυξημένο ενδιαφέρον για την ηλιακή ενέργεια μετά τον πόλεμο και σε πιθανή περιοχή επένδυσης. Τις δεκαετίες '50 και '60, οι περισσότεροι από τους βασικούς σχεδιασμού ηλιακών φούρνων δοκιμάστηκαν και διαδόθηκαν, οδηγώντας σε αυξημένο δημόσιο ενδιαφέρον.

Επιπλέον, κρίση του πετρελαίου στις αρχές του 1970, συνέβαλλε στην υποστήριξη των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας. Τέλος, ο αυξανόμενος πληθυσμός στην Κίνα και την Ινδία είχε οδηγήσει σε υψηλότερη κατανάλωση καυσόξυλων, ενθαρρύνοντας την κυβερνητική έρευνα σε ότι αφορά στην εναλλακτική ενέργεια, το 1970.<sup>21</sup>

Γενικά, η τεχνολογία των ηλιακών φούρνων χρησιμοποιήθηκε και βελτιώθηκε ώστε να τους κάνει πιο αποδεκτούς από τους πιθανούς χρήστες κατά τη διάρκεια του 20<sup>ου</sup> αιώνα. Πολλοί οργανισμοί εργάζονται τώρα πάνω στην ανάπτυξη και την προώθηση των ηλιακών φούρνων στις αναπτυσσόμενες χώρες. Ίσως, η πιο κατανοητή έρευνα ηλιακού φούρνου διεξήχθη μεταξύ 1996 και 2004 στην Νότια Αφρική περιλαμβάνοντας έλεγχο πεδίου των ηλιακών φούρνων και διάδοσή τους.<sup>22</sup> Σήμερα, υπάρχουν πολλά περισσότερα ιδρύματα και οργανισμοί που εμπλέκονται στις προσπάθειες βελτίωσης της αποδοτικότητας και της

---

<sup>20</sup> Wentzel, M., & Pouris, A., (2007). The development impact of solar cookers: A review of solar cooking impact research in South Africa, *Energy Policy*, Vol. 35, Issue 3, March 2007, pp. 1909- 1919.

<sup>21</sup> Wentzel, M., & Pouris, A., (2007). The development impact of solar cookers: A review of solar cooking impact research in South Africa, *Energy Policy*, Vol. 35, Issue 3, March 2007, pp. 1909- 1919.

<sup>22</sup> GTZ (German Technical Cooperation) (1999). *Solarkocher in Entwicklungsländern Akzeptanz und Markteinführung*. Available at: <http://www.gtz.de/de/dokumente/desolarkocher-1999.pdf> (Accessed 14 February 2009).

κοινωνικής αποδοχής των ηλιακών φούρνων. Είναι δύσκολο να βρεθεί βιβλιογραφία που να εκτιμά τον αριθμό των ηλιακών φούρνων που χρησιμοποιούνται παγκοσμίως.<sup>23</sup>

---

<sup>23</sup> *Pia Piroshka Otte*(2009). *Cooking with the sun - An analysis of Solar Cooking in Tanzania, its adoption and impact on development*. Faculty of Social Sciences and Technology Management. Norwegian University of Science and Technology.

# **[ 2<sup>ο</sup> ] ΚΕΦΑΛΑΙΟ**

---

## **ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΤΥΠΟΙ ΗΛΙΑΚΩΝ ΦΟΥΡΝΩΝ**

---

### **2.1 Ηλιακός Φούρνος**

Υπάρχουν πολλοί τρόποι να κατασκευαστεί ένας ηλιακός φούρνος – μία ιστοσελίδα που είχε ειδικό αφιέρωμα στο θέμα, είχε δεκάδες φωτογραφιών από διαφορετικούς τύπους που στάλθηκαν από άτομα από όλο τον κόσμο – και όλοι φαίνεται να λειτουργούν αρκετά καλά. Παρακάτω αναφέρονται τα απαραίτητα εργαλεία και υλικά που χρησιμοποιούνται στην κατασκευή των ηλιακών φούρνων καθώς και οι συνηθέστεροι τύποι που υπάρχουν.

### **2.2 Εργαλεία και Υλικά**

Μερικά εργαλεία που χρησιμοποιούνται στην κατασκευή ενός ηλιακού φούρνου μπορούν να συνοψιστούν στα παρακάτω:

- ☞ Κυματοειδές χαρτόνι (μεγάλα επίπεδα φύλλα (για μόνωση) από κουτιά συσκευών λειτουργούν καλύτερα).
- ☞ Κολλητική ταινία.
- ☞ Τέμπερα μαύρου χρώματος σε σκόνη.
- ☞ Λευκή κόλα.
- ☞ Πλαστικό δοχείο, περίπου 500ml.
- ☞ Θερμόμετρο φούρνου.
- ☞ Αλουμινόχαρτο.

- ☞ Μεγάλη διαφανής σακούλα φούρνου.
- ☞ Κομμένο χαρτί (για μόνωση).
- ☞ Κουτί από χαρτόνι (με πτερύγια).
- ☞ Πλαστικό κουτάλι.
- ☞ Μαχαίρι για οποιαδήποτε χρήση.
- ☞ Μέτρο ή μεζούρα μέτρησης.
- ☞ Γυαλιά ηλίου.
- ☞ Πινέλο βαφίματος 3 – 5cm.
- ☞ Γάντια φούρνου.
- ☞ Μολύβι ή στυλό.
- ☞ Μεγάλο χάρακα ή άλλη επίπεδη επιφάνεια.<sup>24</sup>



**Εικόνα 2.1** – Δομικά υλικά του ηλιακού φούρνου.

## 2.3 Απαιτήσεις Υλικών

Υπάρχουν τρεις τύποι υλικών που συνήθως χρησιμοποιούνται στην κατασκευή των ηλιακών φούρνων κουτιού. Μία ιδιότητα που πρέπει να ληφθεί υπόψη στην επιλογή των υλικών είναι η αντίσταση κατά της υγρασίας.<sup>25</sup> Αναλυτικά οι ιδιότητες αναφέρονται παρακάτω.

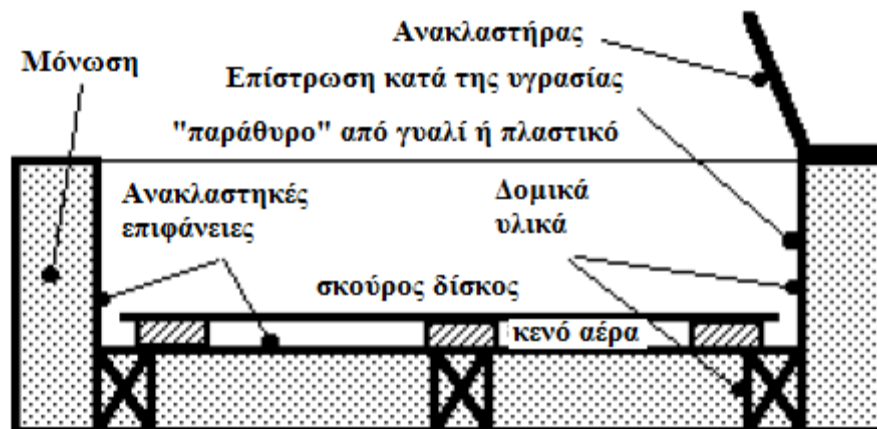
<sup>24</sup> Greenlearning.ca. Built your own solar oven. Cooking with the sun. Διαθέσιμο από: <http://www.re-energy.ca/docs/solaroven-cp.pdf>.

<sup>25</sup> Ashok Kundapur, 'Solar Cookers - a review - 'All India conference on alternative Energy Sources, MIT, Manipal, 1995.



### 2.3.1 Δομικό Υλικό

Τα δομικά υλικά είναι απαραίτητα ώστε το κουτί να έχει και να διατηρήσει ένα δεδομένο σχήμα και να είναι ανθεκτικό στο πέρασμα του χρόνου. Τα δομικά υλικά συμπεριλαμβάνουν χαρτόνι, ξύλο, κόντρα πλακέ, μπαμπού, μέταλλο, τσιμέντο, τούβλα, πέτρα, γυαλί, υαλοβάμβακα, καλάμια, πλαστικό, πεπιεσμένο χαρτί, πηλό, φλοιούς δέντρων, ύφασμα που έχει σκληρύνει με κόλλα ή άλλο υλικό. Πολλά υλικά που αποδίδουν καλά σε δομικό επίπεδο είναι πολύ πυκνά για να είναι καλοί μονωτές.<sup>26</sup> Για να παραχθούν τόσο η δομική ακεραιότητα όσο και καλές ποιότητες μόνωσης, είναι συνήθως απαραίτητο να χρησιμοποιούνται ξεχωριστά δομικά και μονωτικά υλικά (Εικόνα 2.2).



Εικόνα 2.2 – Υλικά: δομικά, μόνωσης, διαφανή και αντοχής στην υγρασία.

### 2.3.2 Μόνωση

Για να επιτευχθούν αρκετά υψηλές θερμοκρασίες μέσα στο κουτί για το μαγείρεμα, οι τοίχοι και το κάτω μέρος του κουτιού πρέπει να έχουν καλή τιμή μόνωσης (συγκράτηση της θερμότητας). Τα καλά μονωτικά υλικά συμπεριλαμβάνουν: το αλουμινοχαρτο (ανάκλαση ακτινών), τα φτερά, ο περιστρεφόμενος υαλοβάμβακας, ο πετροβάμβακας, η κυτταρίνη, οι φλούδες ρυζιού, το μαλλί, το άχυρο και οι τσαλακωμένες εφημερίδες.

<sup>26</sup> Bethea et al, *Solar Energy*, 1981, 27(6): 223-34

Όταν κατασκευάζεται ένας ηλιακός φούρνος, είναι σημαντικό τα μονωτικά υλικά να περιβάλλουν την εσωτερική κοιλότητα μαγειρέματος σε όλες τις πλευρές εκτός από εκείνη με το γυαλί – συνήθως η επάνω. Τα μονωτικά υλικά πρέπει να εφαρμόζονται ώστε να επιτρέπουν την ελάχιστη αγωγιμότητα της θερμότητας από τα δομικά υλικά στο εσωτερικό του κουτιού, στα δομικά υλικά του εξωτερικού κουτιού. Όσο πιο χαμηλή είναι η απώλεια θερμότητας του κουτιού, τόσο πιο υψηλές είναι οι θερμοκρασίες μαγειρέματος.<sup>27</sup>

### 2.3.3 Διαφανές Υλικό

Τουλάχιστον μία επιφάνεια του κουτιού πρέπει να είναι διάφανη και να βρίσκεται απέναντι από τον ήλιο ώστε να παρέχει θέρμανση μέσω του «φαινομένου του θερμοκηπίου». Τα πιο κοινά υλικά υαλοπινάκων είναι από γυαλί και υψηλής θερμοκρασίας πλαστικά όπως είναι οι σακούλες ψησίματος του φούρνου. Τα διπλά τζάμια χρησιμοποιώντας είτε γυαλί είτε πλαστικό, επηρεάζουν τόσο το κέρδος της θερμότητας όσο και την απώλεια της θερμότητας. Ανάλογα με το υλικό που χρησιμοποιείται, η ηλιακή εκπομπή – κέρδος της θερμότητας – μπορεί να μειωθεί κατά 5-15%. Ωστόσο, λόγω του ότι η απώλεια της θερμότητας μέσω του γυαλιού ή του πλαστικού κόβεται στο μισό, αυξάνεται η συνολική απόδοση του ηλιακού κουτιού.<sup>28</sup>

### 2.3.4 Αντοχή στην Υγρασία

Οι περισσότερες τροφές που μαγειρεύονται σε έναν ηλιακό φούρνο περιέχουν υγρασία. Όταν το νερό ή το τρόφιμο θερμαίνεται στο ηλιακό κουτί, δημιουργείται μία πίεση ατμού, οδηγώντας την υγρασία από το εσωτερικό στο εξωτερικό του κουτιού. Υπάρχουν πολλοί τρόποι με τους οποίους η υγρασία αυτή μπορεί να ταξιδέψει. Μπορεί να δραπετεύσει απευθείας μέσω των κενών και των ρωγμών του κουτιού, ή μπορεί να αναγκαστεί να

---

<sup>27</sup> Bowman T.E., *Solar Cookers: Test Results and New Designs*, Second International Symposium of Engineering, Florida.1979.

<sup>28</sup> M. Balakrishnan, A. Claude, D. R. Arun Kumar (2012). Engineering, design and fabrication of a solar cooker with parabolic concentrator for heating, drying and cooking purposes. Scholars Research Library. Archives of Applied Science Research, 2012, 4 (4):1636-1649.

εισέλθει στα τοιχώματα και στον πυθμένα του αν δεν υπάρχει εμπόδιο για την υγρασία. Αν το κουτί είναι σχεδιασμένο με υψηλής ποιότητας στεγανοποιήσεις και φράγματα υγρασίας, ο ατμός του νερού μπορεί να διατηρηθεί μέσα στο δοχείο μαγειρέματος. Στον σχεδιασμό των περισσότερων ηλιακών φούρνων, είναι σημαντικό η εσωτερική επιφάνεια του να είναι ένα καλό φράγμα υδρατμών. Το φράγμα αυτό θα αποτρέψει τη βλάβη από το νερό στα μονωτικά και δομικά υλικά του φούρνου, επιβραδύνοντας τη μετανάστευση του υδρατμού μέσα στους τοίχους και το κάτω μέρος του φούρνου.<sup>29</sup>

### 2.3.5 Ανακλαστήρας

Εφαρμόζονται ένας ή περισσότεροι ανακλαστήρες για να εισάγουν επιπλέον φως μέσα στον ηλιακό φούρνο, ώστε να αυξηθούν οι θερμοκρασίες μαγειρέματος. Αν και στον ισημερινό είναι δυνατό το μαγείρεμα μέσω του ήλιου και χωρίς ανακλαστήρες, στις εύκρατες περιοχές του κόσμου οι ανακλαστήρες αυξάνουν σημαντικά την απόδοση του μαγειρέματος.<sup>30</sup>

## 2.4 Χρήση των Ηλιακών Φούρνων

Οι συνθήκες του παραδοσιακού μαγειρέματος διαφέρουν σημαντικά από το μαγείρεμα με έναν ηλιακό φούρνο. Η ενότητα αυτή συζητά μερικές χρήσεις και απαιτήσεις.

Ένας ηλιακός φούρνος μπορεί να χρησιμοποιηθεί μόνο όταν λάμπει ο ήλιος, π.χ. κατά τις ώρες της ημέρας. Ακόμη και τότε, ο χρόνος μαγειρέματος μπορεί να ποικίλει ανάλογα με τις καιρικές συνθήκες. Καθώς κάθε τύπος ηλιακού φούρνου εξαρτάται από την ποσότητα της ηλιοφάνειας, ένας ηλιακός φούρνος δεν μπορεί να αντικαταστήσει εντελώς την παραδοσιακή πηγή ενέργειας. Στην πράξη, ο ηλιακός φούρνος χρησιμοποιείται για την προετοιμασία ενός

---

<sup>29</sup> Chen et al., *Solar Energy*, 1995, 54 (4) : 227 – 237.

<sup>30</sup> M. Balakrishnan, A. Claude, D. R. Arun Kumar (2012). Engineering, design and fabrication of a solar cooker with parabolic concentrator for heating, drying and cooking purposes. Scholars Research Library. Archives of Applied Science Research, 2012, 4 (4):1636-1649.

συγκεκριμένου τύπου φαγητού, για παράδειγμα, για το μαγείρεμα του ρυζιού, ενώ η παραδοσιακή κουζίνα χρησιμοποιείται για την ετοιμασία του κρέατος.

Ο ηλιακός φούρνος απαιτεί μία τοποθεσία στον ήλιο. Αυτή μπορεί να είναι για παράδειγμα στην αυλή ή στην ταράτσα. Ειδικά στις αστικές περιοχές, οι χρήστες μπορεί να μην έχουν πρόσβαση σε μία ηλιόλουστη τοποθεσία. Επίσης, οι ηλιακοί φούρνοι χρειάζεται να τοποθετούνται σε μέρη όπου μπορούν να αντέχουν τις καιρικές συνθήκες, αφού κάποιοι τύποι (για παράδειγμα οι παραβολικοί) είναι συνήθως ευαίσθητοι στους ισχυρούς ανέμους. Ο ηλιακός φούρνος δεν μπορεί να αφεθεί έξω χωρίς την επίβλεψη κάποιου. Μπορεί να καταστραφεί από τα παιδιά από τα ζώα. Οι χρήστες θα πρέπει να είναι προετοιμασμένοι να παίρνουν έξω τον φούρνο καθημερινά και να μαγειρεύουν σε ανοιχτή/δημόσια περιοχή.

Ειδικά οι φούρνοι παραβολικού τύπου και οι τύπου κουτιού είναι γενικά πολύ βαριοί για να κουβαλιούνται καθημερινά έξω. Η φορητή φύση ενός ηλιακού φούρνου σημαίνει επίσης πως άλλοι άνθρωποι (κλέφτες) μπορούν επίσης να τον μετακινήσουν. Ακόμη και όταν ένας αδρανής φούρνος μπορεί να αφεθεί χωρίς παρακολούθηση, ένας φούρνος κουτιού η πάνελ απαιτεί μεγάλο χρόνο μαγειρέματος στον ήλιο. Τα περιεχόμενα του ηλιακού φούρνου θα μπορούσαν να αποτελέσουν τροφή για τα παιδιά, ή για τα ζώα.

