

ΑΝΩΤΑΤΟ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΟ ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΟ ΙΔΡΥΜΑ  
ΔΥΤΙΚΗΣ ΕΛΛΑΔΑΣ  
ΣΧΟΛΗ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΩΝ ΕΦΑΡΜΟΓΩΝ  
ΤΜΗΜΑ  
ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ Τ.Ε

## Πτυχιακή Εργασία

### ΜΕΛΕΤΗ ΚΑΙ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ ΗΛΙΑΚΟΥ ΞΗΡΑΝΤΗΡΙΟΥ ΤΡΟΦΩΝ



Σπουδαστής: Κομιώτης Ανδρέας – Ιωάννης  
Αριθμός Μητρώου:5926  
Επιβλέπων Καθηγητής: Γιαννόπουλος Ανδρέας  
(Αναπληρωτής Καθηγητής)

ΠΑΤΡΑ ΜΑΙΟΣ 2014

## Πρόλογος - Ευχαριστίες

---

Η παρούσα μελέτη και πειραματική κατασκευή αποτελεί την Πτυχιακή Εργασία, στα πλαίσια των σπουδών μου στο Ανώτατο Τεχνολογικό Εκπαιδευτικό Ίδρυμα Δυτικής Ελλάδας.

Επιβλέπων της εργασίας αυτής είναι ο αναπληρωτής καθηγητής του Τμήματος Μηχανολογίας **κ. Γιαννόπουλο Ανδρέα**. Τα μέλη της εξεταστικής επιτροπής απαρτίζονται από τον Υπεύθυνο του Τομέα Μηχανολογικών Κατασκευών και Εγκαταστάσεων **κ. Γιαννόπουλο Ανδρέα**, τον **κ. Καλογήρου Ιωάννη** καθηγητή του Τμήματος Μηχανολογίας και τον **κ. Γιαννόπουλο Γιώργο**, επιστημονικό συνεργάτη του Τμήματος Μηχανολογίας.

Ο στόχος του παρόντος τεύχους, είναι η περιγραφή και η μελέτη των ηλιακών ξηραντήριων τροφών, τα οποία προορίζονται για γεωργική χρήση. Ακόμα, βασικός στόχος της εργασίας αυτής είναι η κατασκευή ενός Ηλιακού Ξηραντήρα τροφών (έμμεσου τύπου) με αυτόνομο σύστημα παραγωγής ενέργειας και προσθήκη ηλεκτρομηχανολογικού εξοπλισμού και αισθητήρων για την δυναμική και άρτια λειτουργία του.

Σε αυτό το σημείο θα ήθελα να ευχαριστήσω τον επιβλέποντα καθηγητή κ. Ανδρέα Γιαννόπουλο, για την στήριξη, την επίβλεψη και την καθοδήγησή του στο σύνολο της προσπάθειάς μου, η οποία ήταν καταλυτική για την ολοκλήρωση της εργασίας. Θα ήθελα να ευχαριστήσω επίσης, τον κ. Γιώργο Γιαννόπουλο επιστημονικό συνεργάτη του Α.Τ.Ε.Ι. Πατρών για όλες τις συμβουλές του και την πολύτιμη βοήθειά του. Ακόμα, ευχαριστώ όλους μου τους φίλους (ιδίως τον Παναγιώτη και Κωνσταντίνο) που με βοήθησαν στην κατασκευή του ξηραντήριου. Καθώς επίσης και τους φίλους μου από την Πάτρα. Τέλος, ευχαριστώ θερμά όλη μου την οικογένεια, για την αμέριστη στήριξή της καθ όλη τη διάρκεια των σπουδών μου.

**Υπεύθυνη Δήλωση Σπουδαστή:** Ο κάτωθι υπογεγραμμένος σπουδαστής έχω επίγνωση των συνεπειών του Νόμου περί λογοκλοπής και δηλώνω υπεύθυνα ότι είμαι συγγραφέας αυτής της Πτυχιακής Εργασίας, έχω δε αναφέρει στην Βιβλιογραφία μου όλες τις πηγές τις οποίες χρησιμοποίησα και έλαβα ιδέες ή δεδομένα. Δηλώνω επίσης ότι, οποιοδήποτε στοιχείο ή κείμενο το οποίο έχω ενσωματώσει στην εργασία μου προερχόμενο από Βιβλία ή άλλες εργασίες ή το διαδίκτυο, γραμμένο ακριβώς ή παραφρασμένο, το έχω πλήρως αναγνωρίσει ως πνευματικό έργο άλλου συγγραφέα και έχω αναφέρει ανελλιπώς το όνομά του και την πηγή προέλευσης.

Ο σπουδαστής  
**Κομιώτης Ανδρέας Ιωάννης**

(Υπογραφή)

## Περίληψη

---

Στην παρούσα Πτυχιακή Εργασία, θα διακρίνει κάποιος έξι κεφάλαια. Το τεύχος αυτό έχει στόχο την κατανόηση και την ανάδειξη όλων των τύπων Ηλιακής Ξήρανσης για τρόφιμα και κυρίως για αγροτικά προϊόντα.

Στο κεφάλαιο 1<sup>ο</sup> γίνεται μια εισαγωγή στην ξήρανση, καθώς και στη χρηστικότητα της Ηλιακής Ξήρανσης στην πατρίδα μας.

Στο κεφάλαιο 2<sup>ο</sup> γίνεται περιγραφή της διεργασίας της ξήρανσης και της προ- ξήρανσης, καθώς επίσης και της ανάγκης της χρήσης Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας (αναφορά σε όλες τις ΑΠΕ).

Στο κεφάλαιο 3<sup>ο</sup> γίνεται διαχωρισμός και αναλυτική περιγραφή των τύπων ηλιακής ξήρανσης.

Στο κεφάλαιο 4<sup>ο</sup> γίνεται αναλυτική περιγραφή στη διεργασία της ηλιακής ξήρανσης, στους παράγοντες που επηρεάζουν την ξήρανση και σε σημαντικά σημεία γίνεται αναφορά σε διαγράμματα, για την κατανόηση των μηχανισμών της ξήρανσης.

Στο κεφάλαιο 5<sup>ο</sup> γίνεται αναλυτική περιγραφή της κατασκευής και της μελέτης του ηλιακού ξηραντήρα.

Τέλος, υπάρχουν σχέδια τρισδιάστατης απεικόνισης για μεγαλύτερης κλίμακας ηλιακά ξηραντήρια.

Λόγω των καιρικών συνθηκών κατά την περίοδο της κατασκευής του ηλιακού ξηραντήρα τροφών, ήταν αδύνατη η καταγραφή μετρήσεων με πειραματικές μετρήσεις. Για το λόγο αυτό επικεντρωθήκαμε περισσότερο στην κατασκευή του ξηραντήρα με τεχνολογικά υλικά (θερμο-μονωτικά) και ηλεκτρομηχανολογικά εξαρτήματα (φωτοβολταϊκό σύστημα, δυνατότητα επιλογής και ρύθμισης παροχής αέρα, αισθητήρες και άλλα), που μας δίνουν τη δυνατότητα της αυτοματοποίησης, της αυτονομίας και του άμεσου ελέγχου στη διεργασία της ξήρανσης.

«Η σταφίδα για την Ελλάδα είναι.... ότι και ο καφές για τη Βραζιλία»  
Ξενοφών Ζολώτας

---

# Πίνακας περιεχομένων

## ΠΡΟΛΟΓΟΣ - ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ ΠΕΡΙΛΗΨΗ ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΩΝ

<b>1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ ΣΤΗΝ ΞΗΡΑΝΣΗ ΤΡΟΦΙΜΩΝ. ....</b>	<b>1</b>
1.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	1
1.2 ΩΦΕΛΙΜΟΤΗΤΑ ΚΑΙ ΧΡΗΣΙΜΟΤΗΤΑ ΤΗΣ ΗΛΙΑΚΗΣ ΞΗΡΑΝΣΗΣ ΣΤΗΝ ΕΛΛΑΔΑ.....	5
<b>2. ΗΛΙΑΚΗ ΞΗΡΑΝΣΗ.....</b>	<b>8</b>
2.1 ΤΙ ΕΙΝΑΙ Η ΗΛΙΑΚΗ ΞΗΡΑΝΣΗ ΚΑΙ ΠΟΙΑ Η ΣΗΜΑΣΙΑ ΤΗΣ.....	8
2.2 ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΗΛΙΑΚΗΣ ΞΗΡΑΝΣΗΣ ΜΕ ΑΛΛΕΣ ΜΕΘΟΔΟΥΣ.....	9
2.2.1 ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΚΗ ΞΗΡΑΝΣΗ.....	9
2.2.2 ΦΥΣΙΚΗ ΞΗΡΑΝΣΗ.....	10
2.2.3 ΥΠΕΡΟΧΗ ΚΑΙ ΠΕΡΙΟΡΙΣΜΟΙ ΤΗΣ ΗΛΙΑΚΗΣ ΞΗΡΑΝΣΗΣ.....	10
2.3 ΗΛΙΑΚΗ ΞΗΡΑΝΣΗ ΚΑΙ ΠΡΟ-ΞΗΡΑΝΣΗ.....	12
2.4 ΑΝΑΠΟΦΕΥΚΤΗ ΧΡΗΣΗ ΤΩΝ ΑΝΑΝΕΩΣΙΜΩΝ ΠΗΓΩΝ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ.....	13
2.4.1 ΤΙ ΕΙΝΑΙ ΟΙ ΑΝΑΝΕΩΣΙΜΕΣ ΠΗΓΕΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ.....	13
2.4.2 ΜΟΡΦΕΣ ΑΝΑΝΕΩΣΙΜΩΝ ΠΗΓΩΝ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ.....	14
2.4.3 ΗΛΙΑΚΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑ.....	15
2.5 ΟΙ ΜΕΘΟΔΟΙ ΑΞΙΟΠΟΙΗΣΗΣ ΤΗΣ ΗΛΙΑΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ.....	18
2.5.1 ΕΝΕΡΓΗΤΙΚΕΣ ΜΕΘΟΔΟΙ ΑΞΙΟΠΟΙΗΣΗΣ ΤΗΣ ΗΛΙΑΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ.....	18
2.5.2 ΠΑΘΗΤΙΚΕΣ ΜΕΘΟΔΟΙ ΑΞΙΟΠΟΙΗΣΗΣ ΤΗΣ ΗΛΙΑΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ.....	19
2.6 ΆΛΛΕΣ ΜΟΡΦΕΣ ΑΝΑΝΕΩΣΙΜΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ.....	19
2.6.1 ΑΙΟΛΙΚΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑ.....	19
2.6.2 ΥΔΡΟΔΥΝΑΜΙΚΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑ-ΥΔΑΤΟΠΤΩΣΕΙΣ.....	20
2.6.3 ΒΙΟΜΑΖΑ.....	22
2.6.4 ΓΕΩΘΕΡΜΙΚΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑ.....	24
2.6.5 ΕΝΕΡΓΕΙΑ ΘΑΛΑΣΣΙΩΝ ΚΥΜΑΤΩΝ –ΠΑΛΙΡΡΟΙΩΝ (ΘΕΡΜΙΚΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑ ΩΚΕΑΝΩΝ).....	26
<b>3. ΜΟΝΤΕΛΑ ΗΛΙΑΚΩΝ ΞΗΡΑΝΤΗΡΙΩΝ.....</b>	<b>30</b>
3.1 ΔΙΑΧΩΡΙΣΜΟΣ ΚΑΙ ΤΑΞΙΝΟΜΗΣΗ ΗΛΙΑΚΩΝ ΞΗΡΑΝΤΗΡΙΩΝ.....	30
3.2 ΗΛΙΑΚΗ ΞΗΡΑΝΣΗ ΣΕ ΕΛΕΥΘΕΡΟ ΑΕΡΑ.....	30
3.3 ΆΜΕΣΟ ΗΛΙΑΚΗ ΞΗΡΑΝΣΗ.....	31
3.4 ΈΜΜΕΣΗ ΗΛΙΑΚΗ ΞΗΡΑΝΣΗ.....	32
3.5 ΜΙΚΤΑ ΗΛΙΑΚΑ ΞΗΡΑΝΤΗΡΙΑ.....	34
3.6 ΥΒΡΙΔΙΚΑ ΗΛΙΑΚΑ ΞΗΡΑΝΤΗΡΙΑ.....	35
3.7 ΗΛΙΑΚΟΣ ΞΗΡΑΝΤΗΡΑΣ ΚΙΒΩΤΙΟΥ.....	35
3.8 ΗΛΙΑΚΟΣ ΞΗΡΑΝΤΗΡΑΣ ΣΗΡΑΓΓΑΣ.....	35
3.9 ΗΛΙΑΚΟΣ ΞΗΡΑΝΤΗΡΑΣ ΘΕΡΜΟΚΗΠΙΟΥ (GREENHOUSE DRYER).....	36
3.10 ΗΛΙΑΚΟΣ ΞΗΡΑΝΤΗΡΑΣ ΔΩΜΑΤΙΟΥ.....	38
3.11 ΞΗΡΑΝΤΗΡΙΟ ΗΛΙΑΚΟΥ ΤΟΙΧΟΥ (SOLAR WALL).....	40

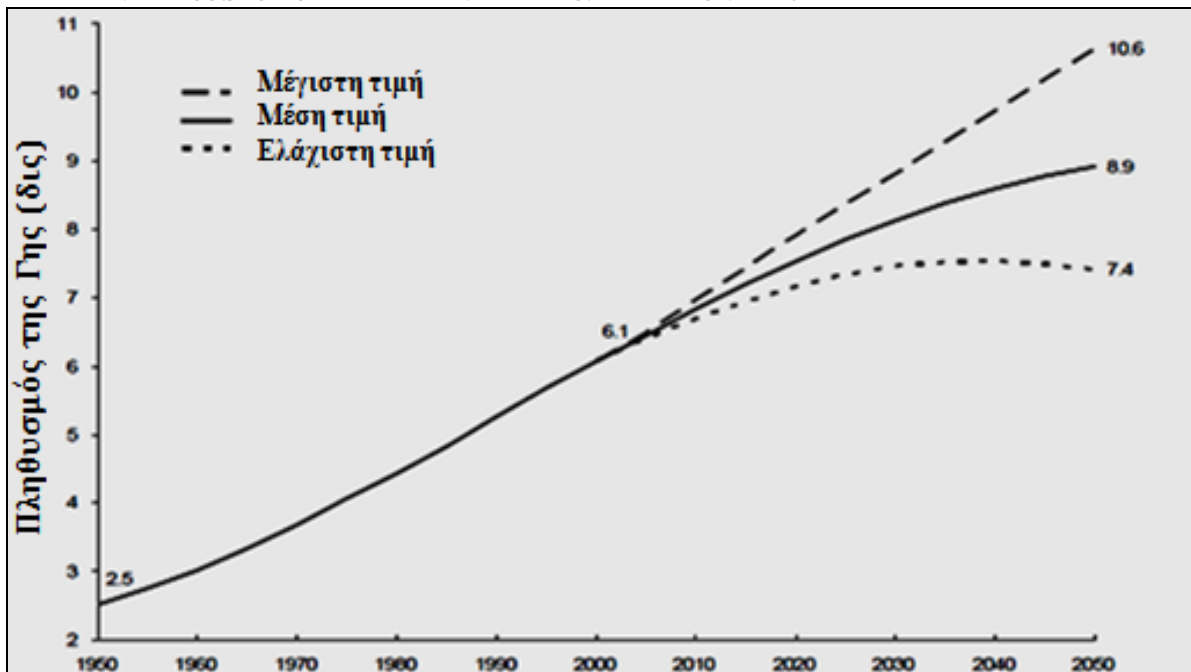
3.12	ΕΠΙΛΟΓΗ ΗΛΙΑΚΟΥ ΞΗΡΑΝΤΗΡΑ.....	43
<b>4.</b>	<b>ΘΕΩΡΙΑ ΤΗΣ ΗΛΙΑΚΗΣ ΞΗΡΑΝΣΗΣ.....</b>	<b>43</b>
4.1	ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΤΗΣ ΞΗΡΑΝΣΗΣ.....	43
4.2	ΡΥΘΜΟΣ ΞΗΡΑΝΣΗΣ.....	45
4.3	ΚΑΜΠΥΛΕΣ ΞΗΡΑΝΣΗΣ.....	46
4.4	ΠΕΡΙΟΔΟΣ ΣΤΑΘΕΡΟΥ ΡΥΘΜΟΥ ΞΗΡΑΝΣΗΣ.....	48
4.5	ΠΑΡΑΓΟΝΤΕΣ ΠΟΥ ΕΠΗΡΕΑΖΟΥΝ ΤΗΝ ΞΗΡΑΝΣΗ.....	49
4.6	ΑΕΡΑΣ ΞΗΡΑΝΣΗΣ.....	51
4.7	ΑΝΑΚΥΚΛΩΣΗ ΑΕΡΑ ΞΗΡΑΝΣΗΣ.....	52
4.8	ΥΓΡΑΣΙΑ ΙΣΟΡΡΟΠΙΑΣ.....	52
<b>5.</b>	<b>ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΙ - ΑΝΑΛΥΣΗ - ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ ΤΟΥ ΗΛΙΑΚΟΥ ΞΗΡΑΝΤΗΡΑ.....</b>	<b>54</b>
5.1	ΣΥΛΛΕΚΤΗΣ ΑΕΡΟΣ.....	54
5.1.1	ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	54
5.1.2	ΥΛΙΚΑ ΣΥΛΛΕΚΤΗ ΑΕΡΟΣ.....	56
5.2	ΘΑΛΑΜΟΣ ΞΗΡΑΝΣΗΣ.....	63
5.3	ΑΥΤΟΝΟΜΟ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΟ ΣΥΣΤΗΜΑ.....	66
5.4	ΘΕΩΡΗΤΙΚΟΙ ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΙ ΓΙΑ ΞΗΡΑΝΣΗ ΜΑΥΡΗΣ ΚΟΡΙΝΘΙΑΚΗΣ ΣΤΑΦΙΔΑΣ.....	69
5.4.1	ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΞΗΡΑΝΣΗΣ ΣΤΑΦΥΛΙΩΝ.....	69
5.4.2	ΚΑΘΟΡΙΣΜΟΣ ΡΥΘΜΟΥ ΞΗΡΑΝΣΗΣ ΣΤΑΦΥΛΙΩΝ.....	70
5.4.3	ΚΑΘΟΡΙΣΜΟΣ ΠΟΣΟΤΗΤΑΣ ΘΕΡΜΟΥ ΑΕΡΑ ΞΗΡΑΝΣΗΣ.....	70
5.4.4	ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΤΑΧΥΤΗΤΑΣ ΞΗΡΑΝΣΗΣ.....	72
5.4.5	ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΤΑΧΥΤΗΤΑΣ ΕΞΑΓΟΜΕΝΟΥ ΝΕΡΟΥ.....	72
5.4.6	ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΑΠΟΛΥΤΗΣ ΜΕΣΗΣ ΥΓΡΑΣΙΑΣ ΑΕΡΑ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ.....	72
5.4.7	ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΜΕΣΗΣ ΣΧΕΤΙΚΗΣ ΥΓΡΑΣΙΑΣ.....	75
5.4.8	ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ (ΜΕΣΗΣ) ΠΑΡΟΧΗΣ ΑΕΡΑ.....	77
5.4.9	ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΑΠΑΙΤΟΥΜΕΝΗΣ ΘΕΡΜΙΚΗΣ ΙΣΧΥΟΣ ΓΙΑ ΤΗΝ ΞΗΡΑΝΣΗ.....	77
5.4.10	ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΗΛΙΑΚΗΣ ΙΣΧΥΟΣ.....	77
5.4.11	ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΗΛΙΑΚΗΣ ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑΣ ΣΕ ΚΕΚΛΙΜΕΝΟ ΕΠΙΠΕΔΟ.....	78
5.4.12	ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΣ ΣΥΛΛΕΚΤΗ.....	80
5.4.13	ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΕΛΚΥΣΜΟΥ ΚΑΜΙΝΑΔΑΣ.....	81
5.4.14	ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΤΑΧΥΤΗΤΑΣ ΑΕΡΑ ΣΤΗΝ ΚΑΜΙΝΑΔΑ.....	82
<b>6.</b>	<b>ΗΛΙΑΚΑ ΞΗΡΑΝΤΗΡΙΑ ΜΕΓΑΛΗΣ ΚΛΙΜΑΚΑΣ (ΠΡΟΤΥΠΑ ΣΧΕΔΙΑ).....</b>	<b>83</b>
<b>7.</b>	<b>ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ.....</b>	<b>87</b>
<b>8.</b>	<b>ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ.....</b>	<b>90</b>
8.1	ΕΙΚΟΝΕΣ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ.....	90
<b>9.</b>	<b>ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....</b>	<b>94</b>

# 1. Εισαγωγή στην Ξήρανση Τροφίμων.

## 1.1 Εισαγωγή

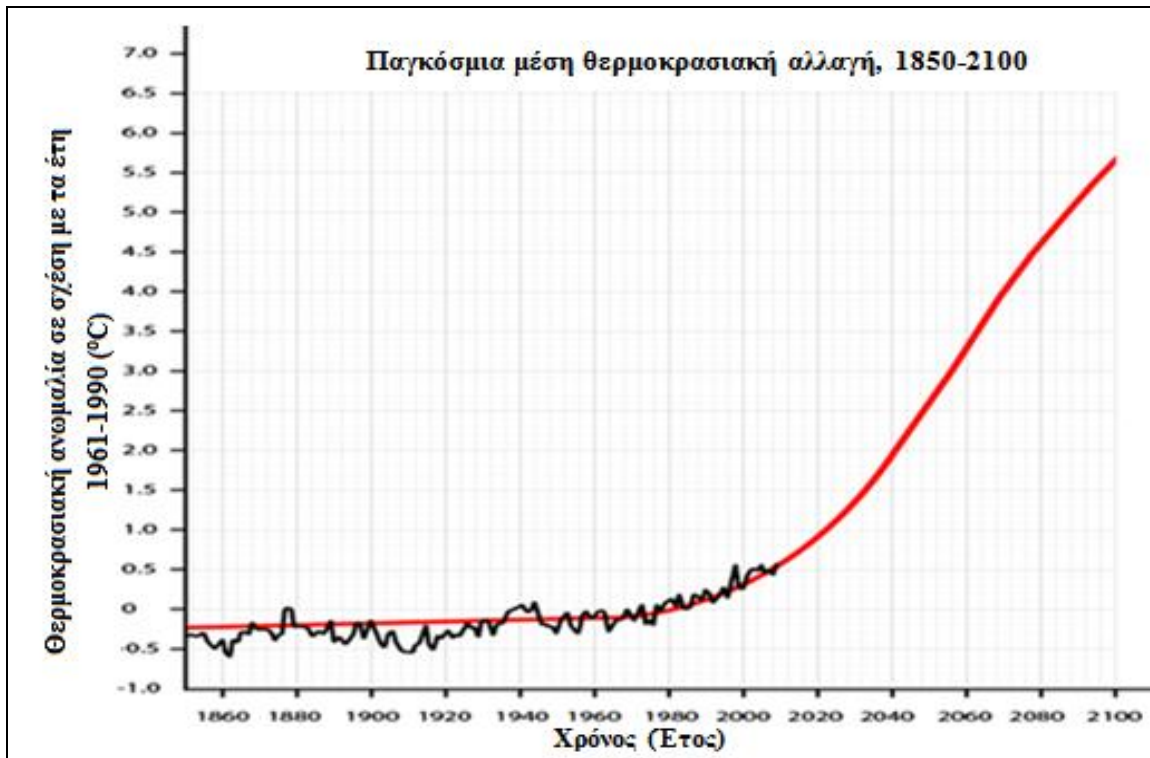
Στις μέρες μας ο παγκόσμιος πληθυσμός αυξάνεται με ταχύτατους ρυθμούς, με αποτέλεσμα η κάλυψη της ανάγκης για τροφή να πραγματοποιείται όλο και πιο δύσκολα σε ολόκληρο τον πλανήτη. Ακόμα, η παγκόσμια αύξηση της θερμοκρασίας, που έχει αρχίσει να ταλανίζει τον πλανήτη εδώ και δεκαετίες (και θα συνεχίσει στο μέλλον), συρρικνώνει τις εύκρατες και γόνιμες περιοχές, κάνοντας τις καλλιέργειες ασύμφορες στον παραγωγό, λόγω του μεγάλου κόστους και του μικρού κέρδους. Επίσης, το εισοδηματικό χάσμα ανάμεσα σε πλούσιες και φτωχές χώρες, θα οδηγήσει σύντομα την ανθρωπότητα σε επισιτιστική κρίση με δραματικές συνέπειες.