Οι χρόνοι μαγειρέματος για έναν φούρνο παραβολικού τύπου είναι περίπου το ίδιο γρήγοροι με τους συμβατικούς φούρνους, αλλά αυτοί απαιτούν συνεχή παρακολούθηση. Πρέπει επίσης να τοποθετούνται συχνά στον ήλιο. Αυτό σημαίνει ότι ο μάγειρας θα πρέπει να είναι στο σπίτι το απόγευμα για να ετοιμάσει το βραδινό γεύμα. Στην πράξη, συχνά χρησιμοποιείται παχύ για την διατήρηση του φαγητού μετά την ετοιμασία. Το φαγητό μπορεί έπειτα να χρησιμοποιηθεί το βράδυ.

Γενικά, μία ανοιχτή φωτιά έχει πιο πολλές χρήσεις από την προετοιμασία του βραδινού γεύματος. Η φωτιά μπορεί να χρησιμοποιηθεί για να θερμανθεί το σπίτι ή την απομάκρυνση των εντόμων. Πολλές μελέτες που σχετίζονται με το μαγείρεμα με διαφορετικές πηγές ενέργειας, έχουν επίσης δείξει ότι μερικοί άνθρωποι προτιμούν το μαγείρεμα του φαγητού τους σε ανοιχτή φωτιά από ότι με άλλες πηγές ενέργειας. Αν το φαγητό ετοιμάζεται σε έναν ηλιακό φούρνο, η γεύση, η υφή και το χρώμα του ποικίλει από εκείνο που μαγειρεύεται με τις παραδοσιακές μεθόδους.

Οι ηλιακοί φούρνοι μπορούν επίσης να χρησιμοποιηθούν και για άλλους σκοπούς εκτός από το απλό μαγείρεμα. Οι υψηλές θερμοκρασίες που επιτυγχάνονται στους

παραβολικούς φούρνους επιτρέπουν την απόσταξη του νερού για μπαταρίες. Οι ηλιακοί φούρνοι μπορούν επίσης να χρησιμοποιηθούν για την παστερίωση ή την αποστείρωση του νερού.<sup>31</sup>

## 2.5 Ασφάλεια

- ☞ Χρειάζεται ιδιαίτερη προσοχή όταν κόβετε το χαρτοκιβώτιο με το μαχαίρι. Επεκτείνετε τη λεπίδα μόνο στο βαθμό που απαιτείται για να διαπεράσει το χαρτόνι, και ασφαλίστε το στη θέση του. Κόψτε πάνω σε ένα ξύλο κοπής ή σε ένα κομμάτι από κόντρα πλακέ.
- ☞ Χρησιμοποιήστε ειδικά γυαλιά όταν εργάζεστε με λαμπερά αντικείμενα στο φως του ήλιου.
- ☞ Οι ηλιακοί φούρνοι μπορεί να γίνουν πολύ ζεστοί! Χρησιμοποιήστε γάντια φούρνου ή γάντια αντοχής στη θερμότητα για να αποφύγετε τα εγκαύματα.<sup>32</sup>

## 2.6 Τύποι Ηλιακών Φούρνων

Παγκοσμίως, υπάρχει ευρεία ποικιλία από σχεδιασμούς ηλιακών φούρνων. Σύμφωνα με τον Kimambo (2007)<sup>33</sup>, σχεδιασμοί των ηλιακών φούρνων μπορούν να διαιρεθούν σε τέσσερις κύριες κατηγορίες:

1. τους ηλιακούς φούρνους κουτιού,
2. τους φούρνους με πάνελ,
3. τους φούρνους συλλέκτη, και
4. τους παραβολικούς φούρνους.

---

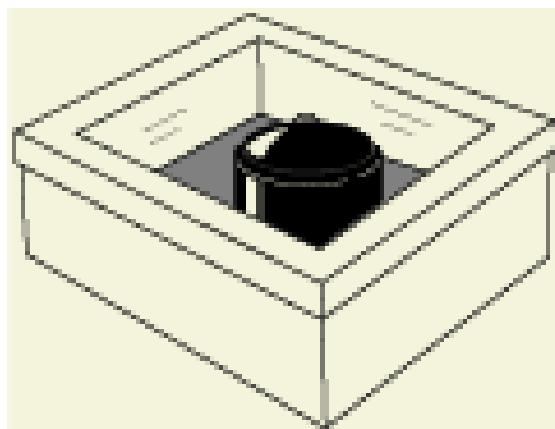
<sup>31</sup> WOT. Solar cookers in developing countries. <http://www.wot.utwente.nl/>. Διαθέσιμο από: <http://www.its.caltech.edu/~e105/readings/solarcookers.pdf>.

<sup>32</sup> Greenlearning.ca. Built your own solar oven. Cooking with the sun. Διαθέσιμο από: <http://www.re-energy.ca/docs/solaroven-cp.pdf>.

<sup>33</sup> Kimambo, C., Z., M. (2007). Development and Performance Testing of Solar Cookers, *Journal of Energy in Southern Africa*, Vol. 18, No. 3, pp. 41- 51.

### 2.6.1 Ηλιακοί Φούρνοι Κουτιού

Οι ηλιακοί φούρνοι κουτιού αποτελούνται από ένα μονωμένο δοχείο με ένα σκέπασμα είτε από γυαλί ή από ένα διάφανο υλικό σε ένα μονό ή σε πολλαπλά επίπεδα.<sup>34</sup> Η ηλιακή ακτινοβολία μικρού κύματος παγιδεύεται μέσα στον φούρνο και μετατρέπεται σε θερμότητα. Στην βάση του ηλιακού φούρνου υπάρχει μία πλάκα απορρόφησης. Η θερμότητα μεταφέρεται μέσα στο μαγειρικό σκεύος από τη βάση, το πάνω μέρος και τις πλευρές του κουτιού. Για να γίνει πιο αποδοτικός ο φούρνος, είναι σημαντικό να χρησιμοποιούνται μαύρες επιφάνειες για το μαγείρεμα, αφού είναι πολύ ζεστές όταν πέφτει πάνω τους ο ήλιος, με υψηλή απορρόφηση της ηλιακής ενέργειας. Αυτό σημαίνει ότι η τροφή μαγειρεύεται καλύτερα μέσα σε σκούρες, λεπτού μετάλλου κατσαρόλες. Επιπλέον, μία διάφανη παγίδα θερμότητας γύρω από τις σκούρες κατσαρόλες αφήνει το φως του ήλιου να εισέλθει και κρατά τη θερμότητα. Για τους ηλιακούς φούρνους κουτιού, χρησιμοποιείται ένα μονωμένο κουτί με ένα παράθυρο από γυαλί ή πλαστικό, όπως φαίνεται στην Εικόνα 2.3.



**Εικόνα 2.3** – Μονωμένο κουτί με μαύρο μαγειρικό σκεύος και παράθυρο από γυαλί/πλαστικό.

Σύμφωνα με τον Kimambo (2007), ο φούρνος κουτιού είναι ο πιο συχνά χρησιμοποιούμενος τύπος ηλιακού φούρνου στις αναπτυσσόμενες χώρες εξαιτίας της ευκολίας κατασκευής και χρήσης του. Μπορεί να αγγίξει εσωτερικές θερμοκρασίες έως 180°C. Σήμερα, υπάρχουν πολλοί διαφορετικοί σχεδιασμοί ηλιακών φούρνων κουτιού, αλλά γενικά, μπορούν να διαιρεθούν σε δύο βασικές κατηγορίες, σύμφωνα με την παρουσία ή την

<sup>34</sup> Kristjansdottir, T., F., (2004). *Solar cookers in Mozambique*, Diploma Thesis, Department of Energy and Process Engineering, The Norwegian University of Science and Technology (NTNU).

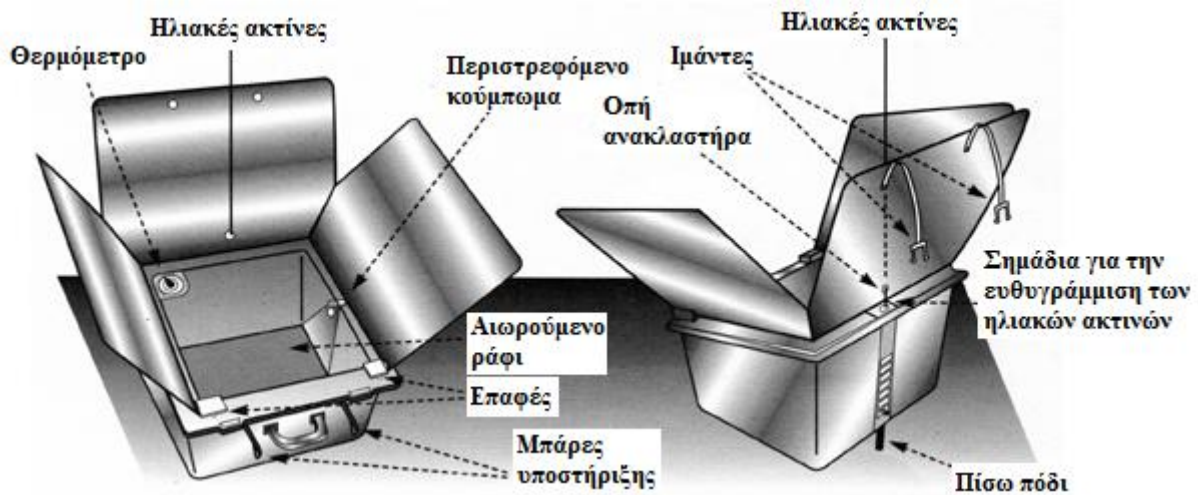
απουσία ανακλαστήρων.<sup>35</sup> Οι φούρνοι κουτιού με ανακλαστήρες μπορούν να διαιρεθούν σε πέντε υπό-κατηγορίες σύμφωνα με τον αριθμό των ανακλαστήρων που χρησιμοποιούνται στο σχεδιασμό. Το πρώτο κουτί χωρίς ανακλαστήρες πιθανών να έγινε από τον Nicholas de Saussure (1740-1799), το οποίο ήταν απλά ένα μαύρο μονωμένο κουτί με πολλά γυάλινα καλύμματα. Πολλές άλλες εκδοχές αυτού του τύπου αναπτύχθηκαν και τροποποιήθηκαν με το πέρασμα των ετών.

Ωστόσο, συνειδητοποιήθηκε σύντομα πως για να φτιαχτούν πιο αποδοτικοί και αξιόπιστοι φούρνοι τύπου κουτιού, έπρεπε να προσαρμοστούν ανακλαστήρες. Ο πρώτος τέτοιος φούρνος που συμπεριελάμβανε έναν ανακλαστήρα ήταν πιθανών ο φούρνος Gosh, που ονομάστηκε έτσι από το όνομα του εφευρέτη του και έγινε διάσημος σε ολόκληρο τον κόσμο. Ο σχεδιασμός του αποτελείται από έναν κοινό φούρνο κουτιού με κάλυμμα διπλού τζαμιού και έναν απλό ανακλαστήρα. Ο σχεδιασμός αυτός βελτιώθηκε και τροποποιήθηκε από διάφορους επιστήμονες, οδηγώντας στην εμφάνιση πολλών παραλλαγών του συγκεκριμένου φούρνου. Μία σημαντική παραλλαγή ήταν η ενσωμάτωση τριών οπών στο γυαλί, με σκοπό να γίνει πιο εύκολος ο χειρισμός του μαγειρικού σκεύους. Λόγω του προβλήματος που σχετιζόταν με την αποτελεσματικότητα του φούρνου Gosh κατά τη διάρκεια των ψυχρών και συννεφιασμένων ημερών, αναπτύχθηκαν οι ηλιακοί φούρνοι διπλών ανακλαστήρων. Ο Agarwal ήταν ο πρώτος που πρόσθεσε έναν ακόμη ανακλαστήρα το 1981.<sup>36</sup> Η ιδέα του δεν περιελάμβανε μηχανισμούς για την κλίση, που θεωρούνται σημαντικοί για την αύξηση της αποδοτικότητας του φούρνου. Ωστόσο, ακόμη και χωρίς τη δυνατότητα κλίσης των ανακλαστήρων, σημειώθηκαν πιο σύντομοι χρόνοι μαγειρέματος για τον σχεδιασμό των δύο ανακλαστήρων. Μετά από κάποιον καιρό, αναπτύχθηκαν παραλλαγές των δύο ανακλαστήρων και τροποποιήθηκαν περαιτέρω, συμπεριλαμβάνοντας ικανότητες κλίσης. Αλλά για την ακόμη μεγαλύτερη βελτίωση της απόδοσης των φούρνων ήταν απαραίτητο να αναπτυχθούν σχεδιασμοί με τρεις ανακλαστήρες. Η Εικόνα 2.4 παρουσιάζει το σχεδιασμό ενός φούρνου κουτιού τριών ανακλαστήρων.

---

<sup>35</sup> SCI (Solar Cookers International) (2009a). *Box cookers*. Available at: [http://solarcooking.wikia.com/wiki/Solar\\_box\\_cooker](http://solarcooking.wikia.com/wiki/Solar_box_cooker) (Accessed 13 April 2009).

<sup>36</sup> SCI (Solar Cookers International) (2009a). *Box cookers*. Available at: [http://solarcooking.wikia.com/wiki/Solar\\_box\\_cooker](http://solarcooking.wikia.com/wiki/Solar_box_cooker) (Accessed 13 April 2009).



**Εικόνα 2.4** – Σχεδιασμός ηλιακού φούρνου κουτιού με τρεις ανακλαστήρες.

Μαζί με την προσθήκη των τριών ανακλαστήρων, έγιναν επίσης προσπάθειες ανάπτυξης ενός ηλιακού φούρνου κουτιού τεσσάρων ανακλαστήρων, αλλά οι αρχικοί σχεδιασμοί έδειξαν πως ο χρόνος μαγειρέματος δεν μειώθηκε κατά 25% σε σχέση με τον φούρνο μονού ανακλαστήρα. Ένας επιτυχημένος εμπορικά φούρνος τεσσάρων ανακλαστήρων αναπτύχθηκε από την εταιρία «Sun Ovens International Inc.». Ο ηλιακός αυτός φούρνος αναπτύχθηκε για να συναντήσει το 70% των αναγκών μίας οικογένειας των έξι με οκτώ ατόμων σε μία αναπτυσσόμενη χώρα.<sup>37</sup> Η εικόνα 2.5 παρουσιάζει τον «Παγκόσμιο ηλιακό φούρνο». Μαζί του, η εταιρία προωθεί έναν φούρνο μεγέθους ενός χωριού που ονομάζεται «Villager Sun Oven», που σχεδιάστηκε για κοινότητες που απαιτούν έναν υψηλότερο όγκο μαγειρέματος.<sup>38</sup> Ο σχεδιασμός ενός τέτοιου φούρνου φαίνεται στην Εικόνα 2.6.<sup>39</sup>

<sup>37</sup> Sun Oven, (2008a). *Global Sun Oven*. Available at: <http://www.sunoven.com/global.asp> (Accessed 24 November 2008).

<sup>38</sup> Sun Oven, (2008b). *Villager Sun Oven*. Available at: <http://www.sunoven.com/villager.asp> (Accessed 24 November 2008).

<sup>39</sup> Pia Piroshka Otte (2009). *Cooking with the sun - An analysis of Solar Cooking in Tanzania, its adoption and impact on development*. Faculty of Social Sciences and Technology Management. Norwegian University of Science and Technology.





**Εικόνα 2.5** – Παγκόσμιος ηλιακός φούρνος.

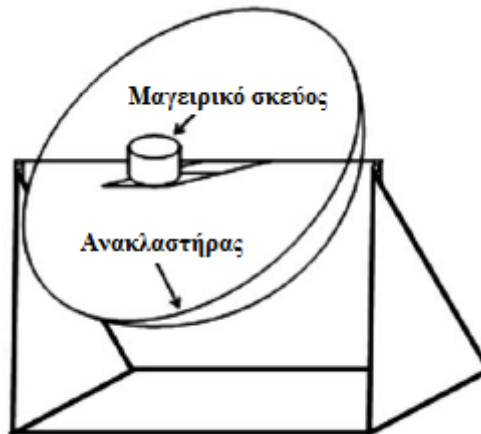


**Εικόνα 2.6** – Ηλιακός φούρνος «Villager».

### **2.6.2 Ηλιακοί Φούρνοι Παραβολικής Συγκέντρωσης**

Το όνομα του ηλιακού φούρνου παραβολικής συγκέντρωσης προέρχεται από το παραβολικό του (πιάτο) σχήμα. Οι ηλιακοί φούρνοι αυτού του τύπου έχουν υψηλή απόδοση. Ο παραβολικός φούρνος συγκεντρώνει άμεση ηλιακή ακτινοβολία μέσα σε ένα σημείο εστίασης. Έπειτα, το μαγειρικό σκεύος τοποθετείται στο σημείο εστίασης. Λόγω της χρήσης κατόπτρων και/ή φακών, ο παραβολικός φούρνος μπορεί να αγγίξει θερμοκρασίες μέχρι 250°C, οι οποίες είναι πολύ υψηλότερες από τις θερμοκρασίες που φτάνει ένα φούρνος

κουτιού (180°C).<sup>40</sup> Επιπλέον, ο ηλιακός φούρνος παραβολικής συγκέντρωσης έχει σύντομο χρόνο προθέρμανσης. Κατασκευάζεται συνήθως από αλουμίνιο ή ασάλι και μπορεί να διαφέρει στο μέγεθος και στις εφαρμογές του. Οι μεγαλύτεροι τύποι μπορούν να μαγειρέψουν φαγητό για περίπου 20 άτομα. Η Εικόνα 2.7 δείχνει έναν τυπικό σχεδιασμό ενός ηλιακού φούρνου παραβολικής συγκέντρωσης.