Για να μπορέσουμε να ανταπεξέλθουμε στις περιστάσεις των νέων εποχών, θα πρέπει να στοχεύσουμε σε καινοτόμες ιδέες, που θα παρουσιάζουν θετικό αντίκτυπο, τόσο σε κοινωνικό-οικονομικό επίπεδο, όσο και περιβαλλοντικό επίπεδο με τη χρήση Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας .



Σχήμα 1.1: Εκτίμηση του παγκόσμιου πληθυσμού κατά τα έτη 1950-2050 και πρόβλεψη για τα έτη 2000-2050

Πηγή: United Nations Department of Economic and Social Affairs.



**Σχήμα 1.2** Γράφημα και εκτίμηση της παγκόσμιας αύξησης της θερμοκρασίας (περίοδος 1860-2100). **Πηγή:** [www.futuretimeline.net](http://www.futuretimeline.net).

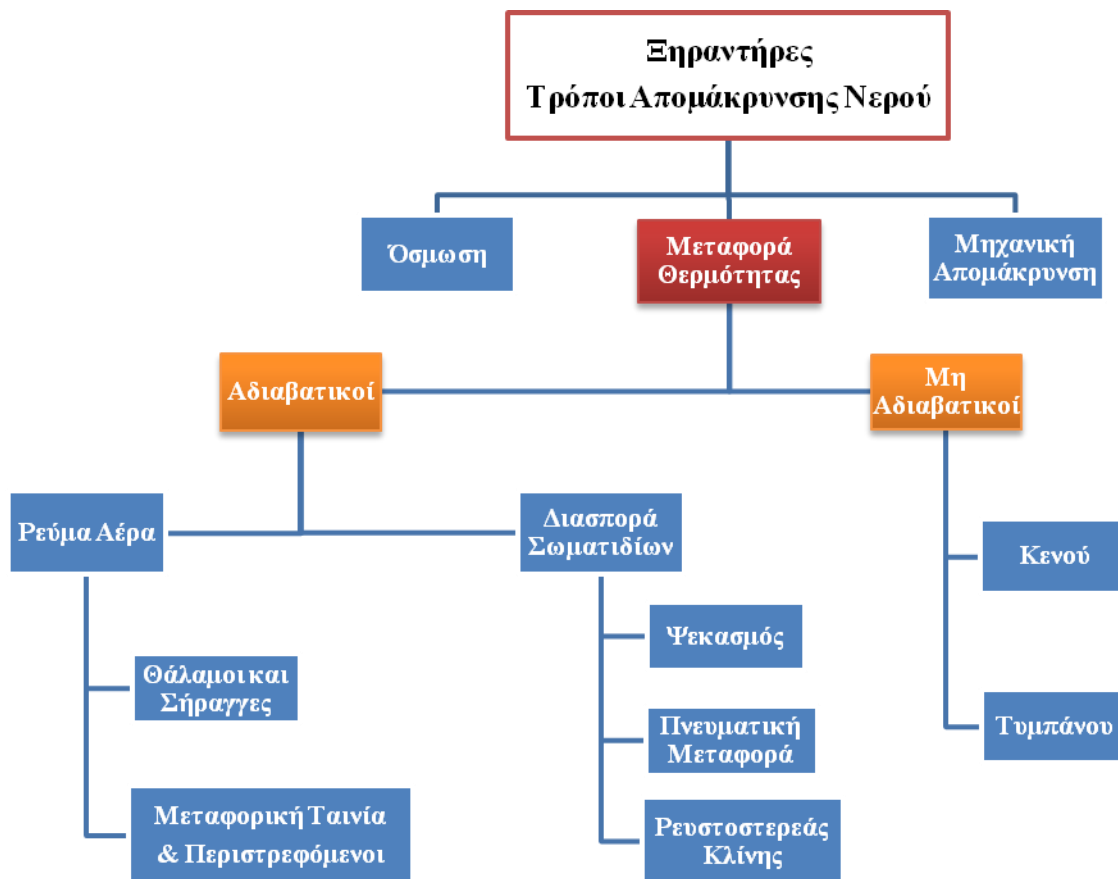
Με τον όρο ξήρανση (drying) των τροφίμων, αναφερόμαστε στην κατεργασία απομάκρυνσης της υγρασίας (νερό) από τα τρόφιμα με την διαδικασία της εξάτμισης. Η ξήρανση είναι μια από τις πιο αρχαίες μεθόδους συντήρησης διάφορων προϊόντων, όπως σπόροι, φρούτα, λαχανικά, βότανα, καπνά, ψάρια, κρέας, ξύλο και άλλων θρεπτικών τροφών και γεωργικών προϊόντων. Σήμερα η ξήρανση έχει αναπτυχθεί σε πολύ μεγάλο βαθμό, με ακόμα μεγαλύτερες προοπτικές ανάπτυξης στο μέλλον, που θα την καταστήσουν ως μια από τις απλούστερες και οικονομικότερες μεθόδους συντήρησης τροφών. Η χρήση των νέων τεχνολογιών και η Ηλιακή Ανανεώσιμη Ενέργεια μπορούν να συνθέσουν ένα υβριδικό Ξηραντήριο μεγάλης απόδοσης με εξαιρετικά μικρό κόστος για βιομηχανική παραγωγή ποιοτικών προϊόντων.

Τα συστήματα ξήρανσης επιλέγονται και αξιολογούνται με μια σειρά από κριτήρια, που τα καθιστούν αξιόπιστα. Αυτά είναι:

- Κόστος κατασκευής
- Κόστος λειτουργίας
- Κόστος συντήρησης
- Κλιματολογικές συνθήκες

- Περιβαλλοντικές επιπτώσεις
- Τεχνογνωσία
- Αυτονομία-Ευελιξία
- Απλή-Σύνθετη λειτουργία
- Αξιοπιστία
- Δυνατότητα Επέκτασης
- Τελική εμπορική αξία του προϊόντος

Η ξήρανση μέσω Μεταφοράς Θερμότητας είναι η προτιμότερη μέθοδος μείωσης της περιεκτικότητας της υγρασίας των τροφίμων έναντι όλων των υπόλοιπων μεθόδων. Στο παρακάτω σχήμα απεικονίζονται οι μέθοδοι Ξήρανσης.



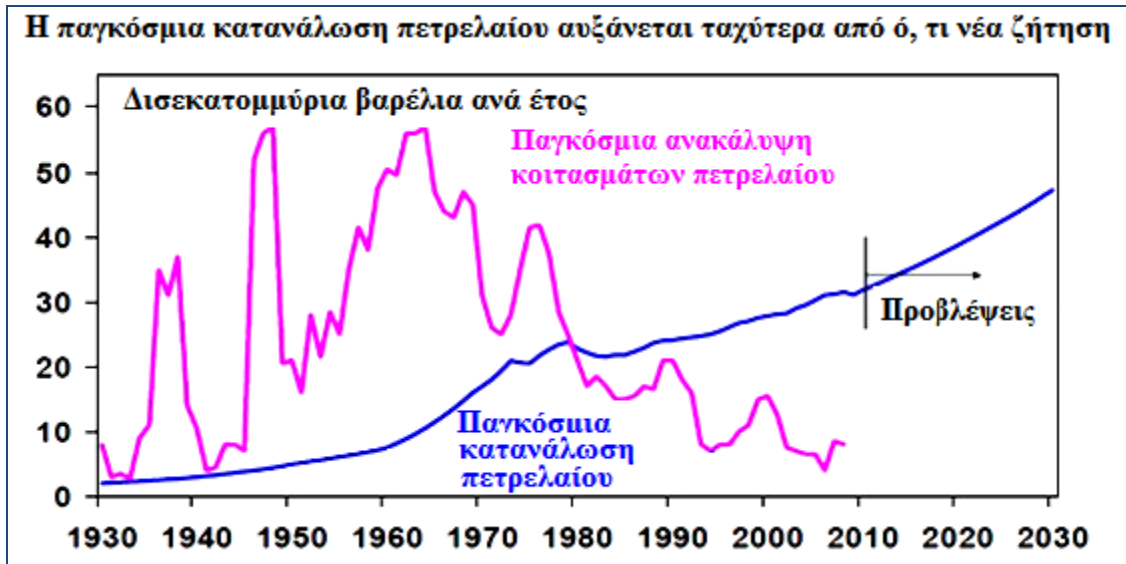
**Σχήμα 1.3:** Γραφική απεικόνιση κατηγοριών ξηραντήρων απομάκρυνσης νερού.

Πηγή: <http://www.foodbites.eu/>

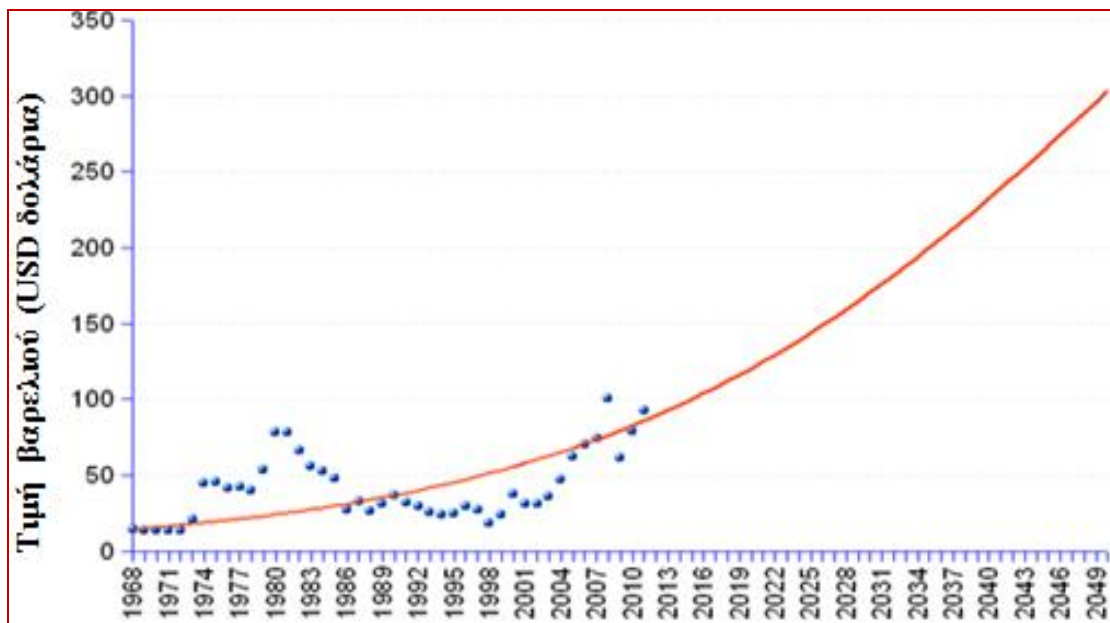
Οι ξηραντήρες Μεταφοράς Θερμότητας παρουσιάζουν σημαντικά μειονεκτήματα, που σχετίζονται με την πολύ μεγάλη ενεργειακή κατανάλωση. Η μεγάλη κατανάλωση καυσίμων (λιγνίτης, λιθάνθρακας diesel, μαζούτ, ορυκτέλαιο, κλπ) επιβαρύνει με επικίνδυνες χημικές ενώσεις (Οξείδια του



αζώτου (NOx), διοξείδια του θείου (SO<sub>2</sub>), μονοξειδία του άνθρακα( CO) και άλλα) την ατμόσφαιρα και κατ' επέκταση το έδαφος και τα ύδατα. Ακόμα, οι περιβαλλοντικές νομοθεσίες των κρατών γίνονται όλο και πιο αυστηρές για την καταπολέμηση της ρύπανσης. Επιπλέον οι τιμές των συμβατικών καυσίμων ενδέχεται να κλιμακωθούν τα επόμενα χρόνια.



**Σχήμα 1.4:** Στο παραπάνω διάγραμμα παρουσιάζονται ιστορικά στοιχεία & προβλέψεις της παγκόσμιας κατανάλωσης πετρελαίου ανά δεκαετία. (Μπλε γραμμή) και η παγκόσμια ανακάλυψη κοιτασμάτων πετρελαίου (σε δισεκατομμύρια βαρέλια) ανά δεκαετία(Κόκκινη γραμμή). **Πηγή:** International Monetary Fund 2013.



**Σχήμα 1.5:** Τιμή πετρελαίου (μπλε σημεία) / προβλέψεις (κόκκινη γραμμή) Brent ανά τριετία **Πηγή:** International Monetary Fund 2013.