**Εικόνα 2.7** – Ηλιακός φούρνος παραβολικής συγκέντρωσης οικιακού μεγέθους.<sup>41</sup>

Οι ηλιακοί φούρνοι παραβολικής συγκέντρωσης μπορούν να διαχωριστούν τόσο από τους διαφορετικούς τύπους όσο και από την ομάδα-στόχο τους. Διαθέσιμοι είναι οι ηλιακοί φούρνοι μεγέθους κοινότητας, αλλά και εκείνοι οικιακού μεγέθους. Οι μεγέθους κοινότητας αποτελούν ένα σύστημα που βοηθά το ηλιακό μαγείρεμα μέσα στο σπίτι. Ένα παράδειγμα ενός τέτοιου φούρνου είναι ο «Fix Focus Parabolic Reflector for Community Kitchens» που αναπτύχθηκε από τον Wolfgang Scheffler.<sup>42</sup> Ο φούρνος αυτός χρησιμοποιεί μεγάλα παραβολικά πιάτα για να θερμάνει έναν φούρνο μέσα στο κτίριο μέσω μίας οπής στον

<sup>40</sup> GTZ (German Technical Cooperation) (2007). *Here comes the sun*. Available at: <http://www.gtz.de/de/dokumente/gtz-en-here-comes-the-sun-2007.pdf> (Accessed 16 September 2008).

<sup>41</sup> Kaushik, S., C., & Gupta, M., K., (2008). Energy and exergy efficiency comparison of community- size and domestic- size paraboloidal solar cooker performance, *Energy for Sustainable Development*, Vol. 12 No.3, pp.60- 64.

<sup>42</sup> Solare Brücke, (2009). *Fix Focus Parabolic Reflector for Community Kitchens* (Wolfgang Scheffler). Available at: [http://www.solarebruecke.org/infoartikel/info\\_vorstand.htm#english](http://www.solarebruecke.org/infoartikel/info_vorstand.htm#english) (Accessed 19 March 2009).

εξωτερικό τοίχο. Σύμφωνα με τον Chikuwa (2008)<sup>43</sup>, το πρώτο σύστημα κατασκευάστηκε το 1986 ενώ σήμερα χρησιμοποιείται κυρίως στην Ινδία και την Αφρική.

Ένα ευρέως εφαρμοζόμενος τύπος παραβολικού φούρνου είναι ο SK14, που έχει διάμετρο 1400mm και απόδοση έως 700Watt. Ο φούρνος μπορεί να μαγειρέψει για 20 άτομα όταν χρησιμοποιείται μαγειρικό σκεύος 12 λίτρων. Το πιάτο πρέπει να μετακινείται κάθε 15-20 λεπτά για να επανα-ευθυγραμμίζεται με τη θέση του ήλιου.<sup>44</sup> Η Εικόνα 2.8 δείχνει ένα μοντέλο SK14 ηλιακών φούρνων παραβολικής συγκέντρωσης.



**Εικόνα 2.8** – Ηλιακός φούρνος παραβολικής συγκέντρωσης SK14.

### 2.6.3 Σύγκριση των δύο Τύπων

Και οι δύο τύποι ηλιακού φούρνου χαρακτηρίζονται από πολλά πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα που παίζουν σημαντικό ρόλο για την επιτυχή εφαρμογή των φούρνων. Ο ηλιακός φούρνος παραβολικής συγκέντρωσης έχει το πλεονέκτημα ότι αγγίζει υψηλότερες θερμοκρασίες μαγειρέματος λόγω της χρήσης φακών ή κατόπτρων. Επιπλέον, ο παραβολικός φούρνος έχει πιο σύντομο χρόνο προθέρμανσης. Δοκιμές που αφορούν στον χρόνο θερμότητας για το νερό επιβεβαιώνουν τα επιχειρήματα ότι ο παραβολικός φούρνος είναι πιο

<sup>43</sup> Chikuwa, A., (2008): *Modeling of a Solar Stove: Small Scale Concentrating System With Heat Storage (Potential For Cooking In Rural Areas, Zimbabwe)*, Doctoral Thesis, Department of Physics, NTNU, Trondheim.

<sup>44</sup> EG- Solar (2009). *Solarcooker*. Available at: <http://www.eg-solar.de/english/solarcooker.htm> (Accessed 19 March 2009).

αποδοτικός. Ο Πίνακας 2.1 δείχνει ότι το ζέσταμα του νερού από τη θερμοκρασία των 40°C στους 80°C διαρκεί περίπου 27 λεπτά με παραβολικό ηλιακό φούρνο, ενώ με τον φούρνο κουτιού διαρκεί περίπου 48 λεπτά. Η διάρκεια μαγειρέματος των φασολιών ποικίλει σημαντικά μεταξύ των δύο τύπων. Ο παραβολικός χρειάζεται περίπου τρεις με τέσσερις ώρες, ενώ ο τύπος κουτιού χρειάζεται πέντε με οκτώ ώρες.

Υπάρχουν επίσης διαφορές στην απώλεια θερμότητας. Ο ηλιακός φούρνος κουτιού χάνει θερμότητα περίπου τρεις φορές πιο γρήγορα σε σχέση με τον φούρνο παραβολικού τύπου. Επιπλέον, οι φούρνοι ποικίλουν στις εφαρμογές τους: ενώ ο φούρνος κουτιού είναι κατάλληλος για μία οικογένεια, ο παραβολικός συγκέντρωσης μπορεί να μαγειρέψει μεγαλύτερες ποσότητες για μεγάλες οικογένειες και ιδρύματα.

**Πίνακας 2.1** – Σύγκριση αποδοτικότητας των δύο τύπων ηλιακών φούρνων.

Επιλεγμένα αποτελέσματα	Φούρνος Παραβολικής Συγκέντρωσης (Τύπος SK12)	Φούρνος κουτιού
Διάσταση θέσης μαγειρέματος	143x 163x 125 (εκ.)	88x 101.5x 96 (εκ.)
Χρόνος θέρμανσης του νερού από κρύο (40-80°C)	27 λεπτά	48 λεπτά
Χρόνος θέρμανσης του νερού από κρύο (40-95°C)	38 λεπτά	66 λεπτά
Μέγιστη θερμοκρασία	198°C μετά από 30 λεπτά	147 °C μετά από 30 λεπτά
Απώλεια θερμότητας με το καπάκι ανοιχτό	Κρυώνει σε 15 λεπτά από θερμ. βρασμού 83oC	Κρυώνει σε 5 λεπτά από θερμ. βρασμού 83oC
Διάρκεια μαγειρ. των φασολιών	3- 4 ώρες	5- 8 ώρες
Εφαρμογή	Φούρνος για μεγάλη οικογένεια, μικρά ιδρύματα	Φούρνος οικογενειακού μεγέθους

Από την άλλη, οι παραβολικοί φούρνοι έχουν το μειονέκτημα ότι καταλαμβάνουν πολύ χώρο. Ο Πίνακας 2.1 δείχνει ότι οι δύο τύποι διαφέρουν όσον αφορά στο μέγεθος. Ο παραβολικός φούρνος με διαστάσεις 143x163x125εκ. είναι σχετικά μεγάλος σε σύγκριση με τον φούρνο τύπου κουτιού με διαστάσεις 88x101.5x96εκ.

Ένα ακόμη μειονέκτημα του ηλιακού φούρνου παραβολικής συγκέντρωσης είναι ότι είναι πολύ ευαίσθητος στον αέρα και πρέπει να παρακολουθείται συχνότερα από ότι ο φούρνος κουτιού. Ένας παραβολικός φούρνος είναι πιο δύσκολο να κατασκευαστεί και ακόμη κι αν είναι δυνατό να παραχθεί τοπικά, συχνά είναι απαραίτητη η εισαγωγή κάποιων τμημάτων του. Ακόμη, ο χρήστης πρέπει να προσέχει όταν καθαρίζει τον φούρνο. Αν η

επιφάνεια του ανακλαστήρα γρατζουνιστεί ή αποκτήσει βαθουλώματα, περιορίζεται η αποδοτικότητα του φούρνου.<sup>45</sup>

Οι απόψεις σχετικά με το ποιος τύπος φούρνου είναι πιο κατάλληλος για τις αναπτυσσόμενες χώρες διαφέρουν μεταξύ των ερευνητών και των οργανισμών. Τα πλεονεκτήματα και τα μειονεκτήματα των δύο τεχνολογιών συνοψίζονται στον Πίνακα 2.2.<sup>46</sup>

**Πίνακας 2.2** – Σύγκριση της τεχνολογίας του ηλιακού φούρνου κουτιού με τον ηλιακό φούρνο παραβολικής συγκέντρωσης.

<b>Ηλιακός Φούρνος Κουτιού</b>		<b>Παραβολικός Ηλιακός Φούρνος</b>	
<b>Πλεονεκτήματα</b>	<b>Μειονεκτήματα</b>	<b>Πλεονεκτήματα</b>	<b>Μειονεκτήματα</b>
Δεν απαιτεί υψηλή παρακολούθηση	Αγγίζει χαμηλότερες θερμοκρασίες έως 180oC	Αγγίζει υψηλές θερμοκρασίες έως 250oC και υψηλή απόδοση (έως 700Watt)	Συχνή παρακολούθηση
Πολύ εύκολη και ασφαλής χρήση	Μεγάλος χρόνος προθ/νσης, αργό μαγείρεμα	Μικρός χρόνος προθέρμανσης	Επικίνδυνος στη χρήση (καιει μάτια, εγκαύματα)
			Δύσκολος στο καθάρισμα
Προσιτός			Ακριβός
Εφικτή η τοπική παραγωγή (χρήση τοπικά διαθέσιμων υλικών)			Δύσκολη η τοπική παραγωγή, τα τμήματα πρέπει να εισάγονται
			Πολύ ευαίσθητος στον αέρα

#### 2.6.4 Φούρνοι με Πάνελ

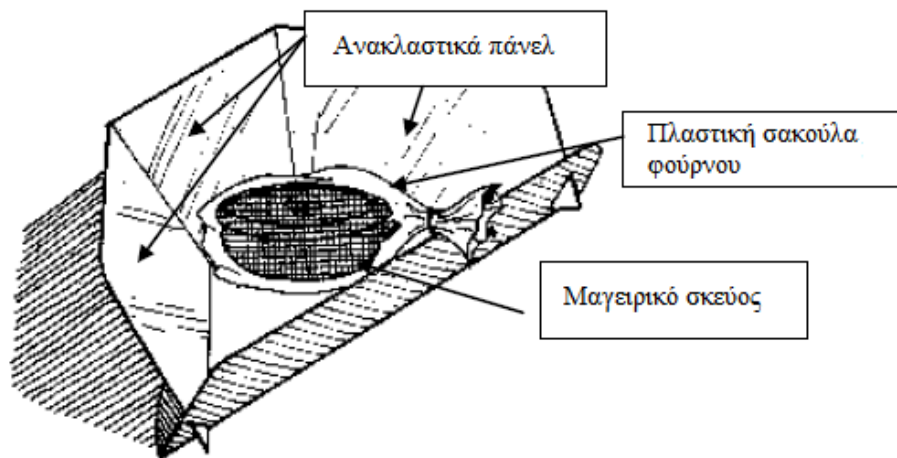
Ο ηλιακός φούρνος με πάνελ είναι παρόμοιος σε λειτουργία με τον φούρνο τύπου κουτιού. Εφαρμόζονται οι ίδιες αρχές αλλά αντί για ένα μονωμένο κουτί, οι φούρνοι με πάνελ βασίζονται συνήθως σε ένα μεγάλο ανακλαστικό πάνελ, όπως φαίνεται στην Εικόνα 2.9. Στο επίκεντρο του ανακλαστήρα στηρίζεται το σκεύος μαγειρέματος που περιέχεται μέσα σε ένα διαφανές μέσο, όπως είναι μία σακούλα φούρνου ή ένα γυάλινο μπολ.<sup>47</sup> Η ενέργεια από το ηλιακό φως αντανακλάται μέσα στο μπολ ή στην σακούλα του φούρνου,

<sup>45</sup> Kristjansdottir, T., F., (2004). *Solar cookers in Mozambique*, Diploma Thesis, Department of Energy and Process Engineering, The Norwegian University of Science and Technology (NTNU).

<sup>46</sup> Pia Piroshka Otte (2009). *Cooking with the sun - An analysis of Solar Cooking in Tanzania, its adoption and impact on development*. Faculty of Social Sciences and Technology Management. Norwegian University of Science and Technology.

<sup>47</sup> Fairey et al., 2002, *Solar Oven Development and Testing: Final Report*, Florida Solar Energy Center, FSEC 26-58-876.

θερμαίνοντας ένα βαμμένο με σκούρα μπογιά σκεύος και οτιδήποτε βρίσκεται μέσα σε αυτό. Το σκεύος στην περίπτωση αυτή είναι γενικά λιγότερο μονωμένο από το περιβάλλον σε σχέση με το μαγειρικό σκεύος στην περίπτωση του φούρνου κουτιού. Ο φούρνος με πάνελ βασίζεται πολύ περισσότερο στο ανακλώμενο φως του ηλίου και σε μικρότερο βαθμό στη συγκράτηση της θερμότητας. Αυτό μπορεί να κάνει τον φούρνο με πάνελ πιο φορητό και πιο φθινό στην κατασκευή, αλλά αυτός ο τύπος ηλιακού φούρνου θα πάσχει από μικρότερη απόδοση, συγκεκριμένα κατά τις ημέρες περιθωριακής ηλιακής ακτινοβολίας ή διακεκομμένης συννεφιάς.<sup>48</sup>



**Εικόνα 2.9** – Ηλιακός φούρνος με πάνελ.

### 2.6.5 Συλλέκτες ή Έμμεσοι Φούρνοι

Οι φούρνοι συλλέκτη αποτελούνται από δύο τμήματα. Έναν συλλέκτη και μία περιοχή μαγειρέματος. Ο συλλέκτης μπορεί να τοποθετηθεί έξω, ενώ η περιοχή μαγειρέματος μπορεί να τοποθετηθεί στην κουζίνα. Αυτοί οι φούρνοι κάνουν χρήση της διάχυτης και της άμεσης ηλιακής ακτινοβολίας. Είναι, ωστόσο, αρκετά περίπλοκοι στην κατασκευή. Ο φούρνος συλλέκτη μπορεί να χρησιμοποιήσει αέρα ή ατμό για τη συλλογή της θερμότητας, αλλά επίσης μπορεί να χρησιμοποιηθεί και ένα υγρό σαν λάδι. Στην περίπτωση αυτή, η θερμότητα μπορεί να αποθηκεύεται για μία μικρή χρονική περίοδο. Η περίοδος αυτή, συχνά δεν είναι

---

<sup>48</sup> Shawn Shaw. Development of a Comparative Framework for Evaluating the Performance of Solar Cooking Devices: Combining Ergonomic, Thermal, and Qualitative Data into an Understandable, Reproducible, and Rigorous Testing Method. Rensselaer Polytechnic Institute.

αρκετή για να μπορεί να πραγματοποιηθεί μαγείρεμα το απόγευμα. Όταν χρησιμοποιείται ένα υγρό σαν λάδι, οι θερμοκρασίες που μπορούν να επιτευχθούν φτάνουν τους 150°C. Αυτοί οι τύποι φούρνων είναι σχετικά ακριβοί σε σχέση με τους άλλους τύπους.<sup>49</sup>



**Εικόνα 2.10** – Φούρνος συλλέκτη. Προστίθενται κάτοπτρα για να αυξήσουν την ποσότητα του ηλιακού φωτός που πέφτει στον συλλέκτη.

## 2.7 Άλλοι Σχεδιασμοί Ηλιακών Φούρνων

Μετά τη διεξαγωγή ερευνών σχετικά με τους σχεδιασμούς ηλιακών φούρνων, διεξήχθη μία συνεδρία καταγισμού ιδεών στην οποία επιλέγηκαν πέντε τελικά σχέδια. Αυτά, κατασκευάστηκαν και ελέγχθηκαν. Χρησιμοποιήθηκαν θερμοζεύγη για την παρακολούθηση της αύξησης της θερμοκρασίας μέσα στους νέους φούρνους. Μερικοί φούρνοι ελέγχθηκαν με μία κατσαρόλα νερό, για θερμική μάζα, και μερικοί χωρίς.<sup>50</sup>

### 2.7.1 Φούρνος με Ελαστικό

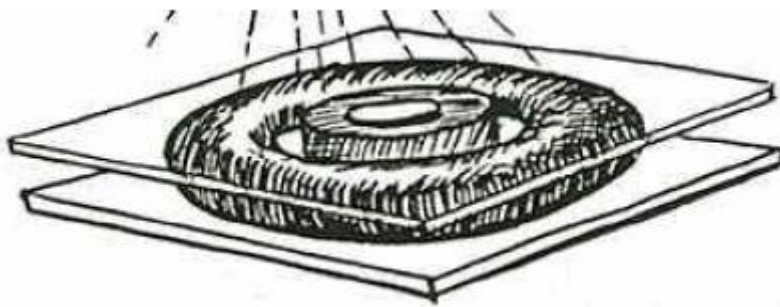
Ο πρώτος φούρνος βασίστηκε σε έναν σχεδιασμό της εταιρίας Solar Cookers International. Ήταν ελκυστικός λόγω της απλότητάς του. Φτιάχτηκε από ένα λάστιχο

---

<sup>49</sup> WOT. Solar cookers in developing countries. <http://www.wot.utwente.nl/>. Διαθέσιμο από: <http://www.its.caltech.edu/~e105/readings/solarcookers.pdf>.

<sup>50</sup> Rachel Martin et al. (2006). Design of Solar Ovens for Use in the Developing World. International Journal for Service Learning in Engineering. Vol. 2, No. 1, pp. 78-91.

αυτοκινήτου, ένα κομμάτι γυαλί και μία ανακλαστική επιφάνεια, όπως φαίνεται στην Εικόνα 2.11. Η διαθεσιμότητα των υλικών για τον φούρνο αυτό είναι πιθανόν το καλύτερο του χαρακτηριστικό. Δυστυχώς, ο τύπος αυτός δεν ανταποκρίθηκε καλά στις δοκιμές και η μέγιστη θερμοκρασία που επιτεύχθηκε ήταν 58°C. Λόγω του χαμηλού υψομέτρου του ηλίου κατά τη διάρκεια της δοκιμής, το τοίχωμα του ελαστικού έριξε σκιά πάνω στην κατασρόλα που βρισκόταν στο εσωτερικό. Ωστόσο, μία διαφορετική τοποθεσία μπορεί να κάνει αυτόν τον φούρνο πιο αποδοτικό και αν όχι, ίσως το ελαστικό να εξυπηρετεί ως μονωτής σε κάποιον άλλο σχεδιασμό.<sup>51</sup>



**Εικόνα 2.11** – Φούρνος με ελαστικό.

### 2.7.2 Φούρνος με Μπολ

Ο φούρνος με μπολ κατασκευάζεται από ένα ξύλινο μπολ, επενδυμένο με φύλλο αλουμινίου, ένα κομμάτι γυαλί στο επάνω μέρος, και έπειτα έναν ανακλαστήρα στο πάνω μέρος του γυαλιού. Ο ανακλαστήρας έχει σχήμα σαν κώνος. Η συναρμολόγηση του φούρνου με μπολ διαρκεί περίπου μία ώρα, και ο περισσότερος χρόνος ξοδεύεται στην κατασκευή του ανακλαστήρα. Ο φούρνος αυτού του τύπου λειτουργεί καλύτερα με τις τροφές μέσα σε μία μαύρη κατασρόλα. Αν και δεν έχει ελεγχθεί, το φαγητό θα μπορούσε πιθανόν να μαγειρευτεί απευθείας μέσα στο μπολ. Η εγκατάσταση του φούρνου με μπολ απαιτεί η τροφή να τοποθετηθεί στο μπολ, έπειτα να τοποθετηθεί το γυαλί πάνω στο μπολ, και στη συνέχεια οι ανακλαστήρες.

Μία αδυναμία του σχεδιασμού αυτού είναι ότι οι ανακλαστήρες δεν αντιστέκονται καλά στον άνεμο. Επίσης, μερικές φορές μπλόκαραν τον ήλιο αντί να αυξάνουν την

<sup>51</sup> ESW Solar Oven Team. 2005. “Solar Oven Design and Testing Final Report.” ESW Solar Oven Team Spring.



ποσότητα του ηλίου μέσα στον φούρνο. Ένα από τα βασικά θετικά στοιχεία του είναι ότι οι ανακλαστήρες και το γυαλί θα μπορούσαν να τοποθετηθούν πάνω σε οποιαδήποτε κατσαρόλα ή μαγειρικό σκεύος. Ακόμη, το ζεύγος γυαλί-ανακλαστήρας κοστίζουν λιγότερο από πέντε δολάρια. Μία κουβέρτα μπορεί να δράσει ως μόνωση του μαγειρικού σκεύους.<sup>52</sup>

### 2.7.3 Κωνικός Φούρνος

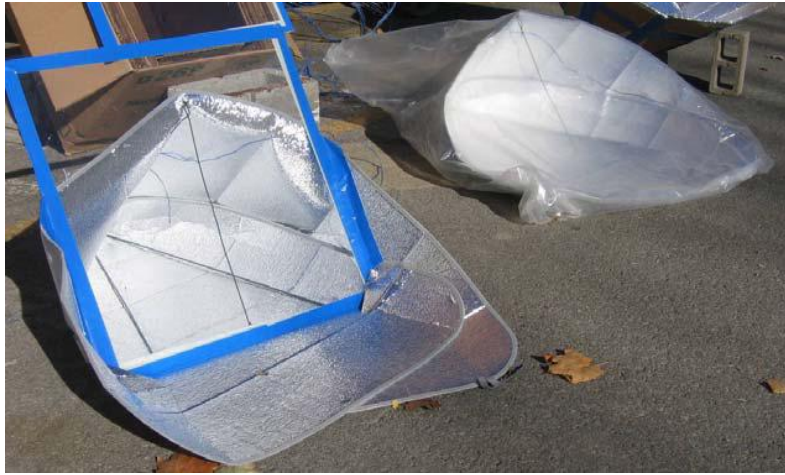
Ο κωνικός φούρνος, όπως φαίνεται και στην Εικόνα 2.12, κατασκευάζεται από ένα αφρώδη ανακλαστήρα παραθύρου αυτοκινήτου και δύο συνδετήρες. Χρειάζεται μόνο δύο λεπτά για να διπλωθεί ο ανακλαστήρας σε έναν κώνο και να συρραφτεί κοντά στην κορυφή και στο κάτω μέρος. Ο σχεδιασμός αυτός απαιτεί ένα μαύρο μαγειρικό σκεύος για το μαγείρεμα. Το βασικό σχέδιο παρήγαγε δύο κωνικούς φούρνους, με διαφορετικές μεθόδους μόνωσης της περιοχής μαγειρέματος. Στο ένα σχέδιο, ένα κομμάτι γυαλί τοποθετείται πάνω από το άνοιγμα του κώνου μόλις η κατσαρόλα τοποθετηθεί μέσα. Στο δεύτερο, ολόκληρος ο κώνος σφραγίζεται μέσα σε μία πλαστική σακούλα μόλις το σκεύος τοποθετηθεί μέσα. Η καθαρή πλαστική σακούλα είναι ένας ευκολότερος σχεδιασμός και έχει αποδώσει καλύτερα στην δοκιμή σε σχέση με την εγκατάσταση με το γυαλί.

Ο σχεδιασμός αυτός έχει πολλά πλεονεκτήματα. Το πρώτο είναι η απλότητά του. Αυτός ήταν ο πιο απλός σχεδιασμός που θα μπορούσε να κατασκευαστεί. Δεύτερον, το κόστος του βασικού σχεδιασμού είναι 6 δολάρια, αν και το γυαλί θα μπορούσε να προσθέσει ένα επιπλέον κόστος. Έτσι, η επιλογή αυτή είναι πολύ πιο οικονομική από τους φούρνους κουτιού. Τρίτον είναι η απόδοσή του κατά τη διάρκεια των δοκιμών. Με θερμοκρασίες περιβάλλοντος περίπου των 10°C, ο αέρας μέσα στην μαύρη κατσαρόλα του κωνικού φούρνου άγγιξε θερμοκρασίες πάνω από 60°C. Ωστόσο, ο φούρνος αυτός έχει πολύ μικρή μόνωση, έτσι σε ένα πιο ζεστό κλίμα με περισσότερο ήλιο, ο σχεδιασμός θα μπορούσε να φτάσει πολύ υψηλότερες θερμοκρασίες.<sup>53</sup>

---

<sup>52</sup> Solar Cookers International. 2005. "Solar Cooking Plans," The Solar Cooking Archive, <http://solarcooking.org/plans.htm>

<sup>53</sup> Rachel Martin et al. (2006). Design of Solar Ovens for Use in the Developing World. International Journal for Service Learning in Engineering. Vol. 2, No. 1, pp. 78-91.



**Εικόνα 2.12** – Κωνικοί φούρνοι.

#### **2.7.4 Φούρνος από Χαρτοκιβώτιο**

Ο φούρνος από χαρτοκιβώτιο είναι ένας φούρνος τύπου κουτιού που κατασκευάζεται από χαρτόκουτο με τετράπλευρους τραπεζοειδείς ανακλαστήρες (που επίσης κατασκευάζονται από χαρτοκιβώτιο), όπως φαίνεται στην Εικόνα 2.13. Η συναρμολόγηση του φούρνου κουτιού εμπλέκει κομμάτιασμα του χαρτοκιβωτίου και μπορεί να διαρκέσει 6-10 ώρες (ανάλογα με το τελικό μέγεθος του φούρνου). Όπως οι φούρνοι ξύλινου κουτιού, ο φούρνος χαρτοκιβωτίου μπορεί να μαγειρέψει το φαγητό σε κατσαρόλα οποιοδήποτε σκεύους, όπως και σε βάζα ή σε άλλα μαγειρικά σκεύη. Η εγκατάσταση είναι παρόμοια με την εκείνη ενός φούρνου τύπου κουτιού. Πρώτα, η κατσαρόλα πρέπει να τοποθετείται μέσα στον φούρνο, έπειτα το γυαλί τοποθετείται πάνω από το κουτί και οι ανακλαστήρες τοποθετούνται από πάνω. Η μόνη διαφορά είναι ότι ο φούρνος από χαρτοκιβώτιο χρειάζεται να σταθεροποιείται κάθε φορά που χρησιμοποιείται σε μία γωνία με πέτρες ή τούβλα.

Ένα πλεονέκτημα του φούρνου αυτού είναι ότι κατασκευάζεται με υλικά που είναι δωρεάν και επαναχρησιμοποιούμενα. Τα μοναδικά υλικά που πρέπει να αγοραστούν είναι το φύλλο αλουμινίου, η κλωστή και το γυαλί, πράγμα που σημαίνει πως ο φούρνος κοστίζει λιγότερο από 5 δολάρια. Αν και δεν δοκιμάστηκε ο φούρνος αυτός, ο σχεδιαστής του

ανέφερε πως έφτασε θερμοκρασίες το ίδιο υψηλές ή και υψηλότερες από τον σχεδιασμό φούρνου τύπου κουτιού.<sup>54</sup>



**Εικόνα 2.13** – Φούρνος χαρτοκιβωτίου.

### **2.7.5 Φούρνος Παραβολικού Κοίλου**

Ένα από τα μειονεκτήματα των φούρνων κουτιού είναι ότι μπορούν μόνο να ψήσουν ή να βράσουν φαγητό. Σε πολλές αναπτυσσόμενες χώρες, είναι σύνηθες να τηγανίζεται το φαγητό. Σε τέτοια περιβάλλοντα, η χρήση μόνο φούρνων τύπου κουτιού θα σήμαινε αλλαγή στις παραδοσιακές τεχνικές μαγειρέματος των λαών, γεγονός που κάνει λιγότερο ελκυστικό το μαγείρεμα με τη βοήθεια του ήλιου. Ο σχεδιασμός παραβολικού κοίλου (μερικώς ολοκληρωμένος στην Εικόνα 2.14) εστιάζει όλες τις εισερχόμενες ηλιακές ακτίνες σε ένα μαύρο πιάτο συλλογής, σε μία προσπάθεια να επιτευχθούν θερμοκρασίες ικανές για τηγάνισμα κοντά στους 175°C. Το πιάτο συλλογής θα μπορούσε έπειτα να χρησιμοποιηθεί

---

<sup>54</sup> Chez Helios. 2005. “Solar Oven Testing End-of-Semester Report,” ESW Solar Oven Team, [http://ceeserver.cce.cornell.edu/esw/project\\_pages/documents/SolarOvenFINALREPORTREVISED5-11-04.doc](http://ceeserver.cce.cornell.edu/esw/project_pages/documents/SolarOvenFINALREPORTREVISED5-11-04.doc)

ως ταψάκι για τηγάνισμα. Δυστυχώς, η απόδοση του σχεδιασμού είναι αβέβαιη καθώς δεν υπήρξαν ηλιόλουστες ημέρες κατά την περίοδο της δοκιμής.<sup>55</sup>



**Εικόνα 2.14** – Μερικώς ολοκληρωμένος φούρνος παραβολικού κοίλου.

---

<sup>55</sup> Rachel Martin et al. (2006). Design of Solar Ovens for Use in the Developing World. International Journal for Service Learning in Engineering. Vol. 2, No. 1, pp. 78-91.

# [ 3<sup>ο</sup> ] ΚΕΦΑΛΑΙΟ

---

## ΜΑΓΕΙΡΕΜΑ ΜΕ ΤΗ ΧΡΗΣΗ ΗΛΙΑΚΩΝ ΦΟΥΡΝΩΝ ΚΑΙ ΠΡΟΤΥΠΑ

---

### 3.1 Καλύτερη Περίοδος του Χρόνου για τη Χρήση των Ηλιακών Φούρνων

Ο ηλιακός φούρνος μπορεί να χρησιμοποιηθεί για το μαγείρεμα λαχανικών, φρούτων, κρεάτων, δημητριακών, οσπρίων και των περισσοτέρων άλλων τροφίμων. Στους φούρνους αυτούς μπορούν επίσης να ψηθούν ψωμιά και γλυκά. Οι απλοί ηλιακοί φούρνοι δεν μπορούν να τηγανίσουν γιατί δεν μπορούν να αναπτύξουν τόσο υψηλές θερμοκρασίες.

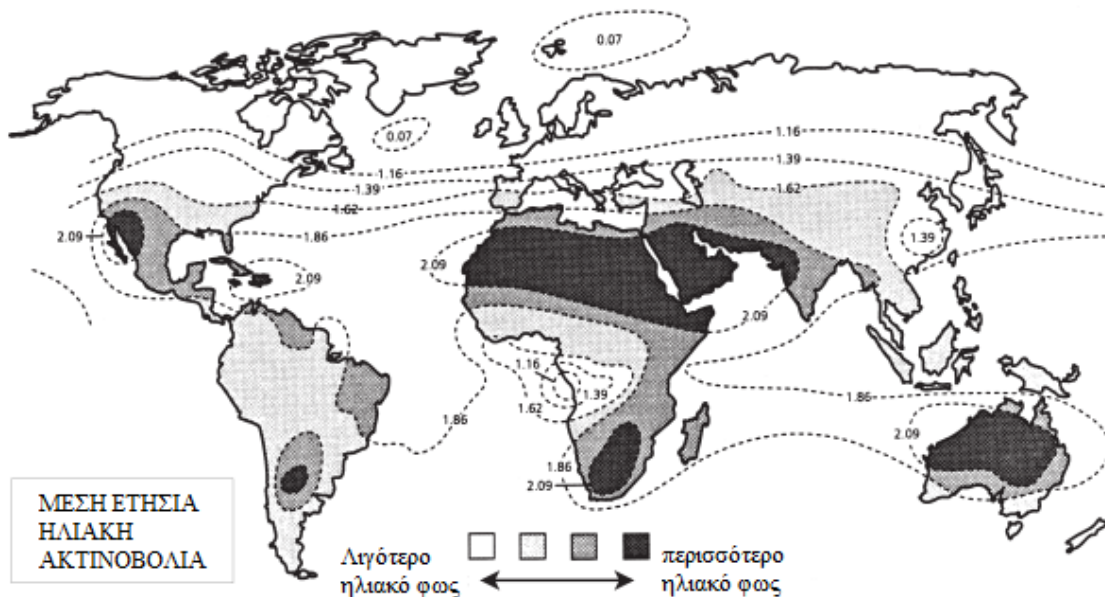
Τα λαχανικά, τα φρούτα και τα κρέατα μαγειρεύονται τέλεια χωρίς νερό, το οποίο τείνει να επιβραδύνει το μαγείρεμα και να εξασθενίσει τα θρεπτικά συστατικά. Για τα δημητριακά και τα όσπρια χρησιμοποιείται η ποσότητα του νερού που θα χρησιμοποιούταν και στις λοιπές μεθόδους μαγειρέματος. Αν το φαγητό βγει τελικά πολύ υγρό ή ξηρό, την επόμενη φορά θα πρέπει να προσαρμοστεί η ποσότητα του.

Γενικά, ο ηλιακός φούρνος μπορεί να χρησιμοποιηθεί όταν το μήκος της σκιάς στο έδαφος είναι μικρότερο από το ύψος του ατόμου. Αυτό αποτελεί έναν δείκτη ότι ο ήλιος είναι αρκετά ψηλά στον ουρανό και διευκολύνει το μαγείρεμα. Σε πολλές χώρες υπάρχουν μερικοί μήνες κάθε χρόνο που οι απλοί ηλιακοί φούρνοι δεν μπορούν να χρησιμοποιηθούν.