## 1.2 Ωφελιμότητα και χρησιμότητα της ηλιακής ξήρανσης στην Ελλάδα.

Η Ελλάδα, αλλά και οι υπόλοιπες χώρες της Μεσογείου διακρίνονται, τόσο για το εύφορο έδαφός τους, όσο και για τον ζωοδότη ήλιο τους. Στη χώρα μας διαδραματίζει σημαντικό ρόλο, αφενός στην αγροτική οικονομία και αφετέρου στο χώρο του τουρισμού. Στον αγροτικό τομέα προσδίδει πολλαπλά οφέλη, που τον καθιστούν κινητήριο τροχό της υγιούς ανάπτυξης ποιοτικών φυτών και καλλιεργειών, όπου με τη σειρά τους δίνουν θέσεις εργασίας, τόσο στον τομέα της παραγωγής και της μεταποίησης, όσο και στο εμπόριο, συνεπώς οικονομική άνθηση και ευημερία.

Ο καινοτόμος σχεδιασμός ενός ηλιακού ξηραντήρα τροφών, που θα μπορούσε να συλλέγει την ηλιακή ακτινοβολία και να την μετατρέπει σε έργο (στην συγκεκριμένη περίπτωση θερμότητα), θα τοποθετούσε τα προϊόντα σε πιο υψηλή ποιότητα διεθνών προτύπων, αφού θα είχαν πολύ μικρές περιβαλλοντικές και οικολογικές επιπτώσεις. Ακόμα, ένας ηλιακός ξηραντήρας θα μπορούσε, να συμβάλλει στην οικολογική επεξεργασία των αστικών υγρών αποβλήτων, μετατρέποντας τα τελικά απόβλητα ενός βιολογικού καθαρισμού (ενεργός ιλύς) σε χρήσιμα εδαφοβελτιωτικά.

Στην Ελλάδα, η αποτελεσματική ξήρανση των προϊόντων είναι ιδιαίτερος σημαντική, καθώς τα αποξηραμένα φρούτα και όσπρια αποτελούσαν πάντοτε μια οικονομική πηγή για την ελληνική γεωργική οικονομία. Από τις αρχές του 19<sup>ο</sup> αιώνα έως το 1960 περίπου, η σταφίδα και τα σύκα ήταν κυρίαρχα εξαγωγικά προϊόντα της Ελλάδας, έπειτα η ανταγωνιστικότητα της χώρας υποχώρησε μαζί με τις εξαγωγές της.

Σήμερα, όλο και περισσότεροι νέοι αγρότες και καλλιεργητές επιλέγουν την εξωστρέφεια στις επιχειρήσεις τους, διαδραματίζοντας έτσι, ένα νέο λαμπρό και αναπτυξιακό μέλλον στην γεωργία. Οι νέες καλλιέργειες στοχεύουν σε αρωματικά/φαρμακευτικά φυτά, όπως η λεβάντα, ο καπνός, ο κρόκος, ο γλυκάνισος, η αλόη, τα μανιτάρια, η στέβια, το ιπποφαές και πολλά άλλα, καθώς και σε διάφορα φρούτα εξαιρετικής ποιότητας και διατροφικής αξίας, όπως φράουλες, δαμάσκηνα, ανανά, ακτινίδια, μύρτιλλο, φραγκοστάφυλα και αρκετά άλλα. Όλα τα προαναφερθέντα προϊόντα, πρέπει να περάσουν από το στάδιο της προ-ξήρανσης και ξήρανσης, έτσι, ώστε να φθάσουν στο τελικό σημείο της επεξεργασίας τους.

Στη συνέχεια ακολουθούν φωτογραφίες, οι οποίες παρουσιάζουν μερικούς τομείς για την ωφελιμότητα και χρηστικότητα της ηλιακής ξήρανσης στην Ελλάδα.

### *Φρούτα*

---



Ξήρανση φρούτων, με στόχο την μείωση του βάρους τους, μεγαλύτερη διάρκεια ζωής, αφαίρεση της υγρασίας (εξάλειψη μικροβίων) αποθήκευση ποσότητας σε περιόδους ανεπαρκούς ή μηδενικής παραγωγής.

### *Λαχανικά*

---



Ξήρανση λαχανικών, με στόχο την μείωση του βάρους τους, μεγαλύτερη διάρκεια ζωής, αφαίρεση της υγρασίας (εξάλειψη μικροβίων) αποθήκευση ποσότητας σε περιόδους ανεπαρκούς παραγωγής, δημιουργία ξηράς τροφής με υψηλή διατροφική αξία.

### *Καπνά και βότανα*

---



Ξήρανση καπνών και βοτάνων, με στόχο την μείωση του βάρους τους, μεγαλύτερη διάρκεια ζωής, αφαίρεση της υγρασίας (εξάλειψη μικροβίων) αποθήκευση ποσότητας σε περιόδους ανεπαρκούς ή μηδενικής παραγωγής, δημιουργία προϊόντων με υψηλή φαρμακευτική και χρηματική αξία.

### *Ξύλο και Βιομάζα*

---



Ξήρανση ξύλου και βιο-μάζας, με στόχο την μείωση του βάρους τους, αφαίρεση της υγρασίας (εξάλειψη μορίων νερού) αποθήκευση ποσότητας σε περιόδους ανεπαρκούς ή μηδενικής παραγωγής, δημιουργία ανανεώσιμων πηγών ενέργειας (πελλετοποίηση οργανικής ύλης και καύση).

### *Αλάτι*

---



Ξήρανση-δημιουργία αλυκών, με στόχο την εξάτμιση θαλάσσιου νερού με την επίδραση της θέρμανσης από τον ήλιο και τον αέρα. Η παραγωγή του αλατιού αποφέρει μεγάλα κέρδη, αφού το αλάτι χρησιμοποιείται καθημερινά στην χημική βιομηχανία, βιομηχανία αλιπάστων, στην μαγειρική.

### *Θρεπτικά Στοιχεία*

---



Ξήρανση και δημιουργία «σκόνης» θρεπτικών στοιχείων, μέσω της διαδικασίας της ξήρανσης με ψεκασμό, με στόχο της μείωση της υγρασίας σε ποσοστά κάτω του 14% κ.β τεράστια εφαρμογή στην φαρμακοβιομηχανία, στη βιομηχανία γάλακτος και τυριών, βιομηχανία τροφίμων και παραγωγής αφρώδους ξύλου (φελλού),στην παραγωγή κονιαμάτων.

### *Ελαιουργικά απόβλητα*

---



Ξήρανση των ελαιουργικών αποβλήτων, με στόχο τα ποσοστά της υγρασίας να είναι μικρότερα του 18% κ.β. ώστε να καταστούν στερεά καύσιμα, εδαφοβελτιωτικά και ζωοτροφές, αφαίρεση των πολυφαινόλων και δημιουργία “Super Foods” και φαρμάκων με εξαιρετικά μεγάλο κέρδος.

## 2. Ηλιακή ξήρανση.

### 2.1 Τι είναι η ηλιακή ξήρανση και ποια η σημασία της.

Κατά τη διάρκεια της ηλιακής ξήρανσης, το ποσό θερμότητας που απαιτείται για την απόσβεση-εξάλειψη της υγρασίας από τα στερεά προϊόντα (φυτικές ίνες) παρέχεται μέσω της ηλιακής ακτινοβολίας, η οποία μετατρέπεται σε θερμική ενέργεια. Η εξελιγμένη λύση της αρχαίας και παραδοσιακής φυσικής ηλιακής ξήρανσης είναι ο σχεδιασμός και η χρήση ξηραντήριων και κλινών αποξήρανσης, που χρησιμοποιούν την ηλιακή ακτινοβολία ως «γεννήτρια» θερμότητας. Η ηλιακή ακτινοβολία είναι μια ακόρεστη, ανανεώσιμη και αστείρευτη πηγή ενέργειας, όπου στη χώρα μας αλλά και στη Μεσόγειο εμφανίζει πολλά πλεονεκτήματα. Επιπρόσθετα, η στόχευση σε καινοτόμες κατασκευές με βάση τις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας αξιολογείται θετικά και η ηλιακή ξήρανση εκμεταλλεύεται την ενέργεια του ήλιου.

Η ηλιακή ξήρανση δεν μπορεί να αποδώσει, αλλά ούτε και να εφαρμοστεί κάτω από οποιοσδήποτε συνθήκες και περιοχές. Όπου μπορεί να εφαρμοστεί, συχνά, αποτελεί την οικονομικά αποδοτικότερη



τεχνική ξήρανσης. Ο σωστός και εργονομικός σχεδιασμός ενός ηλιακού ξηραντήρα, μπορεί να υπερκαλύψει τις προσδοκίες της ξήρανσης των προϊόντων, χωρίς κάποια άλλη εφεδρική πηγή ενέργειας. Με τον σχεδιασμό ηλιακών ξηραντήριων που συνάδουν με τις αξιώσεις μια παραγωγής, το κόστος της κατασκευής αλλά και η εφαρμογή της σε διαφορετικά προϊόντα (ευρύ φάσμα δυνατοτήτων), δημιουργούν νέες προκλήσεις στην ανάπτυξη ενός αποδοτικού (οικονομικά και ποιοτικά) βιώσιμου ηλιακού ξηραντήρα. Σ' αυτό συντελεί το γεγονός, η συγκομιδή για τα περισσότερα γεωργικά προϊόντα, που περνούν από την διεργασία της ξήρανσης, πραγματοποιείται κατά τη διάρκεια της άνοιξης και του καλοκαιριού, όπου στην χώρα μας η ηλιακή ακτινοβολία είναι εξαιρετικά καλή.

Συνεπώς, η ιδέα ενός ηλιακού ξηραντήρα αγροτικών προϊόντων (και όχι μόνο), χαμηλού κόστους και μεγάλης αποδοτικότητας, θα είναι ιδιαίτερα ελκυστική σε ανθρώπους που ασχολούνται ή θα ασχοληθούν με την γεωργία.

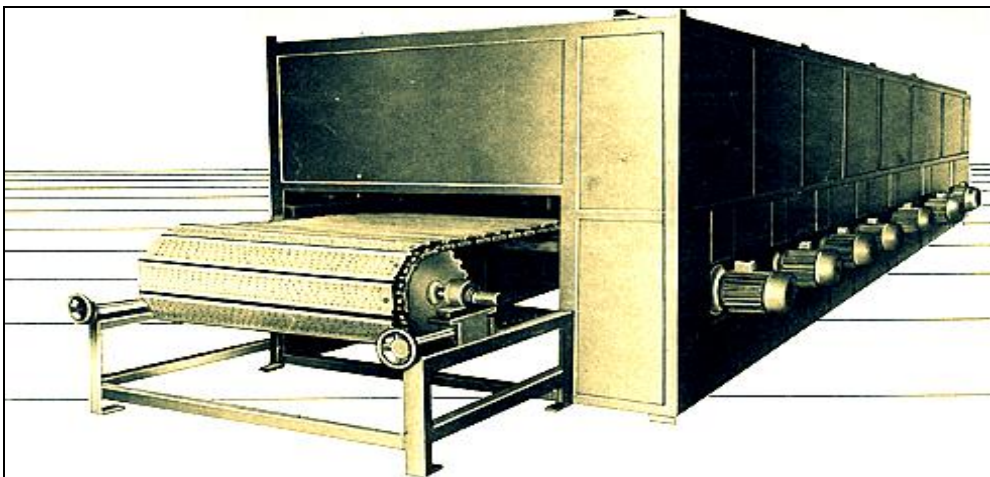
## 2.2 Σύγκριση ηλιακής ξήρανσης με άλλες μεθόδους.

### 2.2.1 Βιομηχανική ξήρανση.

Η βιομηχανική ξήρανση είναι ο πλέον διαδεδομένος τρόπος μαζικής ξήρανσης αυτή τη στιγμή. Η επιλογή ανάμεσα στη χρήση της ηλιακής ακτινοβολίας ή κάποιου άλλου συμβατικού καύσιμου (πετρέλαιο, ηλεκτρική ενέργεια, και άλλα) εξαρτάται από μερικούς παράγοντες. Αυτοί είναι:

- Το κόστος του προϊόντος που θα περάσει από την διεργασία της αφυδάτωσης.
- Το αρχικό κόστος της επένδυσης (κόστος εξοπλισμού και άλλα)
- Το κόστος λειτουργίας και το κόστος συντήρησης του ξηραντήριου.
- Η δυνατότητα επέκτασης της συνολικής παραγωγής.
- Οι προδιαγραφές της ποιότητας του τελικού προϊόντος.
- Η τελική τιμή πώλησης του ξηραίνόμενου προϊόντος.