Τα άτομα που ζουν στις λιγότερο φωτεινές περιοχές του χάρτη στην Εικόνα 3.2 τείνουν να έχουν μεγαλύτερες περιόδους μαγειρέματος.<sup>56</sup>



**Εικόνα 3.1** – Κατάλληλη ώρα μαγειρέματος ανάλογα με τη θέση του ήλιου.



**Εικόνα 3.2** – Περίοδοι ηλιοφάνειας σε όλες τις περιοχές του κόσμου.













### 3.2 Παράγοντες που Επηρεάζουν το Χρόνο Μαγειρέματος

Υπάρχουν πολλοί παράγοντες που επηρεάζουν την ταχύτητα με την οποία μαγειρεύονται τα φαγητά σε έναν ηλιακό φούρνο, συμπεριλαμβάνοντας την χρονική περίοδο

<sup>56</sup> Solar Cookers International (2004). Solar cookers – how to make use and enjoy. 10<sup>th</sup> edition. Διαθέσιμο από: <http://solarcooking.org/plans/plans.pdf>.

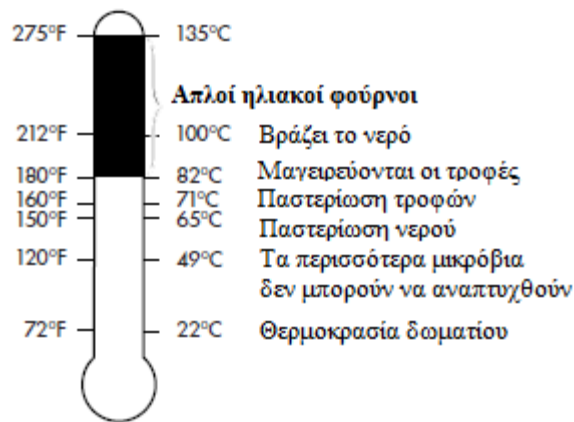
του έτους, την ποσότητα του ήλιου, το είδος του μαγειρικού σκεύους και την ποσότητα της τροφής. Ο Πίνακας 3.1 συνοψίζει μερικούς σημαντικούς παράγοντες.

**Πίνακας 3.1** – Παράγοντες που επηρεάζουν την ταχύτητα του μαγειρέματος.

	Γρηγορότερο μαγείρεμα	Πιο αργό μαγείρεμα
Περίοδος του έτους και ημέρα		
Ποσότητα ηλίου		
Ποσότητα αέρα		
Πάχος του μαγειρικού σκεύους		
Ποσότητα και μέγεθος της τροφής		
Ποσότητα νερού		

Οι απλοί ηλιακοί φούρνοι, υπό φυσιολογικές συνθήκες, θα μαγειρέψουν σε θερμοκρασίες από 82-121°C (180-250°F) ή μεγαλύτερες. Αφού το φαγητό μαγειρεύεται στους 82-91°C (180-195°F) οι θερμοκρασίες αυτές δεν είναι αρκετά υψηλές για να κάψουν ή να στεγνώσουν το φαγητό ή να προκαλέσουν ζημιά στα θρεπτικά του στοιχεία. Επίσης, πολλές τροφές μπορούν να μαγειρευτούν για πολλές ώρες χωρίς να παραμαγειρευτούν, γεγονός που επιτρέπει στις τροφές να τοποθετούνται στον φούρνο νωρίς την ημέρα και να

αφήνονται εκεί μέχρι την ώρα του μεσημβρινού γεύματος, χωρίς να χρειάζονται ανάδευση ή παρακολούθηση.

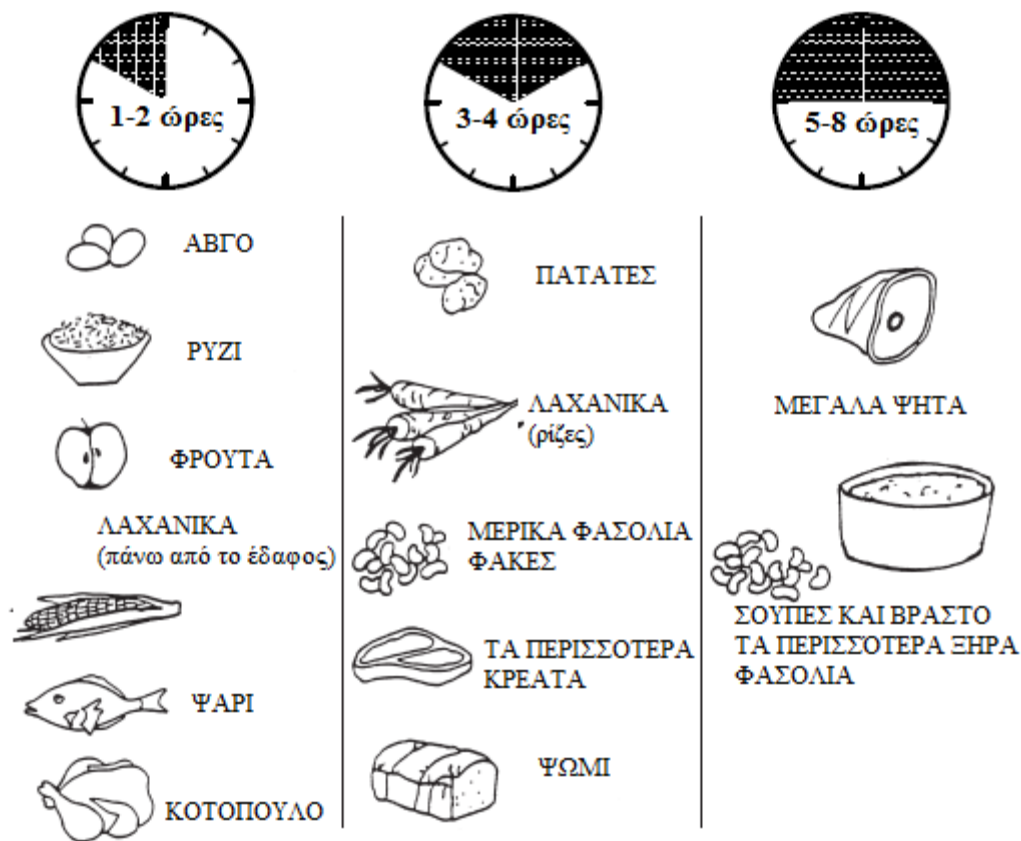


**Εικόνα 3.3** – Ιδιότητες θερμοκρασιών στους απλούς ηλιακούς φούρνους.

Όπως σε κάθε μέθοδο μαγειρέματος, το μαγειρεμένο φαγητό που επιτρέπεται να κρύνει σε θερμοκρασίες μεταξύ 52-10°C (125-50°F) για μία χρονική περίοδο, μπορεί να περιέχει βακτήρια που μπορεί να χαλάσουν το φαγητό και να οδηγήσουν σε τροφική δηλητηρίαση. Το φαγητό που παραμένει σε αυτό το φάσμα θερμοκρασιών για περισσότερες από τέσσερις ώρες πρέπει να απορρίπτεται.<sup>57</sup>

<sup>57</sup> Solar Cookers International (2004). Solar cookers – how to make use and enjoy. 10<sup>th</sup> edition. Διαθέσιμο από: <http://solarcooking.org/plans/plans.pdf>.





Εικόνα 3.4 – Τυπικοί χρόνοι μαγειρέματος για δύο κιλά τροφών σε μία ηλιόλουστη ημέρα.

### 3.3 Απαιτήσεις Μαγειρέματος

Υπάρχουν τρεις βασικοί τύποι στην διαδικασία του μαγειρέματος:

- ☞ Το φαγητό πρέπει να μαγειρεύεται σε καυτό νερό ή νερό που βράζει ή στον ατμό. Αυτό μπορεί να γίνει σε μία κουζίνα ή έναν φούρνο.
- ☞ Το φαγητό μπορεί να ψήνεται. Αυτό γίνεται πιο εύκολα σε έναν φούρνο.
- ☞ Το φαγητό μπορεί να τηγανίζεται σε λάδι. Αυτό γίνεται συνήθως για μικρή χρονική περίοδο σε υψηλές θερμοκρασίες.

Σε όλες τις περιπτώσεις οι τροφές μαγειρεύονται καλύτερα σε υψηλές θερμοκρασίες.

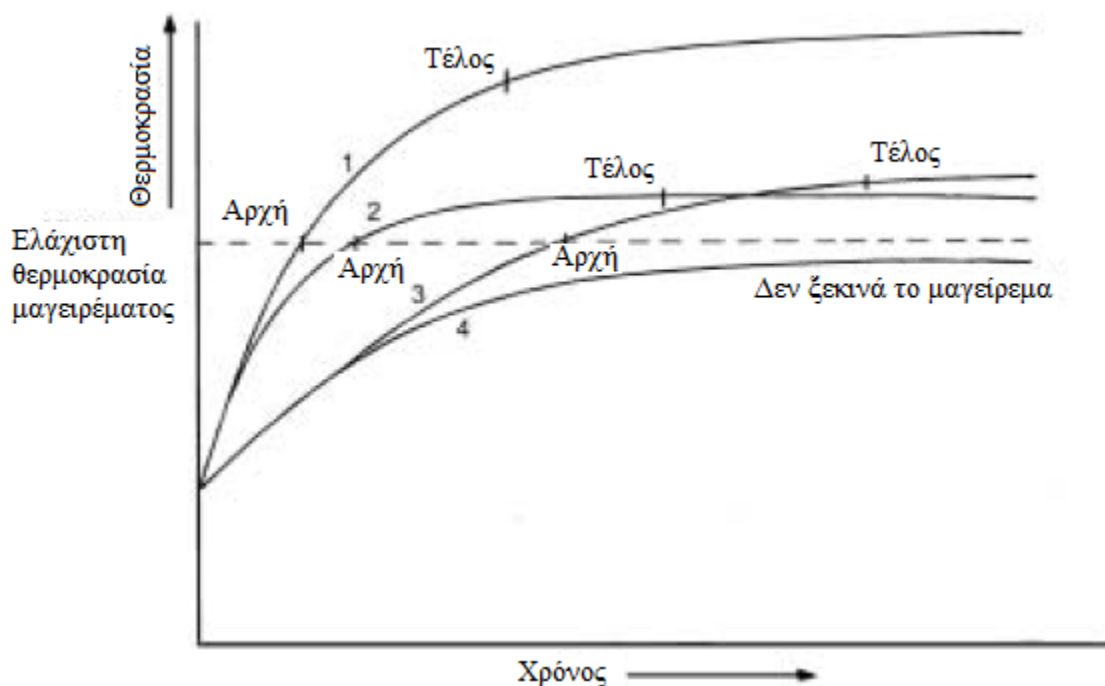
Υπάρχουν δύο στάδια στη διαδικασία μαγειρέματος. Πρώτα η ενέργεια πρέπει να προστίθεται στο μαγειρικό σκεύος και στο περιεχόμενό του για να φτάνει στην επιθυμητή θερμοκρασία. Η ποσότητα της απαιτούμενης ενέργειας δίνεται από τον τύπο:

Απαιτούμενη ενέργεια (kJ) = μάζα του σκεύους, φαγητού και νερού (kJ) x αύξηση της θερμοκρασίας (°C) x μέση ειδική θερμοχωρητικότητα (kJ/kg/°C). (3.1)

Για παράδειγμα, φέρνοντας ένα λίτρο νερού σε βρασμό από τους 30°C απαιτεί τουλάχιστον  $1 \times 70 \times 4.2 = 300 \text{kJ}$ . Για να έρθει σε βρασμό ένα σκεύος που περιέχει 3kg τροφής και νερού (αρκετό για περίπου 8 άτομα) απαιτεί περίπου 1 MJ (εξαιρώντας την απώλεια θερμότητας). Η ενέργεια αυτή μπορεί να προστίθεται σε υψηλή ισχύ για μικρή χρονική περίοδο (π.χ. 1kw για 17 λεπτά) ή σε χαμηλή ισχύ για μεγαλύτερη χρονική περίοδο (π.χ. 100W για σχεδόν 3 ώρες). Στην πράξη, οι απώλειες θερμότητας θα οδηγήσουν σε πολύ μεγαλύτερες απαιτήσεις ενέργειας.

Δεύτερον, η απαιτούμενη θερμοκρασία πρέπει να διατηρείται για κάποιο χρόνο. Αυτό επιτυγχάνεται προσθέτοντας ενέργεια με τον ίδιο ρυθμό που αυτή χάνεται. Η θερμότητα χάνεται από μεταφορά, αγωγιμότητα και ακτινοβολία. Η απώλεια της θερμότητας γίνεται χειρότερη από τις υψηλές θερμοκρασίες μέσα στο σκεύος ή στον φούρνο, στις μεγάλες περιοχές επιφάνειας, και τα άκρως αγωγικά υλικά. Η ενέργεια μπορεί επίσης να χαθεί αν ο ατμός του νερού επιτρέπεται να διαφύγει - για ένα σκεύος χωρίς καπάκι που βράζει πάνω σε μία κουζίνα αυτό μπορεί να αποτελεί την πιο σημαντική πηγή απώλειας.

Η φύση της σχέσης μεταξύ του χρόνου μαγειρέματος, της θερμοκρασίας, της εισόδου ισχύος και της τάσης απώλειας θερμότητας φαίνεται στην Εικόνα 3.5.



Εικόνα 3.5 – Γράφημα που δείχνει τη σχέση μεταξύ θερμοκρασίας και χρόνου μαγειρέματος.

Πίνακας 3.2 – Συγκριτικός πίνακας περιπτώσεων των γραφήματος.

Περίπτωση	Είσοδος ισχύος	Χαρακτηριστικά απώλειας θερμότητας
1	High	Μικρή περιοχή, καλά μονωμένη
2	High	Μεγάλη περιοχή, καλά μονωμένη
3	Low	Μικρή περιοχή, καλά μονωμένη
4	Low	Μεγάλη περιοχή, καλά μονωμένη

Συγκρίνοντας τις περιπτώσεις 2 και 3, η τελική θερμοκρασία είναι η ίδια και στις δύο περιπτώσεις, αλλά ο συνολικός χρόνος μαγειρέματος είναι μικρότερος στην περίπτωση 2 επειδή η αρχική περίοδος προθέρμανσης είναι μικρότερη.

Από τεχνικής απόψεως για την επίτευξη αρκετά υψηλών θερμοκρασιών για επαρκείς περιόδους, μερικοί ηλιακοί φούρνοι είναι επιτυχείς, αν λάμπει ο ήλιος.

Πρέπει ωστόσο να ληφθούν υπόψη πολλοί άλλοι παράγοντες:

- ☞ Μπορούν τα γεύματα να παραχθούν με αξιοπιστία στην επιθυμητή στιγμή της ημέρας?
- ☞ Ο ηλιακός φούρνος βοηθά στο να διεξαχθεί ο επιθυμητός τύπος μαγειρέματος?
- ☞ Πόσο χρόνο διαρκεί το μαγείρεμα?
- ☞ Που γίνεται το μαγείρεμα – σε εσωτερικό χώρο, έξω στην σκιά ή στον ήλιο?

↳ Είναι ο μάγειρας ασφαλής?<sup>58</sup>

### 3.4 Προσέγγιση Ικανοτήτων των Ηλιακών Φούρνων

Για να απαντηθεί το ερώτημα αν το μαγείρεμα με τη βοήθεια ηλιακών φούρνων οδηγεί σε μεγαλύτερη ελευθερία στη ζωή των ανθρώπων στις αναπτυσσόμενες χώρες, έχει καθοριστεί ένα σύνολο από δεξιότητες. Η έρευνα που διεξήχθη μελετά τον τρόπο με τον οποίο επεκτάθηκαν αυτές οι δεξιότητες μέσω της χρήσης των ηλιακών φούρνων.

#### 3.4.1 Εξοικονόμηση Χρόνου

Σύμφωνα με την έρευνα, οι γυναίκες που συμμετείχαν ανέφεραν ότι οι ηλιακοί φούρνοι αυξάνουν την εξοικονόμηση του χρόνου. Ενδιαφέρον παρουσιάζει το γεγονός ότι το πλεόνασμα του χρόνου δεν σχετίζεται με τη μείωση του χρόνου που σε φυσιολογικές συνθήκες ξοδεύεται για τη συλλογή καυσόξυλων, αλλά, σχετίζεται περισσότερο με το κέρδος χρόνου των γυναικών ενώ το φαγητό μαγειρεύεται.

Ωστόσο, από τη μία πλευρά οι γυναίκες έχουν περισσότερο χρόνο, αλλά από την άλλη, αυτό το πλεόνασμα του χρόνου ξοδεύεται σε μία περιοχή που πρέπει να συνδέεται στενά με την περιοχή του μαγειρέματος. Οι γυναίκες ανέφεραν πως δεν χρειάζεται να προσέχουν το φαγητό συνέχεια, αλλά την ίδια στιγμή είναι δύσκολο για αυτές να αφήσουν την περιοχή του σπιτιού για πολλή ώρα, αφού είναι απαραίτητο να μετακινούν περιοδικά τον ηλιακό φούρνο προς τη μεριά που χτυπούν οι ακτίνες του ήλιου.<sup>59</sup>

#### 3.4.2 Σωματική Υγεία

---

<sup>58</sup> Intermediate Technology Development Group. Solar cooking. Διαθέσιμο από: <http://stoves.bioenergylists.org/stovesdoc/itdg/solar-cooking.pdf>.

<sup>59</sup> Pia Piroshka Otte (2009). Cooking with the sun - An analysis of Solar Cooking in Tanzania, its adoption and impact on development. Faculty of Social Sciences and Technology Management. Norwegian University of Science and Technology.

Σύμφωνα με τα στοιχεία της μελέτης, οι γυναίκες ανέφεραν πως ένας λόγος που χρησιμοποιούσαν τον ηλιακό φούρνο είναι το ότι αποτελεί έναν υγιεινό τρόπο προετοιμασίας του φαγητού, αφού δεν παράγει καθόλου καπνό, ο οποίος μπορεί να οδηγήσει σε επικίνδυνες πνευμονοπάθειες.<sup>60</sup>

### 3.4.3 Δραστηριότητες Παραγωγής Εισοδήματος

Εκτός από το κέρδος του χρόνου και την βελτίωση της αντίληψης που έχουν οι άνθρωποι σχετικά με την σωματική τους υγεία, θα μπορούσε να αναγνωριστεί μία αύξηση των δραστηριοτήτων που παράγουν εισόδημα. Συνεντεύξεις με τους συμμετέχοντες έδειξαν ότι λόγω της εξοικονόμησης χρόνου που κέρδισαν οι γυναίκες μέσω των ηλιακών φούρνων, αυξήθηκε σε πολλές περιπτώσεις η ευκαιρία να λάβουν μέρος στην αγορά εργασίας. Κάποιες από αυτές τις γυναίκες ανέφεραν πως ενώ περιμένουν να γίνει το φαγητό, πλέκουν καλάθια τα οποία στη συνέχεια πουλάνε, ενώ άλλες ανέφεραν πως ζυμώνουν ψωμί από το οποίο αυξάνουν το εισόδημά τους.

Ακόμη, έγινε αναφορά αύξηση στα αποθέματα καυσίμων κατά τους καλοκαιρινούς μήνες που χρησιμοποιούν τον ηλιακό φούρνο. Αυτή η εξοικονόμηση καυσόξυλων κατά τους εαρινούς μήνες και το κέρδος του χρόνου για δραστηριότητες παραγωγής οδηγεί σε αύξηση του εισοδήματος.

Συνοψίζοντας, η έρευνα δείχνει πως υπάρχει εξοικονόμηση λόγω της χρήσης των ηλιακών φούρνων, αλλά δεν είναι μακροπρόθεσμη. Οι γυναίκες ξοδεύουν τα χρήματα στις πιο βασικές τρέχουσες ανάγκες τους. Σε μία περίπτωση υπάρχει ανάγκη αγοράς τροφής για την οικογένεια, ενώ σε άλλη τα χρήματα μπαίνουν στο απόθεμα της επιχείρησης για την εξασφάλιση της βιωσιμότητας της.<sup>61</sup>

---

<sup>60</sup> Pia Piroshka Otte (2009). Cooking with the sun - An analysis of Solar Cooking in Tanzania, its adoption and impact on development. Faculty of Social Sciences and Technology Management. Norwegian University of Science and Technology.

<sup>61</sup> Wentzel, M., & Pouris, A., (2007). The development impact of solar cookers: A review of solar cooking impact research in South Africa, *Energy Policy*, Vol. 35, Issue 3, March 2007, pp. 1909- 1919.

### 3.4.4 Συμμετοχή στα Πολιτικά Ζητήματα

Είναι αμφιλεγόμενο το γεγονός ότι κατέχοντας και χρησιμοποιώντας έναν ηλιακό φούρνο μπορεί να αυξήσει την πολιτική συμμετοχή των ατόμων. Ο Thomas (2002)<sup>62</sup>, ισχυρίζεται ότι η πολιτική συμμετοχή επηρεάζεται από πολλούς παράγοντες όπως είναι οι τοπικές αντιλήψεις του φύλλου, της φυλής και της θρησκείας. Αυτές οι διαφορετικές πιθανές εξηγήσεις οδηγούν στο γεγονός ότι δεν μπορούμε να εξαιρέσουμε την πιθανότητα μίας αύξησης στις ικανότητες αλλά ούτε μπορούμε να αρνηθούμε μία επέκταση αυτών.<sup>63</sup>

### 3.4.5 Κοινωνικές Σχέσεις

Στις συνεντεύξεις δεν έγιναν σχόλια σχετικά με μία αύξηση των κοινωνικών σχέσεων μέσω της χρήσης ηλιακών φούρνων. Ωστόσο, μία έρευνα από τον Urassa (2003)<sup>64</sup> αναφέρει πως το εργαστήριο σύστασης του ηλιακού φούρνου συνέβαλλε σημαντικά σε αύξηση των κοινωνικών δικτύων και της κοινωνικής υποστήριξης. Στην έρευνα γράφτηκε πως οι συμμετέχοντες ευχαριστήθηκαν ιδιαίτερα το χρόνο που ξόδεψαν μεταξύ τους στο εργαστήριο, αφού κάποιοι από αυτούς ήταν η πρώτη φορά που έβγαιναν από τα σπίτια τους και γνώριζαν άλλους ανθρώπους.<sup>65</sup>

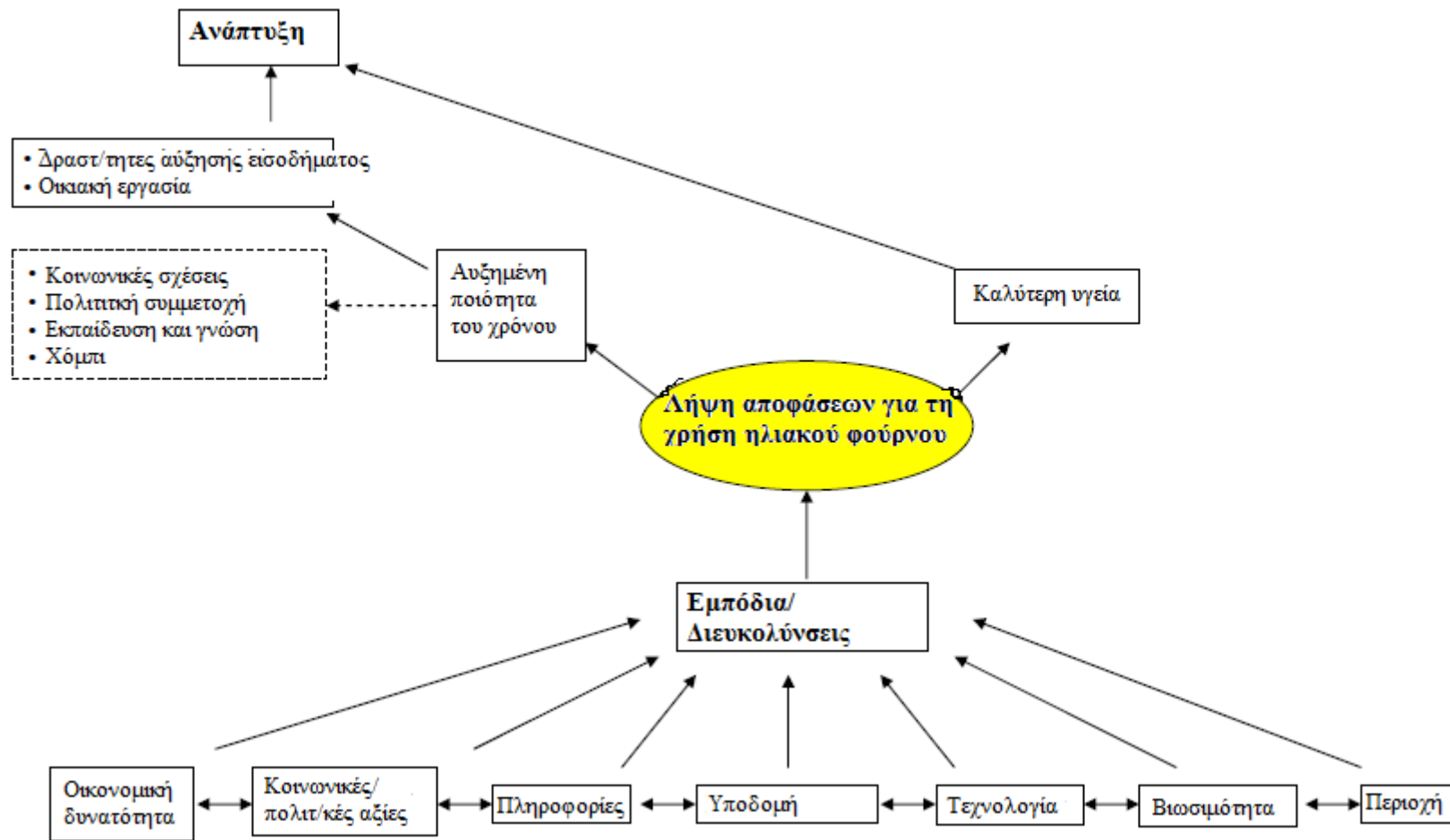
---

<sup>62</sup> Thomas, P., (2002). Introduction :Political participation in the Pacific: Issues of gender, race and religion, *Development Bulletin*, Vol. 59, p. 7-10.

<sup>63</sup> UNDP (United Nations Development Programme) (2007). Human Development Report (2007/08). Fighting Climate Change: Human solidarity in a divided world, Palgrave Macmillan, New York. Available at: [http://hdr.undp.org/en/media/HDR\\_20072008\\_EN\\_Complete.pdf](http://hdr.undp.org/en/media/HDR_20072008_EN_Complete.pdf) (Accessed 25March 2009).

<sup>64</sup> Urassa, F. (2003). *Report on workshop on solar cooker for wheelchair users*. KASIWOCO.

<sup>65</sup> Pia Piroshka Otte (2009). *Cooking with the sun - An analysis of Solar Cooking in Tanzania, its adoption and impact on development*. Faculty of Social Sciences and Technology Management. Norwegian University of Science and Technology.



Εικόνα 3.6 – Αύξηση συγκεκριμένων ικανοτήτων από τη χρήση ηλιακού φούρνου.

### 3.5 Θερμική Απόδοση ενός Ηλιακού Φούρνου με Αυξημένη Συγκέντρωση Ηλιακού Φωτός

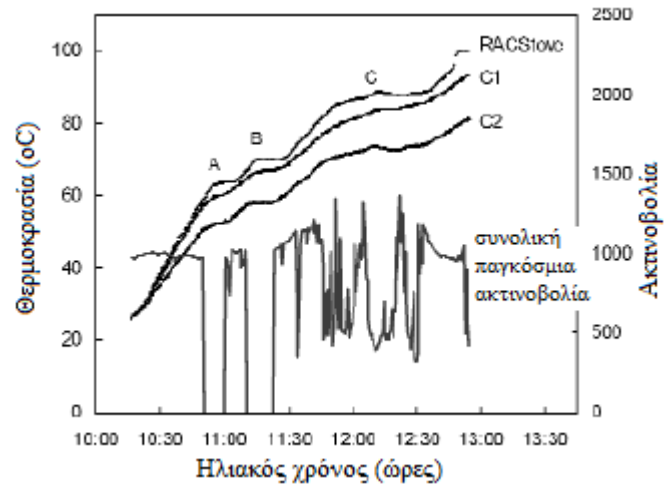
Η αυξημένη συγκέντρωση ηλιακού φωτός μπορεί να βελτιώσει τη θερμική απόδοση και να αυξήσει τη μέγιστη θερμοκρασία λειτουργίας ενός ηλιακού φούρνου, χωρίς την ανάγκη αύξησης της περιοχής του συλλέκτη ή βελτίωσης των ιδιοτήτων συγκράτησης της θερμότητας του φούρνου. Αυτό καταδείχτηκε κατασκευάζοντας έναν συμπαγή συμπαγούς δακτυλιοειδούς συστοιχίας μέσα σε έναν πρότυπο φούρνο, ο οποίος ελέγχθηκε παράλληλα με τις εμπορικές μονάδες.

Η θερμική απόδοση συγκρίθηκε ευνοϊκά με τους εμπορικούς φούρνους, τόσο σε συνθήκες καθαρού ουρανού, όσο και σε ένα τυπικό κύκλο με μεταβλητή ακτινοβολία. Ένα μειονέκτημα είναι η μεγαλύτερη ευαισθησία στις μη-κανονικές γωνίες πρόσπτωσης, που απαιτούν κάποια μορφή παρακολούθησης, παρόλο που η έρευνα αυτή δείχνει ότι είναι δυνατό να ισορροπήσει η υψηλή απόδοση με λιγότερο δαπανηρές απαιτήσεις παρακολούθησης, σχεδιάζοντας έναν υβριδικό φούρνο με συγκεντρωμένα και μη-συγκεντρωμένα χαρακτηριστικά. Πρέπει ακόμη να γίνει εργασία για τη βελτίωση του πρωτότυπου, ωστόσο, τα αποτελέσματα αυτά υποδηλώνουν ότι η αυξημένη συγκέντρωση στους ηλιακούς φούρνους μπορεί να βοηθήσει στην εξάλειψη των περιορισμών των επιδόσεων που αναγνωρίζονται από τις αγροτικές κοινότητες, φέρνοντας μεγαλύτερη αποδοχή της τεχνολογίας και των συσχετιζόμενων οφελών στην υγεία και την ασφάλεια.<sup>66</sup>

---

<sup>66</sup> M J Brooks (2007). Thermal performance of a solar oven with augmented sunlight concentration. Journal of Energy in Southern Africa • Vol 18 No 2 • May 2007.





**Εικόνα 3.7** – Συγκριτική απόδοση φούρνου κάτω από ένα τυπικό κύκλο εργασίας που αποτελείται από δύο περιόδους πλήρους σκίασης που διαρκούν 10 λεπτά και 13 λεπτά (A και B αντίστοιχα) και μία εκτεταμένη περίοδο μη εντοπισμού που συνδυάζεται με ακτινοβολία που διαρκεί 40 λεπτά (c).

# 4<sup>ο</sup>

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ

---

### ΠΡΟΣΩΜΟΙΩΣΗ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΗΛΙΑΚΟΥ ΦΟΥΡΝΟΥ

---

#### 4.1 Το λογισμικό Legacy OpenStudio Plug-in

Το Legacy OpenStudio Plug-in δημιουργήθηκε από το Εθνικό Εργαστήριο Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας (National Renewable Energy Laboratory) για το Υπουργείο Ενέργειας των Η.Π.Α., προκειμένου να διευκολύνει τη χρήση του Energy Plus. Ουσιαστικά, επιτρέπει στο χρήστη να δημιουργεί και να επεξεργάζεται θερμικές ζώνες και επιφάνειες μέσω του Google SketchUp, οι οποίες εισάγονται στο Energy Plus για να γίνει η προσομοίωση. Οι βασικές λειτουργίες του Legacy OpenStudio Plug-in παρέχουν τη δυνατότητα για:

- Δημιουργία και επεξεργασία θερμικών ζωνών και επιφανειών στο Energy Plus.
- Εισαγωγή δεδομένων στο Energy Plus, εκτέλεση του προγράμματος και παρακολούθηση των αποτελεσμάτων μέσω του SketchUp.

- Ενοποίηση των επιφανειών που βρίσκονται σε γειτονικές θερμικές ζώνες.
- Αναζήτηση επιφανειών ηλεκτρολογώντας το όνομα τους.
- Προσθήκη των εσωτερικών θερμικών κερδών και της θερμοκρασίας του εξωτερικού αέρα για τον υπολογισμό του θερμικού φορτίου.
- Προσθήκη του ιδανικού συστήματος θέρμανσης και ψύξης για τον υπολογισμό του θερμικού φορτίου.
- Ρύθμιση και αλλαγή λανθασμένων κατασκευών.
- Προσθήκη στοιχείων ελέγχου του φυσικού φωτισμού και ηλιακών χαρτών.
- Ζήτηση βοήθειας από τις οδηγίες.

## 4.2 Το πρόγραμμα EnergyPlus

Το EnergyPlus είναι ένα λογισμικό που αναπτύχθηκε από το Υπουργείο Ενέργειας των Η.Π.Α. αποσκοπώντας στην προσομοίωση και την ενεργειακή ανάλυση συστημάτων. Πιο συγκεκριμένα, εισάγοντας τα δεδομένα που αφορούν τα γεωμετρικά και δομικά χαρακτηριστικά του κτιρίου, τη λειτουργία του συστήματος θέρμανσης-κλιματισμού και των μηχανολογικών εγκαταστάσεων, καθώς και τα κλιματολογικά στοιχεία της περιοχής του κτιρίου, το EnergyPlus έχει τη δυνατότητα υπολογισμού πληθώρας αποτελεσμάτων, όπως η θερμοκρασία και το ποσοστό υγρασίας που επικρατούν στους χώρους του κτιρίου, η

ενεργειακή κατανάλωσή του, τα θερμικά και ψυκτικά φορτία που απαιτούνται για την κάλυψη των ενεργειακών αναγκών του και πολλά άλλα. Με βάση τα εξαγόμενα αποτελέσματα δίνεται η δυνατότητα στο χρήστη να προβεί στην εφαρμογή επεμβάσεων για την ενεργειακή αναβάθμιση του κτιρίου και την μείωση της κατανάλωσης ενέργειας.