Ωστόσο, η βιομηχανική ξήρανση αποτελεί τον καλύτερο δυνατό έλεγχο της διαδικασίας της ξήρανσης και δεν επηρεάζεται από τις μεταβολές των καιρικών φαινομένων και της ηλιακής ακτινοβολίας και αυτό οφείλεται στους υψηλής τεχνολογίας αισθητήρες και αυτοματισμούς. Παρόλα αυτά η βιομηχανική ξήρανση προεκβάλλει και αρκετά μειονεκτήματα. Μερικά από αυτά είναι:



**Σχήμα 2.1:** Βιομηχανικός ξηραντήρας μεταφορικής ταινίας (Conveyor dryer).

**Πηγή:** Buss-SMS Canzler.

- Μεγάλο κόστος αρχικής επένδυσης.
- Εξαρτημένη πηγή ενέργειας.

- Ανάγκη για μεγάλες ποσότητες καυσίμου ή ηλεκτρικής ενέργειας για την αποδοτική λειτουργία της μονάδας ξήρανσης.
- Υψηλές εκπομπές αέριων ρύπων, όπως CO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub>, SO<sub>x</sub> και άλλων επικίνδυνων ουσιών για την ανθρώπινη υγεία και το περιβάλλον.
- Εξάρτηση από εξειδικευμένους τεχνικούς για τη λειτουργία και την συντήρηση του ηλεκτρομηχανολογικού εξοπλισμού, καθώς και των αυτοματισμών της μονάδας ξήρανσης.
- Σειρά από γραφειοκρατικές πράξεις και ελέγχους, που δημιουργούν μείωση του παραγωγικού χρόνου της μονάδας ξήρανσης.

### 2.2.2 Φυσική ξήρανση.

Η ηλιακή ξήρανση με φυσικό τρόπο συντελεί ακόμα και σήμερα έναν πολύ συχνά διαθέσιμο τρόπο συντήρησης των τροφών και ιδίως σε μέρη όπου η ηλιακή ακτινοβολία και οι καιρικές συνθήκες παρουσιάζουν τις κατάλληλες ιδιότητες και συνέχεια. Ακόμα η φυσική ξήρανση είναι διαδεδομένη κυρίως στις αναπτυσσόμενες χώρες του κόσμου, για τον λόγο ότι δεν υπάρχει δυνατότητα κατασκευής είτε κανονικών ξηραντήριων είτε υβριδικών ξηραντήριων (ξηραντήριο που βασίζεται κυρίως σε ανανεώσιμη ενέργεια και εμμέσως μιας συμβατικής πηγής). Η παραδοσιακή αυτή πρακτική όμως, εμφανίζει και κάποια μειονεκτήματα. Μερικά από αυτά είναι:

- Πολύ μεγάλες επιφάνειες ξήρανσης.
- Καταστροφή μεγάλου ποσοστού της παραγωγής από έντομα, τρωκτικά, πουλιά και άλλα ζώα της εξοχής.
- Ολική καταστροφή της παραγωγής από καιρικά φαινόμενα και ανάπτυξη μικροοργανισμών.
- Μόλυνση της παραγωγής από σκόνη, ρύπανση και ανεπιθύμητα οργανικά προϊόντα.
- Υψηλές δαπάνες εργατικού κόστους και συντήρησης.
- Επιπλέον απώλειες από την παραγωγή λόγω της ανεπαρκούς ή μη ομοιόμορφης ξήρανσης του προϊόντος.
- Μεγάλο κόστος και απώλειες από την αποθήκευση.
- Υποβάθμιση του τελικού προϊόντος με αποτέλεσμα μικρότερη τιμή πώλησης.

### 2.2.3 Υπεροχή και περιορισμοί της ηλιακής ξήρανσης.

Τα σημαντικότερα οφέλη που εμφανίζονται με την χρήση της ηλιακής ξήρανσης και την καθιστούν ως μια αξιόπιστη και ανταγωνίσιμη μέθοδο συντήρησης είναι:

- Δίνει τη δυνατότητα να μειωθεί η περιεκτικότητα της υγρασίας στα επιθυμητά επίπεδα, χωρίς καμία αλλοίωση των ιδιοτήτων του υλικού. Αντιθέτως, βελτιώνει την ποιότητα των προϊόντων.
- Τα προϊόντα που έχουν επεξεργαστεί με την μέθοδο της ηλιακής ξήρανσης, αναγνωρίζονται ως ανώτερα προϊόντα σε σχέση με αυτά που έχουν υποστεί βιομηχανική ξήρανση.
- Ο χρόνος ξήρανσης μπορεί να περιοριστεί σημαντικά σε σχέση με την φυσική ξήρανση.
- Η ηλιακή ενέργεια που χρησιμοποιείται, είναι μια ανανεώσιμη, αστείρευτη, ελεύθερη και μη ρυπογόνα (οικολογική) πηγή ενέργειας.
- Εξοικονόμηση της περιόδου συγκομιδής, κάτι που επιτρέπει στο έδαφος και στον παραγωγό να προετοιμαστούν για την επόμενη καλλιέργεια. Η αγρανάπαυση είναι ο καλύτερος και αποδοτικότερος τρόπος για να βελτιωθεί η ικανότητα και οι ιδιότητες του εδάφους ώστε να παράγει.
- Σημαντικά κέρδη από τη χρήση του ηλιακού ξηραντήρα, αφού δεν θα υπάρχει ο ανεφοδιασμός του με συμβατικά ακριβά καύσιμα.
- Πολύ μικρό κόστος επένδυσης για μεγάλη παραγωγή αγροτικών προϊόντων.
- Συμπληρωματικές δαπάνες για την βελτίωση και την ανάπτυξη των ηλιακών ξηραντήριων, μπορούν να αποσβεστούν από τα αυξανόμενα κέρδη.
- Δυνατότητα παραγωγής με συνεχόμενο ανανεώσιμο φρέσκο αέρα, που καθιστούν την παραγωγή πιο υγιεινή, καθώς δεν ευνοείται η παρουσία και η ανάπτυξη μικροοργανισμών ή άλλων πτητικών οσμών (diesel, λιπαντικά, κλπ).

Εκτός όμως από τα παραπάνω οφέλη και πλεονεκτήματα η μέθοδος της ξήρανσης από την ηλιακή ενέργεια εμφανίζει και κάποιες δυσκολίες. Με την εξέλιξη της τεχνολογίας, των αυτοματισμών και των ηλεκτρομηχανολογικών εξαρτημάτων, οι δυσκολίες αυτές μπορούν να υπέρ- νικηθούν. Τα κυριότερα μειονεκτήματα είναι τα εξής:

- Τα ηλιακά ξηραντήρια μπορούν να χρησιμοποιηθούν μόνο όταν η ηλιακή ακτινοβολία είναι υψηλή και κατά προτίμηση σε χώρες που βρίσκονται



στη Μεσόγειο (γενικότερα στις Εύκρατες κλιματολογικές Ζώνες), όπου οι κλιματολογικές συνθήκες ευνοούν την περίοδο ξήρανσης λόγω μεγάλης διάρκειας, ώστε το μοντέλο του ηλιακού ξηραντήρα να κριθεί οικονομικά αποδοτικό.

- Η ηλιακή ακτινοβολία παρουσιάζει περιοδικότητα, με αποτέλεσμα να δημιουργούνται προβλήματα με την ένταση της ηλιακής ακτινοβολίας, η οποία είναι μια μεταβλητή λειτουργία που σχετίζεται με το χρόνο. Για το λόγο αυτό, απαιτείται η ύπαρξη συστημάτων ελέγχου.
- Αυτή η δυσκολία, μπορεί να παρακαμφθεί είτε με τη δημιουργία μιας δεξαμενής θερμότητας, είτε με την τοποθέτηση μια βοηθητικής συμβατικής πηγής ενέργειας. Κάτι τέτοιο όμως θα ανέβαζε το κόστος της επένδυσης, καθώς και τα λειτουργικά έξοδα, αφού θα έπρεπε να υπάρχει μια σειρά από νέες διεργασίες (προσωπικό εξειδικευμένο σε συστήματα αυτομάτου ελέγχου, εξοπλισμός αισθητήρων και αυτοματισμών παραγωγής, εναλλάκτες για την αποθήκευση θερμότητας, περισσότεροι ηλιακοί συλλέκτες, μεγαλύτερη επιφάνεια εγκατάστασης).
- Μικρή προβλεψιμότητα των καιρικών φαινομένων (νεφώσεις, ηλιοφάνεια, καταιγίδες, κτλ) και κατ' επέκταση ανεπαρκής προσδιορισμός ποιοτικών & ποσοτικών δεδομένων.
- Ακόμα, ένα μειονέκτημα που εμφανίζεται στα ηλιακά συστήματα, είναι η *“μικρή πυκνότητα ενέργειας”*. Ενεργειακή πυκνότητα είναι το ποσό ενέργειας που αποθηκεύεται (πιθανή ενέργεια) σε ένα δεδομένο σύστημα ή μια περιοχή του διαστήματος ανά μονάδα όγκου της εγκατάστασης.

### **2.3 Ηλιακή ξήρανση και προ-ξήρανση.**

Προ-ξήρανση ονομάζεται η μερική αφαίρεση της υγρασίας ενός υλικού, η οποία πραγματοποιείται κάτω από συγκεκριμένες διαδικασίες και τακτικές για ορισμένο χρονικό διάστημα. Η προ-ξήρανση γίνεται μέχρι ένα ορισμένο ποσοστό υγρασίας, πριν το προϊόν αυτό εισαχθεί σε ένα ξηραντήριο για την τελική ξήρανση. Ο βασικός στόχος για την προ-ξήρανση είναι να μειωθεί ο απαιτούμενος χρόνος παραμονής του προϊόντος στο ξηραντήριο, έτσι ώστε να αυξηθεί η συνολική δυναμικότητα του ξηραντήριου με ταυτόχρονη μείωση των λειτουργικών εξόδων, του χρόνου ξήρανσης και του χρόνου απόσβεσης της επένδυσης.

Η ξήρανση με τη βοήθεια της ηλιακής ενέργειας, μπορεί να χρησιμοποιηθεί σαν μια διεργασία προ-επεξεργασίας για ένα προϊόν, πριν αυτό

περάσει στην τελική ξήρανση. Με αυτόν τον τρόπο, η ξήρανση γίνεται σε πιο γρήγορους ρυθμούς. Ακόμα, η εναλλαγή του προϊόντος από την κατάσταση προ-ξήρανσης σε ξήρανση, ευνοεί τις χημικές ιδιότητες του υλικού, με αποτέλεσμα το τελικό προϊόν να παρουσιάζεται πιο ποιοτικό.

Με την διεργασία της προ-ξήρανσης εμφανίζονται θετικές τόσο σε περιβαλλοντικές όσο και σε οικονομικές επιπτώσεις. Αρχικά, με την προ-ξήρανση μέσω ηλιακής ακτινοβολίας, το προϊόν εξαρτάται λιγότερο από τις περιβαλλοντικές συνθήκες, αφού θα υποστεί συγκεκριμένες μεταβολές στις ιδιότητές του για ορισμένο χρονικό διάστημα. Κάτι που επιτρέπει την μερική πρόβλεψη των περιβαλλοντικών συνθηκών.

Τέλος, η διεργασία της προ-ξήρανσης μπορεί να καταστεί οικονομική, εάν το κόστος ξήρανσης ανά μονάδα όγκου είναι χαμηλότερο στην προ-ξήρανση απ' ό,τι στο ξηραντήριο, καθώς και αν ο ρυθμός ξήρανσης στην προ-ξήρανση του προϊόντος μπορεί να προσεγγίσει αυτόν του ξηραντηρίου στην περιοχή υγρασίας που πραγματοποιείται.

Αξίζει να σημειωθεί ότι πολλά προϊόντα και υλικά περνούν και από τα 2 στάδια επεξεργασίας (προ-ξήρανση και ξήρανση). Μερικά από αυτά είναι: το ξύλο, τα κεραμικά, τα ζυμαρικά, τα δημητριακά, ο καπνός, τα φρούτα και λαχανικά και άλλα.