Το EnergyPlus είναι βασισμένο σε δύο προηγούμενα λογισμικά, το BLAST (Building Loads and System Thermodynamics) και το DOE-2 (Department Of Energy-2), που κατασκευάστηκαν στις αρχές της δεκαετίας του '80. Ωστόσο, έχει αντιμετωπίσει τις περισσότερες από τις αδυναμίες των παραπάνω προγραμμάτων εφαρμόζοντας καινοτόμες μεθόδους, όπως είναι η προσομοίωση της αλληλεπίδρασης μεταξύ των συστημάτων ψύξης-θέρμανσης και των θερμικών ζωνών, η προσομοίωση με συστήματα ψύξης-θέρμανσης τελευταίας τεχνολογίας, καθώς και η εξαγωγή αποτελεσμάτων με χρονικά βήματα μικρότερα της μίας ώρας.

### 4.3 Εισαγωγή σχεδιαστικών δεδομένων του OpenStudio

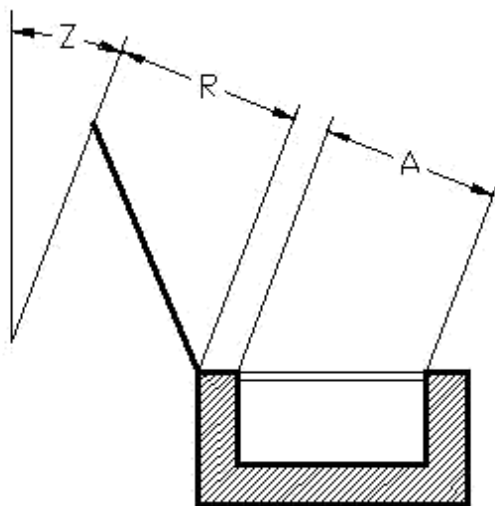
Αρχικά, οι παραπάνω ρυθμίσεις εισέρχονται με το αποθηκευμένο αρχείο σε μορφή **.idf** ως δεδομένα εισόδου (**Input File**) στο πρόγραμμα EnergyPlus, όπως φαίνεται παρακάτω. Στη συνέχεια, εισάγουμε το αρχείο καιρού (**Weather File**) με τα κλιματικά δεδομένα της Νάξου, που επιλέχθηκε από τη βάση δεδομένων κλιματικών στοιχείων του EnergyPlus και είναι σε μορφή **.epw**. Τα στοιχεία αυτά προέρχονται από μετρήσεις της ASHRAE (American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers Inc Atlanta, GA, USA 2001).

Η εισαγωγή των υπόλοιπων δεδομένων πραγματοποιείται στην λίστα παραμέτρων που εμφανίζεται μέσω της επιλογής Edit-IDF Editor. Η λίστα IDF Editor περιλαμβάνει παραμέτρους, κάποιες από τις οποίες είναι απαραίτητο να συμπληρωθούν, ενώ πολλές έχουν

ήδη ρυθμιστεί μέσω της εισαγωγής των σχεδιαστικών δεδομένων του OpenStudio και θα πρέπει να ελεγχθούν.

#### 4.4 Αποτελέσματα της προσομοίωσης

Στο σημείο αυτό παρουσιάζονται τα αποτελέσματα της προσομοίωσης με το πρόγραμμα EnergyPlus και γίνεται η ανάλυσή τους. Δόθηκαν τα αποτελέσματα και για το σύνολο της κατασκευής . Τα αποτελέσματα δόθηκαν σε μορφή διαγραμμάτων (γραφήματα ράβδων, γραμμών και πίτες ποσοστών).



**Εικόνα 4.1 :** Ο προσδιορισμός της τομής συστήματος

#### 4.4.1 Πρωτόκολλο δοκιμής του έργου

- Καταγραφή. Η μέση θερμοκρασία μαγειρέματος καταγράφονται κατά διαστήματα που δεν υπερβαίνουν τα πέντε λεπτά και θα πρέπει να είναι σε μονάδες Κελσίου στο πλησιέστερο δέκατο του ενός βαθμού. Ο Φωτισμός (Lux) και η θερμοκρασία περιβάλλοντος καταγράφονται κατά την έναρξη της δοκιμής και ελέγχεται έτσι ώστε να είναι εντός του χρονικού εύρους. Η ημερομηνία κατά την οποία πραγματοποιείται η δοκιμή είναι τις πρώτες 4 μέρες του Φεβρουαρίου του 2016.
- Υπολογισμός Μαγειρικής ικανότητας του συστήματος. Η αλλαγή στη θερμοκρασία υπολογίζεται κάθε πέντε λεπτά , όπου πρακτικά πολλαπλασιάζεται με τον θερμοχωρητικότητα της μάζας και των ειδικών τιμών των υλικών που περιέχονται στο δοχείο μαγειρέματος.

Η δραστική δύναμη υπολογίζεται με τον τύπο:

$$P_i = (T_2 - T_1) * m * C_v / 300$$

$P_i$  = Η μαγειρική ισχύς για ένα ορισμένο χρονικό διάστημα (W)  $T_2$  = τελική θερμοκρασία (K)

$T_1$  = αρχική θερμοκρασία (K) (5 K πάνω από τη θερμοκρασία δωματίου)  $m$  = μάζα φαγητού (kg)

χωρητικότητα  $C_v$  (4186 J / [kg • K])

- Σχεδίαση. Η ισχύς μαγειρέματος για κάθε διάστημα  $P_i$  είναι συναρτήσει της διαφοράς θερμοκρασίας  $T_d$ , με τη δύναμη επί του άξονα  $Y$  και η διαφορά θερμοκρασίας στον  $X$ -άξονα. Μια γραμμική παλινδρόμηση υπολογίζεται και μια εξίσωση είναι δεδομένη. Η εξίσωση που δίνεται είναι στην παρακάτω φόρμα:

$$P = a + b * T_d$$

$P$  = Μαγειρική ισχύς (W)

$a$  = η τιμή όπου η γραμμή τάσης τέμνει τον άξονα  $y$ .  $b$  = Η κλίση (W / C°)

$T_d$  = διαφορά θερμοκρασίας (C°)

Η δραστική δύναμη υπολογίζεται στη συνέχεια, όταν  $T_d = 10$  C°.

Ενιαίο μέτρο της απόδοσης. Η τιμή για το μαγείρεμα  $P$  (W) πρέπει να υπολογίζεται για μια διαφορά θερμοκρασίας,  $T_d$ , 10 C, χρησιμοποιώντας την παραπάνω καθοριζόμενη σχέση.

\*\*\* Έχουν υπολογιστεί τουλάχιστον 10 συνολικά παρατηρήσεις από το διάστημα 5C° πάνω από τη θερμοκρασία του περιβάλλοντος . Ο συντελεστής προσδιορισμού ( $r^2$ ) ή ποσοστό της διακύμανσης της ισχύος του μαγειρέματος που μπορεί να αποδοθεί στη σχέση που βρέθηκαν από παλινδρόμηση θα πρέπει να είναι καλύτερη από 0,75 ή ειδικά σημειώνεται.

Test	Heat storage	
Type:	Mirror	
Date:	03/02/2016	
Time:	10:45	
Site latitude:	06,55N	
Heating the heat storage		
Time (min)	T-air (C)	T-sand (C)
0,0	30,3	47,2
5,0	30,4	55,0
10,0	30,5	59,3
15,0	30,3	64,3
20,0	30,5	69,7
25,0	30,5	74,5
30,0	30,6	79,6
35,0	30,7	84,0
40,0	30,9	87,7
45,0	30,9	90,6
50,0	31,0	93,0
55,0	31,1	95,3
60,0	31,1	97,0
65,0	31,2	98,7
70,0	31,2	99,9
75,0	31,3	100,5

Πίνακας 4.1 : Αποθήκευση θερμότητας στο εσωτερικό της κατασκευής

	Insolation (W/m2)	Time	Time halftrue the test	Minutes between	Timefactor
Before	782,5	10:05	11:25	80,0	0,488888887
After	839,2	12:35	11:25	70,0	0,533333333
Mean solar insolation	812,7				

Πίνακας 4.2 : Μεταβολή θερμοκρασία στη διάρκεια του χρόνου



#### 4.4.2 Αξιολογήσεις των διαφόρων υλικών αντανάκλασης

Rating of Material Depending on the Reflection			
Material	Total index points on all 5 tests	Rank	Average reflection compared with the mirror (%)
Al-corrugated board	5	4	74,0
Al-corrugated board + polish	4,13	5	61,2
Al-corrugated board + vanish	5,13	3	75,9
Al-corrugated board + Al-foil OSO	3,85	7	57,0
Al-corrugated board + Al-foil Diamond	3,25	10	48,1
Al-paper local	5,40	2	79,8
Al-plate thin	4,04	6	59,8
Al-plate thin + polish	2,05	13	30,3
Al-plate thin + vanish	3,61	8	53,4
Al-plate thick	3,53	9	52,2
Al-plate thick + polish	1,76	14	26,1
Al-plate thick + vanish	2,30	12	34,1
Corrugated board + Al-colour	0,71	15	10,5
Plastic tape + Al-colour	2,44	11	36,1
Imported mirror	6,76	1	100,0

**Πίνακας 4.3 :** Δείκτες αξιολόγησης διαφόρων υλικών αντανάκλασης

## Δοκιμή αντανάκλασης

<b>Test:</b>	<b>Reflection Test 1</b>		
<b>Type of equipment:</b>	<b>Reflection device 1*</b>		
<b>Type of light:</b>	<b>Sun</b>		
<b>Date:</b>	<b>2005-07-12</b>		
<b>Time:</b>	<b>12:00</b>		
<b>Illumination different</b>			
<b>Material</b>	<b>Illumination (Lux)</b>	<b>before</b>	<b>after (Lux) (Lux)</b>
Al-corrugated board	8	1026	1018
Al-corrugated board + polish	8	724	716
Al-corrugated board + vanish	8	966	958
Al-corrugated board + Al-foil OSO	8	945	937
Al-corrugated board + Al-foil Diamond	8	736	728
Al-corrugated board + Al-foil Sw	8	1400	1392
Al-paper local	8	786	778
Al-plate thin	8	538	530
Al-plate thin + polish	8	1190	1182
Al-plate thin + vanish	8	968	960
Al-plate thick	8	527	519
Al-plate thick + polish	8	352	344
Al-plate thick + vanish	8	171	163
Corrugated board + Al-colour	8	588	580
Plastic tape + Al-colour	8		
Imported mirror, Australia			
Illumination without (Lux):	1450		

Πίνακας 4.4 : Δοκιμή αντανάκλασης

#### 4.4.3 Αξιολόγηση του Υλικού Ανάλογα με την αντανάκλαση

<b>Material</b>	<b>Total index points on all 5 tests</b>	<b>Rank</b>	<b>Average reflection compared with the mirror (%)</b>
Al-corrugated board	5	4	74,0
Al-corrugated board + polish	4,13479127	5	61,2
Al-corrugated board + vanish	5,132212225	3	75,9
Al-corrugated board + Al-foil OSO	3,852800501	7	57,0
Al-corrugated board + Al-foil Diamond	3,251621509	10	48,1
Al-paper local	5,397543847	2	79,8
Al-plate thin	4,039387645	6	59,8
Al-plate thin + polish	2,049225985	13	30,3
Al-plate thin + vanish	3,611977687	8	53,4
Al-plate thick	3,525939151	9	52,2
Al-plate thick + polish	1,762842856	14	26,1
Al-plate thick + vanish	2,301846566	12	34,1
Corrugated board + Al-colour	0,710236452	15	10,5
Plastic tape + Al-colour	2,437359794	11	36,1
Imported mirror, Australia	6,75983527	1	100,0

**Πίνακας 4.5 :** Δείκτες αξιολόγησης του υλικού αντανάκλασης

	Cardboard	Mirror
Effective power (W):	$P_s = -0,6464 \cdot T_d + 165,66$	$P_s = -0,9733 \cdot T_d + 111,51$
Effective power when Temperature difference $T_d = 50^\circ\text{C}$ (W):	133,34	62,845

Πίνακας 4.6: Εξίσωση της σχέσης παλινδρόμησης ενέργειας (όταν  $T_d = 50^\circ\text{C}$ ) και στα δύο σχέδια κουζίνας

	Cardboard	Mirror
Effective power (W):	$y = -0,6464x + 165,66$	$y = -0,9733x + 111,51$
Effective power when $X=50$ (W):	133,34	62,845

Πίνακας 4.7: Μέτρο της απόδοσης της ισχύς του φούρνου σε αναλογία με το υλικό κατασκευής

#### 4.4.4 Προϋποθέσεις για τη Σχεδίαση

Total weight (kg)	1,04
Weight of preweted bottle (kg)	0,03
Weight of water in one bottle (kg)	1,01

	Mirror	Cardboard
Intercept area ( $\text{m}^2$ )	0,48	0,97
Diameter $\varnothing$ (m)	0,78	1,11
Load, weight of water in test (kg)	1,01	2,02
Load per square meter interceptor area ( $\text{kg}/\text{m}^2$ )	2,1	2,1

Πίνακας 4.8: Προϋποθέσεις σχεδίαση πρότυπης κατασκευής

#### 4.4.5 Δοκιμές απομόνωσης θερμότητας

Insolation ( $W/m^2$ )	$k*t*m*Cp/A$
k = Time consumed (min) for every degree Celsius in temperature difference ( $^{\circ}C$ ). Is collected from the trend line equation. ( $^{\circ}C/min$ )	
t = Time (min)	1/60
m = Mass(kg)	0,0735
Cp = Specific heat capacity for aluminium ( $kJ/kg*K$ )	903
A = Area of aluminium surface ( $m^2$ )	0,00238

**Πίνακας 4.9 :** Δοκιμές ηλιακής ακτινοβολίας

Οι Μετρήσεις γίνονται σύμφωνα με αρχές για τη μέτρηση της θερμοκρασία του κυλίνδρου από αλουμίνιο που έχει μια επιφάνεια που απορροφά τη θερμότητα επαρκώς.

Insolation									
Tests	Test 1	Test 2	Test 34	Test 34	Test 56	Test 56	Test 78	Test 78	Test 78
Date in 2016	01 Feb	01 Feb	01 Feb	02 Feb	02 Feb	03 Feb	03 Feb	03 Feb	04 Feb
Time	10:15	12:00	09:50	11:45	10:00	11:55	10:05	12:35	14:14
Insolation ( $W/m^2$ )	968,7	668,0	829,9	871,2	757,6	848,5	782,5	839,2	775,3

**Πίνακας 4.10:** Απομόνωση ηλιακής θερμικής ενέργειας κατά την διάρκεια δοκιμών

Insolation Tests							
	Test 1	Test 2	Test 3A	Test 3B	Test 6A	Test 6B	
	01/02/2018	01/02/2018	02/02/2018	02/02/2018	02/02/2018	03/02/2018	
	10:15	12:00	08:50	11:45	10:00	11:55	
Time (min)	Temp (C?)	Temp (C?)	Temp (C?)	Temp (C?)	Temp (C?)	Temp (C?)	
0	30,4	33,7	29,9	33,0	29,2	29,5	
1	32,8		32,0	34,9	31,0	31,5	
2	35,1		34,1	37,3	32,8	33,7	
3	37,5	40,0	36,2	39,5	34,6	35,8	
4	39,4	41,9	38,2	41,5	36,4	37,7	
5	41,5	43,6	40,0	43,4	38,1	39,6	
6	43,5	45,3	41,8	45,2	39,6	41,4	
7	45,6	46,9	43,3	47,0	41,2	43,2	
8	47,3	48,3	44,9	48,7	42,6	44,4	
9	48,4		46,3	50,1	44,0	46,3	
10	51,5	50,4	47,7	51,5	45,5	47,7	
11	53,9	51,5					
12	56,1	52,8					
13	58,7	54,1					
14	65,2	55,3					
15	75,8	56,5					
16	112,0	57,4					
Insolation (W/m <sup>2</sup> )	966,7	666,0	829,9	871,2	757,6	848,5	

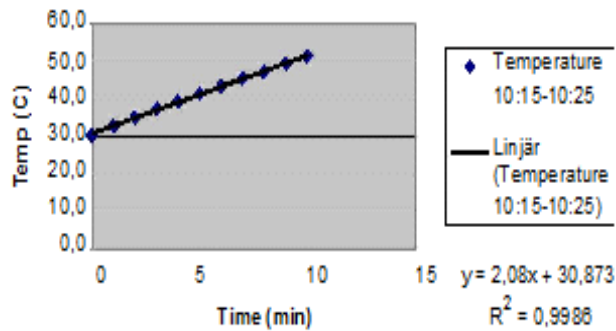
Insolation (W/m <sup>2</sup> )	k <sup>2</sup> ·m·Cp/A
k = Time consumed (min) for every degree Celsius in temperature difference (PC). Is collected from the trendline equation. (°C/min)	
↳ Time (min)	1/60
m = Mass (kg)	0,0735
Cp = Specific heat capacity for aluminium (kJ/kg·K)	903
A = Area of aluminium surface	0,002380

**Πίνακας 4.11 :** Δείκτες της διαφοράς θερμοκρασίας ( Td ) για κάθε χρονικό διάστημα

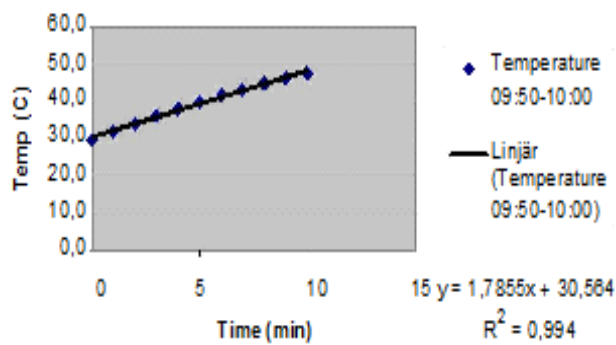
Ο σχεδιασμός του γραφήματος που δείχνει τη δύναμη , Ps , (W) συναρτήσει της διαφοράς θερμοκρασίας , Td , για κάθε χρονικό διάστημα.

Γραφήματα της διαφοράς θερμοκρασίας συναρτήσει του χρόνου  
(στις διάφορες δοκιμές)

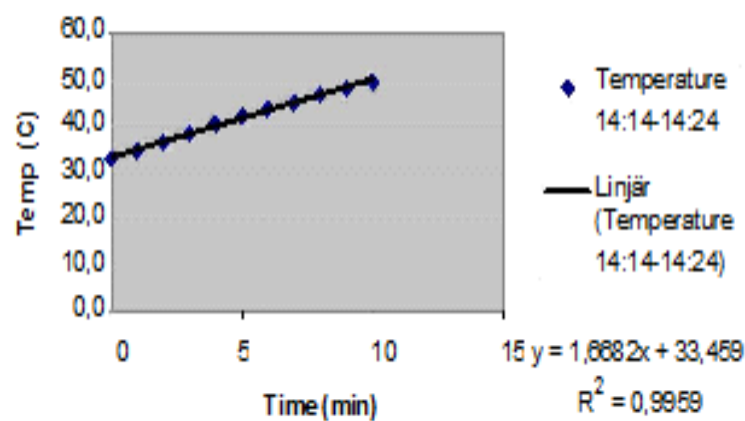
Insolation test 1 10:15

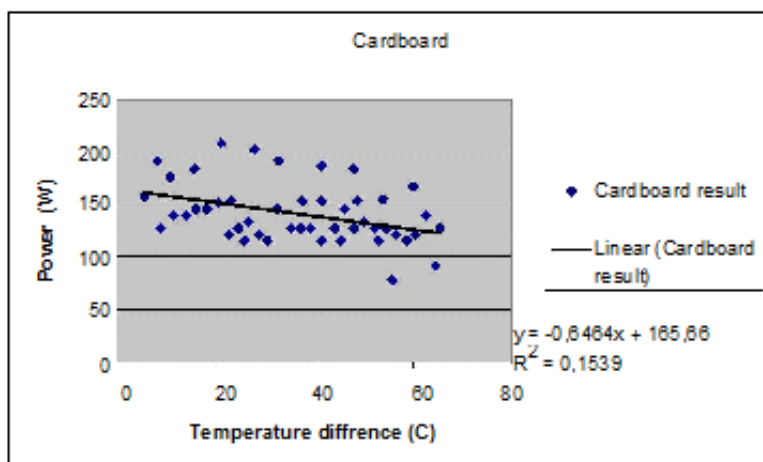


Insolation test 3,4 09:50



Insolation test 7,8 14:14





Γράφημα : Μεταβολή της θερμικής ισχύος του συστήματος συναρτήσει της αλλαγής θερμοκρασίας

$P_i = \text{Interval power (W)}$	$P_i = ((T_2 - T_1) \cdot m \cdot C_p) / t$
$m = \text{Mass water (kg)}$	2,02
$C_p = \text{Heat capacity (J/K} \cdot \text{kg)}$	4186,00
$t = \text{Time (sec)}$	300

Πίνακας4.12 : Υπολογισμός της Μαγειρικής Ισχύος



#### 4.4.6 Τυποποίηση Μαγειρικής Ισχύος

$P_s =$ Standardized Power (W)	$P_s = P_i \cdot (L_s / L_i)$
$L_s =$ Standard insolation ( $W/m^2$ )	700
$L_i =$ Interval average solar insolation ( $W/m^2$ )	909,42

Time (min)	Temperature Difference T	$P_i$ (W)	$P_s$ (W)	$T_d$
0-5	7,4	208,57	160,543519	5
5-10	7,7	217,03	167,0520401	12,3
10-15	7,8	219,85	169,2215471	19,9
15-20	7	197,30	151,885491	27,9
20-25	6,8	191,66	147,5284769	34,7
25-30	5,9	166,30	128,0009138	41,5
30-35	6,5	183,21	141,0179559	47,3
35-40	5,6	157,84	121,4923928	53,7
40-45	5,4	152,20	117,1533787	59,1
45-50	5,6	157,84	121,4923928	64,5

Πίνακας 4.13 : Μεταβολή της θερμικής ισχύος συναρτήσει του χρόνου

## Συμπεράσματα

Το μαγείρεμα στον ήλιο παίρνει γενικά περισσότερη ώρα από το αντίστοιχο σε συμβατικό φούρνο. Ένας προσεγγιστικός κανόνας που ισχύει αρκετά συχνά είναι ότι απαιτεί έως και διπλάσιο χρόνο.

Οι βασικές αρχές που διέπουν τη λειτουργία των ηλιακών φούρνων είναι οι παρακάτω :

- *Συγκέντρωση ηλιακής ακτινοβολίας:* Κάποιο στοιχείο της κατασκευής ενός ηλιακού φούρνου (καθρέπτης, μέταλλο ανακλαστικό κλπ) χρησιμοποιείται για να συγκεντρώσει την ηλιακή ακτινοβολία σε μία πιο περιορισμένη έκταση, την περιοχή του μαγειρέματος, αυξάνοντας τη συγκέντρωση ισχύος στον χώρο αυτό.
- *Μετατροπή ακτινοβολίας σε θερμότητα:* Η σχεδίαση του εσωτερικού αποσκοπεί στη μετατροπή της ακτινοβολίας σε θερμότητα. Η επιλογή των υλικών, του χρώματος του εσωτερικού του φούρνου, καθώς και τα υλικά και χρώματα των σκευών πρέπει να αποσκοπούν στην αύξηση της αποτελεσματικότητας μετατροπής της ηλιακής ακτινοβολίας σε θερμότητα.
- *Εγκλωβισμός θερμότητας:* Η κατασκευή πρέπει να είναι τέτοια, ώστε να ελαχιστοποιούνται πιθανές απώλειες θερμότητας προς το περιβάλλον.

Κάθε μία από τις παραπάνω αρχές σχεδιασμού δεν είναι ικανή από μόνη της να δώσει το επιθυμητό αποτέλεσμα. Συνεπώς, συνδυασμός αυτών σε διάφορους σχεδιασμούς φέρουν το επιθυμητό αποτέλεσμα.

Η ηλιακή ακτινοβολία διαπερνά το τζάμι και μετατρέπεται σε θερμότητα η οποία παγιδεύεται κατά το μεγαλύτερο μέρος της στο εσωτερικό του κουτιού, αυξάνοντας συνεχώς τη θερμοκρασία (φαινόμενο του θερμοκηπίου). Σε περίπου 45 λεπτά έχει φθάσει τους 100 βαθμούς, που είναι και το σημείο βρασμού του νερού. Ο ηλιακος φουρνος δεν χρειάζεται συνεχή ηλιοφάνεια: Αρκεί ο ήλιος να φαίνεται για 30 λεπτά κάθε ώρα, ας υπάρχει συννεφιά την υπόλοιπη ώρα.

Επίσης, το ηλιακό φουρνάκι δεν χρειάζεται υψηλές θερμοκρασίες περιβάλλοντος. Μπορεί να μαγειρέψει ακόμη και αν έχει στρώσει χιόνι και η θερμοκρασία είναι 2 βαθμοί. Αρκεί να υπάρχει ηλιοφάνεια. Είναι φυσικά λογικό να περιμένουμε ότι τους μήνες Νοέμβριο έως

Φεβρουάριο θα είναι λιγότερες οι κατάλληλες ημέρες για τον ηλιακό φούρνο, από ότι τον υπόλοιπο χρόνο.

Η μόνωση σε έναν τέτοιο φούρνο πρέπει να είναι τέτοια, ώστε να αντέχει σε θερμοκρασίες μέχρι και 150° C χωρίς να καταστρέφεται. Το διαφανές κάλυμμα είναι από γυαλί ή πλαστικό ή κάποιο αναλώσιμο υλικό όπως σακούλα ψησίματος. Το εσωτερικό του φούρνου πρέπει να είναι σκουρόχρωμο όπως και τα χρησιμοποιούμενα σκεύη. Εάν δεν χρησιμοποιηθεί υλικό σκουρόχρωμο, μπορεί να βαφτεί με κατάλληλη μη τοξική σε υψηλή θερμοκρασία βαφή .

Ο ηλιακός φούρνος αυτού του τύπου πετυχαίνει θερμοκρασίες έως 115 ° C. Ο ιδανικός χρόνος για την εκκίνηση του ψησίματος, καθώς και ο χρόνος που θα διαρκέσει αυτό εξαρτώνται από τον καιρό που επικρατεί στον χώρο, καθώς και από το γεωγραφικό πλάτος. Πέρα από τη διαδικασία του μαγειρέματος, ο φούρνος μπορεί να χρησιμοποιηθεί για παστεριοποίηση γάλατος και νερού, όπου αυτό είναι απαραίτητο.

Όσο μεγαλύτερη (μέχρι ενός ορίου όμως) η επιφάνεια του τζαμιού από όπου μπαίνει ο ήλιος, τόσο μεγαλύτερη η ισχύς (περίπου 1.000W ανά τ.μ.). Το ιδανικό είναι περίπου 50X60cm με εσωτερικό ύψος γύρω στα 25cm. Το τζάμι να έχει πάχος 5-6mm. Παρατηρήθηκε λοιπόν ότι το καλύτερο υλικό για ανακλαστήρας είναι ο καθρέπτης καθώς αντανακλά το 90% ενώ το αλουμινόχαρτο το 40%.

## Βιβλιογραφία

1. Abelsen, A., (2007). Solenergi. *Fornybar energi 2007*, Norges Vassdrags- og energidirektoriat, Ch. 3.
2. Brooks M J (2007). Thermal performance of a solar oven with augmented sunlight concentration. *Journal of Energy in Southern Africa* • Vol 18 No 2.
3. Balakrishnan M., A. Claude, D. R. Arun Kumar (2012). Engineering, design and fabrication of a solar cooker with parabolic concentrator for heating, drying and cooking purposes. *Scholars Research Library. Archives of Applied Science Research*, 2012, 4 (4):1636-1649.
4. Bethea et al, *Solar Energy*, 1981, 27(6): 223-34
5. Bowman T.E., *Solar Cookers: Test Results and New Designs*, Second International Symposium of Engineering, Florida.1979.
6. Chen et al., *Solar Energy*, 1995, 54 (4) : 227 – 237.
7. Chez Helios. 2005. “Solar Oven Testing End-of-Semester Report,” ESW Solar Oven Team,  
[http://ceeserver.cee.cornell.edu/esw/project\\_pages/documents/SolarOvenFINALREPORTREVISED5-11-04.doc](http://ceeserver.cee.cornell.edu/esw/project_pages/documents/SolarOvenFINALREPORTREVISED5-11-04.doc)
8. Chikuwa, A., (2008): *Modeling of a Solar Stove: Small Scale Concentrating System With Heat Storage (Potential For Cooking In Rural Areas, Zimbabwe)*, Doctoral Thesis, Department of Physics, NTNU, Trondheim.
9. EG- Solar (2009). *Solarcooker*. Available at: <http://www.eg-solar.de/english/solarcooker.htm> (Accessed 19 March 2009).
10. ESW Solar Oven Team. 2005. “Solar Oven Design and Testing Final Report.” ESW Solar Oven Team Spring.
11. Energy Use in the Australian Residential Sector 1986 – 2020 – Department of Environment, Water, Heritage and the Arts (DEWHA), 2008.
12. Fairey et al., 2002, *Solar Oven Development and Testing: Final Report*, Florida Solar Energy Center, FSEC 26-58-876.
13. GTZ (German Technical Cooperation) (1999). *Solarkocher in Entwicklungsländern Akzeptanz und Markteinführung*. Available at: <http://www.gtz.de/de/dokumente/desolarkocher-1999.pdf>
14. Greenlearning.ca. Built your own solar oven. Cooking with the sun. Διαθέσιμο από: <http://www.re-energy.ca/docs/solaroven-cp.pdf>.

15. Intermediate Technology Development Group. Solar cooking. Διαθέσιμο από: <http://stoves.bioenergylists.org/stovesdoc/itdg/solar-cooking.pdf>.
16. Ibeh G.F, Agbo G.A, Anyigor S, and Isikwue B.C, (2012) *Archives of Applied Science Research*, 4 (3): 1223- 1226.
17. Johansson, T., B., Mc Cormick K., Neij, L., Turkenburg, W., (2004). *The potentials of Renewable Energy- Thematic Background Paper*, International Conference for Renewable Energies, Bonn.
18. Kaushik, S., C., &Gupta, M., K., (2008). Energy and exergy efficiency comparison of community- size and domestic- size paraboloidal solar cooker performance, *Energy for Sustainable Development*, Vol. 12 No.3, pp.60- 64.
19. Kristjansdottir, T. F., (2004). *Solar cookers in Mozambique*, Diploma Thesis, Department of Energy and Process Engineering, The Norwegian University of Science and Technology (NTNU).
20. Kundapur A., *'Solar Cookers - a review - 'All India conference on alternative Energy Sources*, MIT, Manipal, 1995.
21. Kimambo, C., Z., M. (2007). Development and Performance Testing of Solar Cookers, *Journal of Energy in Southern Africa*, Vol. 18, No. 3, pp. 41- 51.
22. Martin R. et al. (2006). Design of Solar Ovens for Use in the Developing World. *International Journal for Service Learning in Engineering*. Vol. 2, No. 1, pp. 78-91.
23. Macmillan, New York. Available at: [http://hdr.undp.org/en/media/HDR\\_20072008\\_EN\\_Complete.pdf](http://hdr.undp.org/en/media/HDR_20072008_EN_Complete.pdf)
24. Pia Piroshka Otte(2009). *Cooking with the sun - An analysis of Solar Cooking in Tanzania, its adoption and impact on development*. Faculty of Social Sciences and Technology Management. Norwegian University of Science and Technology.
25. Quaschnig, V., (2005). *Understanding renewable energy systems*, Earthscan, London Sterling.
26. Rajeshwari N. and Ramalingam A.,(2012) *Archives of Applied Science Research*, 4 (3): 1476-1482.
27. SCI (Solar Cookers International) (2009a). *Box cookers*. Available at: [http://solarcooking.wikia.com/wiki/Solar\\_box\\_cooker](http://solarcooking.wikia.com/wiki/Solar_box_cooker) (Accessed 13 April 2009).
28. SCI (Solar Cookers International) (2009a). *Box cookers*. Available at: [http://solarcooking.wikia.com/wiki/Solar\\_box\\_cooker](http://solarcooking.wikia.com/wiki/Solar_box_cooker) (Accessed 13 April 2009).

29. Sun Oven, (2008a). *Global Sun Oven*. Available at: <http://www.sunoven.com/global.asp>
30. Solsource (2014). The Science Behind Solar Cookers. Copyright 2014 © One Earth Designs. Διαθέσιμο από: [http://www.oneearthdesigns.com/wp-content/uploads/2014/03/The\\_Science\\_Behind\\_Solar\\_Cookers.pdf](http://www.oneearthdesigns.com/wp-content/uploads/2014/03/The_Science_Behind_Solar_Cookers.pdf)
31. Solare Brücke, (2009). *Fix Focus Parabolic Reflector for Community Kitchens* (Wolfgang Scheffler). Available at: [http://www.solarebruecke.org/infoartikel/info\\_vorstand.htm#english](http://www.solarebruecke.org/infoartikel/info_vorstand.htm#english)
32. Shawn Shaw. Development of a Comparative Framework for Evaluating the Performance of Solar Cooking Devices: Combining Ergonomic, Thermal, and Qualitative Data into an Understandable, Reproducible, and Rigorous Testing Method. Rensselaer Polytechnic Institute.
33. Solar Cookers International. 2005. "Solar Cooking Plans," The Solar Cooking Archive, <http://solarcooking.org/plans.htm>
34. Schwarzer, K., Da Silva, M., E., V., (2008). Characterisation and Design methods of solar cookers, *Solar Energy* Vol. 82, Issue 2, pp. 157-163, Elsevier.
35. Thomas, P., (2002). Introduction: Political participation in the Pacific: Issues of gender, race and religion, *Development Bulletin*, Vol. 59, p. 7-10.
36. UNDP (United Nations Development Programme) (2007). Human Development Report (2007/08). Fighting Climate Change: Human solidarity in a divided world, Palgrave
37. Urassa, F. (2003). *Report on workshop on solar cooker for wheelchair users*. KASIWOCO.
38. Wentzel, M., & Pouris, A., (2007). The development impact of solar cookers: A review of solar cooking impact research in South Africa, *Energy Policy*, Vol. 35, Issue 3, March 2007, pp. 1909- 1919.
39. WOT. Solar cookers in developing countries. <http://www.wot.utwente.nl/>. Διαθέσιμο από: <http://www.its.caltech.edu/~e105/readings/solarcookers.pdf>.