## **2.4 Αναπόφευκτη χρήση των Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας.**

### **2.4.1 Τι είναι οι Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας.**

Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας (ΑΠΕ) ή Ήπιες μορφές, ονομάζονται οι μορφές εκμετάλλευσης ενέργειας που προέρχονται από διάφορες φυσικές διαδικασίες, όπως ο άνεμος, η γεωθερμία, η ηλιακή ακτινοβολία, η κυκλοφορία του νερού και η βαρύτητα.

Ο όρος “ήπιες” αναφέρεται σε δυο βασικά χαρακτηριστικά τους. Αρχικά, για την εκμετάλλευση αυτής της ενέργειας δεν παρεμβαίνουμε με καταστροφικές ή χημικές διαδικασίες και τακτικές, παραδείγματος χάριν εξόρυξη, άντληση ή καύση, όπως με τις μέχρι τώρα χρησιμοποιούμενες πηγές ενέργειας, αλλά με την απευθείας εκμετάλλευση της ήδη υπάρχουσας ροής ενέργειας στη φύση (παραδείγματος χάριν, φωτοβολταϊκές κυψέλες, συγκεντρωτικά ηλιακά συστήματα, πτερύγια με γεωμετρικά χαρακτηριστικά και άλλα).

Καθώς δεύτερον, πρόκειται για **καθαρές μορφές ενέργειας**, πολύ φιλικές στο περιβάλλον, που δεν απελευθερώνουν ενώσεις του άνθρακα, ή τοξικά και ραδιενεργά απόβλητα, (που ευθύνονται για το φαινόμενο του θερμοκηπίου και πληθώρα καρδιοαναπνευστικών προβλημάτων), όπως οι υπόλοιπες πηγές ενέργειας που χρησιμοποιούνται σε μεγάλη κλίμακα. Έτσι η τεχνολογία των ΑΠΕ μπορεί να θεωρηθεί αφετηρία για την επίλυση των οικολογικών προβλημάτων που αντιμετωπίζει η Γη.

Ως “ανανεώσιμες πηγές” θεωρούνται γενικά οι εναλλακτικές των συμβατικών πηγών ενέργειας (του πετρελαίου ή της καύσης γαιανθράκων και άλλων), όπως η ηλιακή, η αιολική, η γεωθερμική ενέργεια, η ορμητική κίνηση των υδάτων και η διαφορά θερμοκρασίας των ωκεανών με τη θερμοκρασία της ατμόσφαιρας. Ο χαρακτηρισμός ανανεώσιμες δεν είναι ο ιδανικότερος, μιας και ορισμένες από αυτές τις πηγές, όπως η γεωθερμική ενέργεια δεν ανανεώνονται και πολύ εύκολα, καθώς απαιτείται χρονικό διάστημα ακόμη και χιλιετιών για την ανανέωσή της. Σε κάθε περίπτωση οι ΑΠΕ έχουν μελετηθεί ως λύση στο πρόβλημα της αναμενόμενης εξάντλησης των (μη ανανεώσιμων) αποθεμάτων ορυκτών καυσίμων.



**Εικόνα 2.1:** Δίλημμα ΑΠΕ- Συμβατικών μορφών ενέργειας.

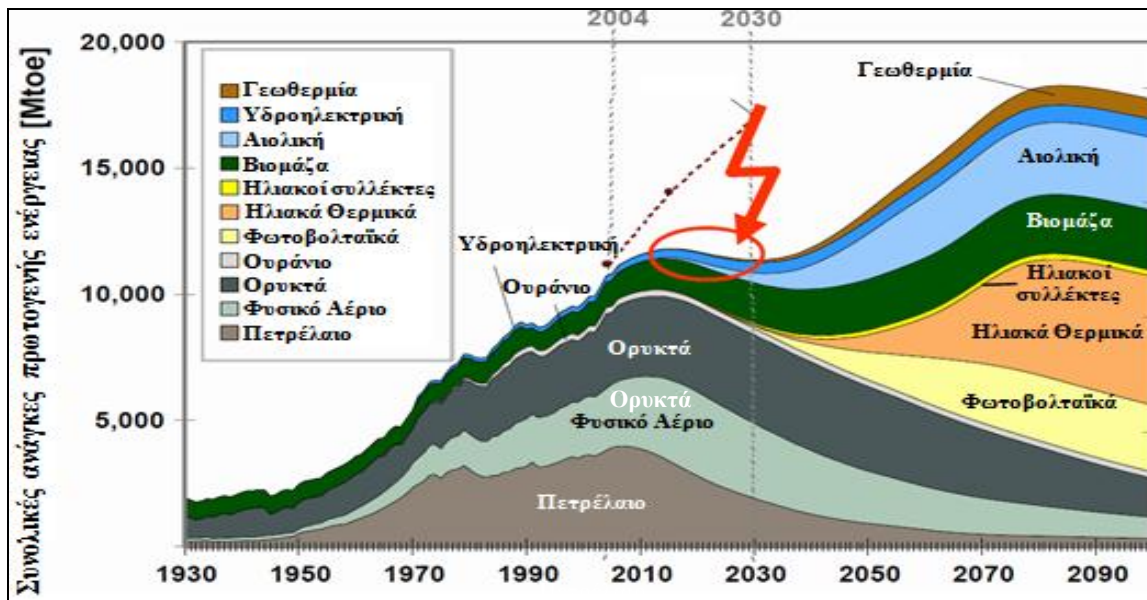
Πηγή: <http://www.standupforsolar.ca/>

#### **2.4.2 Μορφές Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας.**

Οι ανανεώσιμες πηγές ενέργειας εκπέμπουν περιορισμένα ή καθόλου αέρια που ευθύνονται για το φαινόμενο του θερμοκηπίου. Εμφανή πλεονεκτήματα είναι η δυνατότητα που δίνουν οι ανανεώσιμες πηγές για τη δημιουργία καταναμημένων δικτύων διανομής ηλεκτρικής ενέργειας. Για τις περισσότερες Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας δεν υπάρχει κόστος πρώτης ύλης, αλλά κόστος αξιοποίησης και εγκατάστασης. Ακόμα, το κόστος συντήρησης των ΑΠΕ είναι περιορισμένο, αφού τα προβλήματα και οι δυσκολίες που εμφανίζουν είναι προμελετημένα και σχεδιασμένα να εξαλείφονται από εξειδικευμένο προσωπικό συντηρητών και μελετητών.



**Σχήμα 2.2:** Ρυθμός Ανάπτυξης των ΑΠΕ στην Ελλάδα.  
Πηγή: ΔΕΗ Ανανεώσιμες.

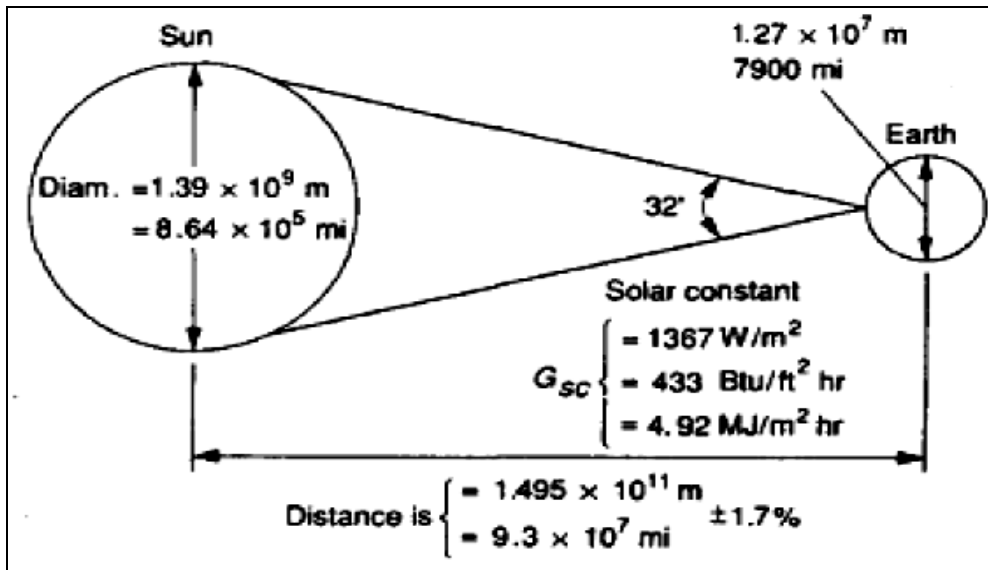


**Σχήμα 2.3:** Πρόβλεψη παγκόσμιας κατανομής ενεργειακού ισοζυγίου .  
Πηγή: International Energy Agency 2013.

Οι πιο γνώριμες και αξιοποιήσιμες μορφές ανανεώσιμων πηγών ενέργειας είναι:

- Ηλιακή ενέργεια.
- Αιολική ενέργεια.
- Υδροδυναμική ενέργεια –Υδατοπτώσεις.
- Βιομάζα.
- Γεωθερμική ενέργεια.
- Ενέργεια θαλασσίων κυμάτων – παλιρροιών. Θερμική Ενέργεια Ωκεανών.

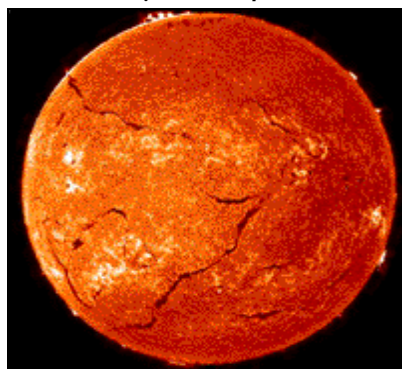
### 2.4.3 Ηλιακή ενέργεια



**Σχήμα 2.3:** Γεωμετρικά χαρακτηριστικά Γης – Ήλιου  
**Πηγή:** John A. Duffie & William A. Beckman 1980

Η ηλιακή ενέργεια είναι πρωτογενής, ήπια και ανανεώσιμη πηγή ενέργειας η οποία έμμεσα δίνει γένεση σε άλλες τρεις ήπιες και ανανεώσιμες πηγές ενέργειας, την υδραυλική, την αιολική και την ενέργεια της βιομάζας. Μια τεράστια ενέργεια ακτινοβολείται από τον ήλιο συνέχεια, χωρίς καμιά διακοπή. Αυτή η ενέργεια που αποτελείται από φως, θερμότητα σε διάφορα μήκη κύματος, ακτινοβολείται στο διάστημα και η ισχύς της φθάνει εκατοντάδες χιλιάδες δισεκατομμύρια κιλοβάτ.

Ο ήλιος, μια μεγάλη ενεργειακή πηγή του σύμπαντος, είναι ένας πυρηνικός αντιδραστήρας, όπου εκρήγνυνται αδιάκοπα τεράστιες ποσότητες (με την πυρηνική διάσπαση), όπου μετατρέπεται η μάζα τους σε ενέργεια (κάθε δευτερόλεπτο 657 εκατομμύρια τόνοι υδρογόνου και μεταβάλλονται σε 653 τόνους ηλίου). Η καύση αυτή είναι τόσο ισχυρή, ώστε κάθε τετραγωνικό μέτρο του ήλιου εκπέμπει περίπου 70.000 ίππους (HP) ενέργεια.



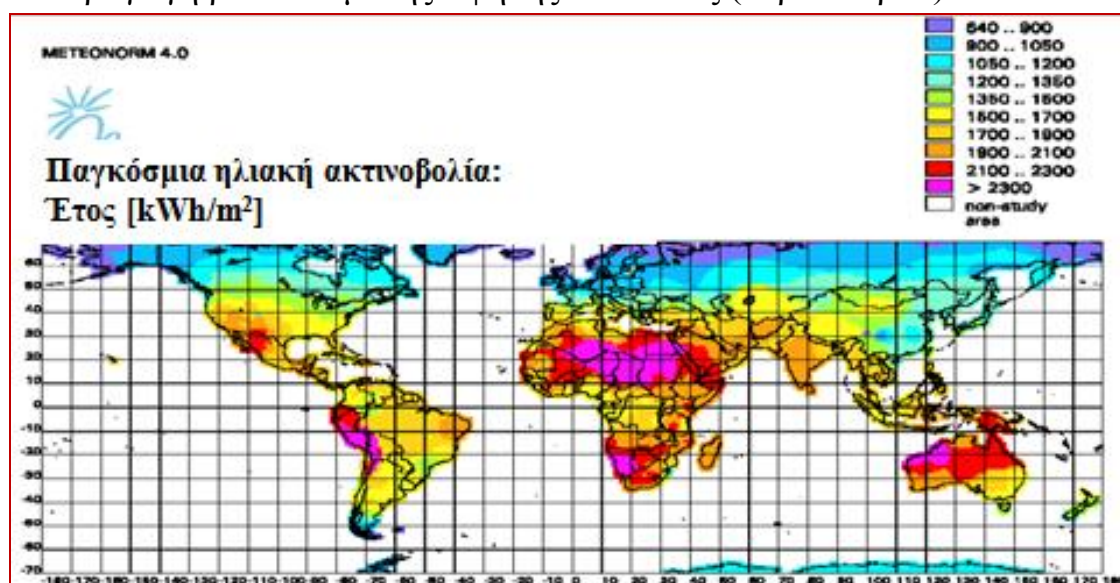
**Σχήμα 2.4:** Φωτογραφία Ήλιου με ψηφιακό φίλτρο.  
**Πηγή:** NASA 2013

Αξίζει να σημειωθεί ότι για να παραχθεί ενέργεια σ' αυτή την κλίμακα, θα πρέπει να κάψουμε κάθε δευτερόλεπτο περίπου 11 δισεκατομμύρια φορές την ετήσια παραγωγή της γης σε κάρβουνο.

Λόγω της περιστροφής της γης, η ηλιακή ακτινοβολία παρουσιάζει μια ιδιομορφία: η ενέργεια της παρουσιάζει μια μεγάλη χρονική διακύμανση, μεταξύ μιας μέγιστης τιμής κατά τη διάρκεια της ημέρας και της μηδενικής τιμής που προσλαμβάνει τη νύχτα. Επιπλέον, υπάρχει και μια σημαντική διακύμανση ανάλογα όχι μόνο με τη γεωγραφική θέση, αλλά και με την εποχή του έτους. Η ηλιακή ακτινοβολία που φθάνει στη γη, είναι διάχυτη και αραιή. Η συγκεντρωμένη ακτινοβολία που πέφτει σε 1 τετραγωνικό μέτρο έχει ισχύ 1 ίππο ή 750 Watt περίπου. Τα δύο αυτά χαρακτηριστικά, η χρονική διακύμανση και η αραιή πυκνότητα της ηλιακής ακτινοβολίας, είναι οι κύριες αιτίες για τη δημιουργία των προβλημάτων που εμφανίζονται στις πρακτικές εφαρμογές της μετατροπής είτε σε απευθείας ηλεκτρική ενέργεια, είτε σε θερμική ή και σε άλλες χρήσιμες μορφές.

Το μεγάλο πρόβλημα που σήμερα πρέπει να λυθεί, είναι η μεγιστοποίηση του ποσοστού των ενεργειακών αναγκών που μπορούν να καλυφθούν από τον ήλιο. Και γι' αυτό το σκοπό, η ηλιακή ενέργεια διακρίνεται σε δύο κατηγορίες.

1. Τη μετατροπή της ηλιακής ενέργειας σε ηλεκτρική (φωτοβολταϊκή μέθοδος ή μέσω παραγωγής υπέρθερμου ατμού ή μέσω θερμοηλεκτρικών στοιχείων).
2. Παραγωγή ρευστού μέσης-υψηλής ενθαλπίας (αέρα / νερού).



Σχήμα 2.5: Φωτογραφία κατανομής παγκόσμιας ηλιακής ακτινοβολίας.

Πηγή: Meteonorm 2013.

## 2.5 Οι μέθοδοι αξιοποίησης της ηλιακής ενέργειας.

### 2.5.1 Ενεργητικές μέθοδοι αξιοποίησης της ηλιακής ενέργειας.

Τα ενεργητικά ηλιακά συστήματα αποτελούν μηχανικές κατασκευές ικανές να συλλέγουν την ηλιακή ενέργεια, να τη μετατρέπουν σε αξιοποιήσιμη (θερμική, ψυκτική ή ηλεκτρική), να αποθηκεύουν τμήμα αυτής και να τη διανέμουν προς χρήση. Τα πλέον διαδεδομένα ενεργητικά ηλιακά συστήματα είναι οι Ηλιακοί Συλλέκτες για παραγωγή θερμού νερού χρήσης και τα Φωτοβολταϊκά πλαίσια (είδος ηλιακού συλλέκτη) για παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας μικρής ισχύος. Επίσης, στην κατηγορία αυτή περιλαμβάνονται οι Ηλιακοί Συλλέκτες Κενού, ο συνδυασμός τους με ψύκτες Προσρόφησης (Absorption Chillers) για κάλυψη ψυκτικών αναγκών και τα Ηλιακά Υψηλής Ενθαλπίας για άμεση παραγωγή Ηλεκτρικής ενέργειας με χρήση ατμοστροβίλων ή Οργανικών Κύκλων.

Η πιο διαδεδομένη χρήση ενεργητικών ηλιακών συστημάτων είναι για θέρμανση χώρων ή νερού, με το να συλλέγουν την ηλιακή ακτινοβολία σε χαμηλή θερμοκρασία (μικρότερη των 100°C) και να την μετατρέπουν σε θερμότητα. Τα ενεργητικά ηλιακά συστήματα μπορούν να χρησιμοποιηθούν οπουδήποτε απαιτείται θερμότητα χαμηλής θερμοκρασιακής στάθμης. Έτσι, η χρήση της ηλιακής ενέργειας για την παραγωγή ψύξης, για τον κλιματισμό χώρων και άλλες εφαρμογές, εμφανίζεται ως μία από τις πολλά υποσχόμενες προοπτικές, λόγω της αυξημένης ηλιακής ακτινοβολίας ακριβώς την εποχή που απαιτούνται τα ψυκτικά φορτία.

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

Με τη βοήθεια παραβολικών ανακλαστικών δίσκων, η ηλιακή ακτινοβολία μπορεί να συγκεντρωθεί στο εστιακό σημείο 600 ως 2000 φορές περισσότερο από τη συνήθη και η θερμοκρασία να ανέλθει στους 800 ως 1500 °C. Η θερμότητα που συλλέγεται με τις παραπάνω μεθόδους χρησιμοποιείται για την παραγωγή υπέρθερμου ατμού, ο οποίος κινεί μια ηλεκτρογεννήτρια. Έτσι με τα ενεργητικά ηλιακά συστήματα μπορούμε να παράγουμε και ηλεκτρική ενέργεια. Το βασικό δομικό στοιχείο των ενεργητικών ηλιακών συστημάτων είναι οι συλλέκτες.

### **2.5.2 Παθητικές μέθοδοι αξιοποίησης της ηλιακής ενέργειας.**

Με παθητικά συστήματα θέρμανσης (σωστός αρχιτεκτονικός σχεδιασμός, προσανατολισμός, θερμική μόνωση, διάταξη των δομικών όγκων, κατάλληλα δομικά υλικά) ένα σπίτι-μια κατασκευή (Ξηραντήριο) μπορεί να καλύπτει μεγάλο μέρος (ακόμη και 80-100%) των αναγκών του. Τα πιο βασικά στοιχεία στη δομή του ηλιακού παθητικού συστήματος είναι:

- νότια προσανατολισμένο υαλοστάσιο, για συλλογή και παγίδευση της ηλιακής ακτινοβολίας.
- συμπαγείς όγκοι υλικών με σχετικά μεγάλη θερμοχωρητικότητα για την αποθήκευση της θερμότητας που παγιδεύτηκε.

Ένας άλλος τρόπος είναι η αξιοποίηση της ηλιακής ενέργειας στα θερμοκήπια. Τα κυριότερα πλεονεκτήματα της ηλιακής ενέργειας είναι.

- Ανανεώσιμη και ελεύθερα διαθέσιμη πηγή.
- Ικανοποιητική απόδοση μετατροπής.
- Δεν ρυπαίνεται το περιβάλλον.
- Εύκολες και οικονομικές κατασκευές για την αξιοποίησή της.

Και τα κυριότερα μειονεκτήματα είναι.

- Υψηλό κόστος κατασκευής των ηλιακών στοιχείων.
- Δαπανηρή αποθήκευση της παραγόμενης ηλεκτρικής ενέργειας.
- Απαιτείται η χρήση μεγάλων επιφανειών.
- Μικρή ενεργειακή πυκνότητα.

## **2.6 Άλλες μορφές ανανεώσιμης ενέργειας**

### **2.6.1 Αιολική ενέργεια**

Η αιολική ενέργεια δημιουργείται έμμεσα από την ηλιακή ακτινοβολία, καθώς η ανομοιόμορφη θέρμανση της επιφάνειας της γης προκαλεί τη



μετακίνηση μεγάλων μαζών αέρος από τη μια περιοχή στην άλλη, δημιουργώντας έτσι τους ανέμους. Είναι μια ήπια μορφή ενέργειας, φιλική προς το περιβάλλον, πρακτικά ανεξάντλητη, γι' αυτό και είναι ανανεώσιμη. Υπολογίζεται ότι στο 25% της επιφάνειας της γης επικρατούν άνεμοι μέσης ετήσιας ταχύτητας πάνω από 5,1 m/sec, σε ύψος 10 m πάνω από το έδαφος. Όταν οι άνεμοι πνέουν με ταχύτητα μεγαλύτερη από αυτή την τιμή, τότε το αιολικό δυναμικό του τόπου θεωρείται εκμεταλλεύσιμο και οι απαιτούμενες εγκαταστάσεις μπορούν να καταστούν οικονομικά βιώσιμες, σύμφωνα με τα σημερινά δεδομένα.

Το κόστος κατασκευής των ανεμογεννητριών έχει μειωθεί σημαντικά και μπορεί να θεωρηθεί ότι η αιολική ενέργεια διανύει την πρώτη περίοδο ωριμότητας, καθώς είναι πλέον ανταγωνιστική των συμβατικών μορφών ενέργειας. Η χώρα μας διαθέτει εξαιρετικά πλούσιο αιολικό δυναμικό και η αιολική ενέργεια μπορεί να γίνει σημαντικός μοχλός ανάπτυξής της.



**Σχήμα 2.6:** Αιολικό πάρκο παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας.

Πηγή: [www.eeee.gr](http://www.eeee.gr)

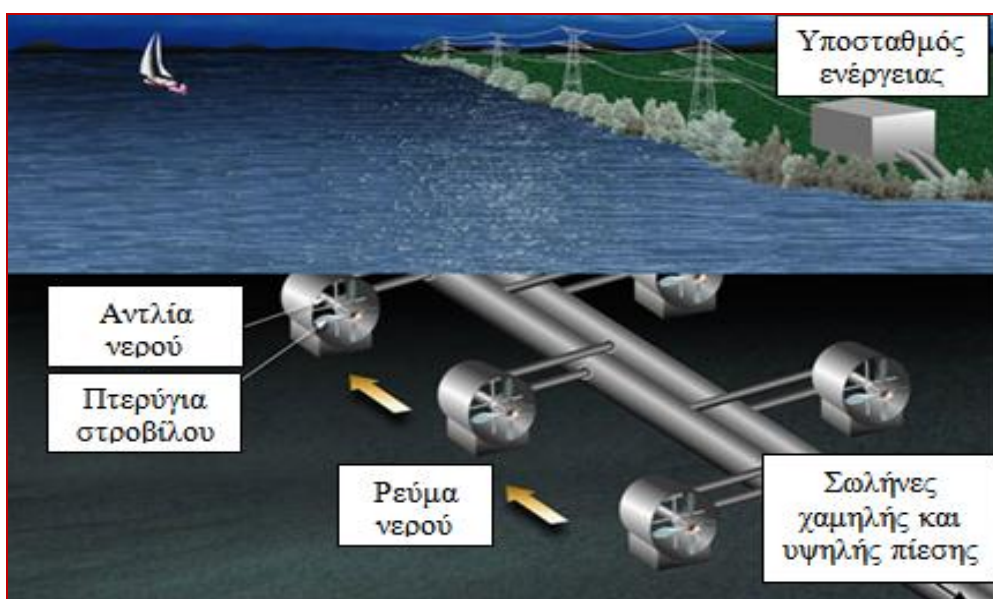
### 2.6.2 Υδροδυναμική ενέργεια-Υδατοπτώσεις

Υδροδυναμική ενέργεια ονομάζεται η ενέργεια που παράγεται από τη δύναμη και την ορμή του νερού. Ο πιο διαδεδομένος τρόπος χρήσης της, είναι μέσω των υδατοπτώσεων αλλά και των φραγμάτων. Μεγάλη προσπάθεια γίνεται τα τελευταία χρόνια για επενδύσεις σε συστήματα που θα εκμεταλλεύονται την ενέργεια των κυμάτων της θάλασσας, αλλά και των παλιρροιών. Η υδροδυναμική ενέργεια είναι μια καθαρή, ανεξάντλητη και ανανεώσιμη πηγή ενέργειας, που δεν μολύνει το περιβάλλον και παρέχεται από τη φύση με περίσσεια.

Οι υδατοπτώσεις προκαλούνται από τη βαρύτητα με τη μεταφορά του ύδατος από ένα σημείο με μεγαλύτερο υψόμετρο σε ένα με χαμηλότερο. Αυτό το φαινόμενο είναι μέρος του κύκλου του νερού του οποίου η κινητήριος δύναμη προέρχεται από τον ήλιο. Η αύξηση της θερμοκρασίας σε θάλασσες και λίμνες, αναγκάζει το νερό να εξατμιστεί στην ατμόσφαιρα και να μεταφερθεί

μέσω των ανέμων σε περιοχές με μεγαλύτερο υψόμετρο. Σε αυτές τις περιοχές μέσω της συμπύκνωσης πέφτουν βροχές και χιόνια τα οποία δημιουργούν τους ποταμούς. Τα ποτάμια είναι η μετατροπή της δυναμικής ενέργειας του νερού σε κινητική και είναι αυτή η ενέργεια που χρησιμοποίησε ο άνθρωπος από τα αρχαία χρόνια για να καλύψει τις ανάγκες του. Η νεροτριβή χρησιμοποιείται ακόμα και τώρα σε ορεινές περιοχές για το πλύσιμο μεγάλων υφασμάτων, οι υδραυλικοί τροχοί με απόδοση που μπορεί να φτάσει και το 90% έδωσαν κίνηση σε νερόμυλους για το άλεσμα του σιταριού, αλλά και για τη κίνηση διάφορων υδροκίνητων μηχανών όπως πχ. των μπαρουτόμυλων, μηχανών κλωστοϋφαντουργίας, νεροπρίονων κ.α. Τα γνωστά σε όλους υδροηλεκτρικά εργοστάσια βασίζονται στην αρχή των υδραυλικών τροχών, αλλά με τη διαφορά ότι τη θέση του τροχού καταλαμβάνει ο υδροστρόβιλος που μεταφέρει τη κινητική του ενέργεια στην ηλεκτρογεννήτρια.

Ο συγκεκριμένος τρόπος παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας είναι εκτός από πολύ αποδοτικός, αλλά και καθαρός, διότι έχει μηδενικές εκπομπές ρύπων αφού δεν εξαρτάται από ορυκτά καύσιμα. Είναι μια αξιόπιστη τεχνολογία με χαμηλά κόστη συντήρησης, μεγάλη διάρκεια ζωής και ποιοτική παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας. Η ανάγκη της αδιάλειπτης τροφοδοσίας των υδροηλεκτρικών εγκαταστάσεων με νερό, μας ανάγκασε στη δημιουργία των φραγμάτων. Τα φράγματα είναι ο φυσικός ταμιευτήρας νερού, κατασκευάζεται σε σημεία που υπάρχουν ποταμοί και η μορφολογία του εδάφους το επιτρέπει. Επίσης βοηθούν στον έλεγχο των ποταμών με τον έλεγχο της ροής που τα διασχίζει, άρα μπορούν να αποφευχθούν πλημμύρες σε περιόδους έντονων βροχοπτώσεων.



Σχήμα 2.7: Υδροδυναμικό πάρκο παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας.

Πηγή: <http://climate.nasa.gov>

### 2.6.3 Βιομάζα

Με τον όρο βιομάζα αποκαλείται οποιοδήποτε υλικό παράγεται από ζωντανούς οργανισμούς (όπως είναι το ξύλο και άλλα προϊόντα του δάσους, υπολείμματα καλλιεργειών, κτηνοτροφικά απόβλητα, απόβλητα βιομηχανιών τροφίμων κ.λπ.) και μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως καύσιμο για παραγωγή ενέργειας. Το καύσιμο βιομάζας είναι γνωστό στην Ελλάδα κι ως πέλετ. Η ενέργεια που είναι δεσμευμένη στις φυτικές ουσίες προέρχεται από τον ήλιο. Με τη διαδικασία της φωτοσύνθεσης, τα φυτά μετασχηματίζουν την ηλιακή ενέργεια σε βιομάζα. Οι ζωικοί οργανισμοί αυτή την ενέργεια την προσλαμβάνουν με την τροφή τους και αποθηκεύουν ένα μέρος της. Αυτή την ενέργεια αποδίδει τελικά η βιομάζα, μετά την επεξεργασία και τη χρήση της. Είναι μια ανανεώσιμη πηγή ενέργειας γιατί στην πραγματικότητα είναι αποθηκευμένη ηλιακή ενέργεια που δεσμεύτηκε από τα φυτά κατά τη φωτοσύνθεση. Η βιομάζα είναι η πιο παλιά και διαδεδομένη ανανεώσιμη πηγή ενέργειας. Ο πρωτόγονος άνθρωπος, για να ζεσταθεί και να μαγειρέψει, χρησιμοποίησε την ενέργεια (θερμότητα) που προερχόταν από την καύση των ξύλων, που είναι ένα είδος βιομάζας. Αλλά και μέχρι σήμερα, κυρίως οι αγροτικοί πληθυσμοί, τόσο της Αφρικής, της Ινδίας και της Λατινικής Αμερικής, όσο και της Ευρώπης, για να ζεσταθούν, να μαγειρέψουν και να φωτιστούν χρησιμοποιούν ξύλα, φυτικά υπολείμματα (άχυρα, πριονίδια, άχρηστους καρπούς ή κουκούτσια κ.ά.) και ζωικά απόβλητα (κοπριά, λίπος ζώων, άχρηστα αλιεύματα κ.ά.). Όλα τα παραπάνω υλικά, που άμεσα ή έμμεσα προέρχονται από το φυτικό κόσμο, αλλά και τα υγρά απόβλητα και το μεγαλύτερο μέρος από τα αστικά απορρίμματα (υπολείμματα τροφών, χαρτί κ.ά.) των πόλεων και των βιομηχανιών, μπορούμε να τα μετατρέψουμε σε ενέργεια.

Η ενέργεια της βιομάζας (βιοενέργεια ή πράσινη ενέργεια) είναι δευτερογενής ηλιακή ενέργεια. Η ηλιακή ενέργεια μετασχηματίζεται από τα φυτά μέσω της φωτοσύνθεσης. Οι βασικές πρώτες ύλες που χρησιμοποιούνται, είναι το νερό και το διοξείδιο του άνθρακα, που είναι άφθονα στη φύση. Η μόνη φυσικά ευρισκόμενη πηγή ενέργειας με άνθρακα που τα αποθέματά της είναι ικανά ώστε να μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως υποκατάστατο των ορυκτών καυσίμων, είναι η βιομάζα. Αντίθετα από αυτά, η βιομάζα είναι ανανεώσιμη καθώς απαιτείται μόνο μια σύντομη χρονική περίοδος για να αναπληρωθεί ότι χρησιμοποιείται ως πηγή ενέργειας. Εν γένει, για τις διάφορες τελικές χρήσεις υιοθετούνται διαφορετικοί όροι. Έτσι, ο όρος "βιοισχύς" περιγράφει τα συστήματα που χρησιμοποιούν πρώτες ύλες βιομάζας αντί των συνήθων

ορυκτών καυσίμων (φυσικό αέριο, άνθρακα) για ηλεκτροπαραγωγή, ενώ ως "βιοκαύσιμα" αναφέρονται κυρίως τα υγρά καύσιμα μεταφορών που υποκαθιστούν πετρελαϊκά προϊόντα, π.χ. βενζίνη ή ντίζελ.

Βασικό πλεονέκτημα της βιομάζας αποτελεί το γεγονός ότι είναι ανανεώσιμη πηγή ενέργειας και ότι παρέχει ενέργεια αποθηκευμένη με χημική μορφή. Η αξιοποίηση της μπορεί να γίνει με μετατροπή της σε μεγάλη ποικιλία προϊόντων, με διάφορες μεθόδους και τη χρήση σχετικά απλής τεχνολογίας. Σαν πλεονέκτημά της καταγράφεται και το ότι κατά την παραγωγή και την μετατροπή της δεν δημιουργούνται οικολογικά και περιβαλλοντολογικά προβλήματα. Από την άλλη, σαν μορφή ενέργειας η βιομάζα χαρακτηρίζεται από πολυμορφία, χαμηλό ενεργειακό περιεχόμενο, σε σύγκριση με τα ορυκτά καύσιμα, λόγω χαμηλής πυκνότητας και/ή υψηλής περιεκτικότητας σε νερό, εποχικότητα, μεγάλη διασπορά, κλπ. Τα χαρακτηριστικά αυτά συνεπάγονται πρόσθετες, σε σχέση με τα ορυκτά καύσιμα, δυσκολίες στη συλλογή, μεταφορά και αποθήκευσή της. Σαν συνέπεια το κόστος μετατροπής της σε πιο εύχρηστες μορφές ενέργειας παραμένει υψηλό. Εντούτοις, η έρευνα και η τεχνολογική πρόοδος που έχει πραγματοποιηθεί τα τελευταία 10 χρόνια έχουν καταστήσει τις τεχνολογίες ενεργειακής μετατροπής της βιομάζας εξαιρετικά ελκυστικές σε παγκόσμιο επίπεδο. Οι προοπτικές, μάλιστα, της βιοενέργειας καθίστανται διαρκώς μεγαλύτερες και πιο ελπιδοφόρες. Στις πιο προηγμένες οικονομικά χώρες, αναμένεται να καλύπτει σημαντικό τμήμα της ενεργειακής παραγωγής μελλοντικά.

### **Πλεονεκτήματα**

Η καύση της βιομάζας έχει μηδενικό ισοζύγιο διοξειδίου του άνθρακα (CO<sub>2</sub>) δεν συνεισφέρει στο φαινόμενο του θερμοκηπίου - επειδή οι ποσότητες του διοξειδίου του άνθρακα (CO<sub>2</sub>) που απελευθερώνονται κατά την καύση της βιομάζας δεσμεύονται πάλι από τα φυτά για τη δημιουργία της βιομάζας. Η μηδαμινή ύπαρξη του θείου στη βιομάζα συμβάλλει σημαντικά στον περιορισμό των εκπομπών του διοξειδίου του θείου (SO<sub>2</sub>) που είναι υπεύθυνο για την όξινη βροχή. Εφόσον η βιομάζα είναι εγχώρια πηγή ενέργειας, η αξιοποίησή της σε ενέργεια συμβάλλει σημαντικά στη μείωση της εξάρτησης από εισαγόμενα καύσιμα και βελτίωση του εμπορικού ισοζυγίου, στην εξασφάλιση του ενεργειακού εφοδιασμού και στην εξοικονόμηση του συναλλάγματος. Η ενεργειακή αξιοποίηση της βιομάζας σε μια περιοχή, αυξάνει την απασχόληση στις αγροτικές περιοχές με τη χρήση εναλλακτικών καλλιεργειών (διάφορα είδη ελαιοκράμβης, σόργο, καλάμι) τη δημιουργία εναλλακτικών αγορών για τις παραδοσιακές καλλιέργειες (ηλιάνθος κ.ά.), και τη συγκράτηση του πληθυσμού

στις εστίες τους, συμβάλλοντας έτσι στη κοινωνικό-οικονομική ανάπτυξη της περιοχής. Μελέτες έχουν δείξει ότι η παραγωγή υγρών βιοκαυσίμων έχει θετικά αποτελέσματα στον τομέα της απασχόλησης τόσο στον αγροτικό όσο και στο βιομηχανικό χώρο.

### **Μειονεκτήματα**

Ο αυξημένος όγκος και η μεγάλη περιεκτικότητα σε υγρασία, σε σχέση με τα ορυκτά καύσιμα δυσχεραίνουν την ενεργειακή αξιοποίηση της βιομάζας. Η μεγάλη διασπορά και η εποχιακή παραγωγή της βιομάζας δυσκολεύουν την συνεχή τροφοδοσία με πρώτη ύλη των μονάδων ενεργειακής αξιοποίησης της βιομάζας. Βάσει των παραπάνω παρουσιάζονται δυσκολίες κατά τη συλλογή, μεταφορά, και αποθήκευση της βιομάζας που αυξάνουν το κόστος της ενεργειακής αξιοποίησης. Οι σύγχρονες και βελτιωμένες τεχνολογίες μετατροπής της βιομάζας απαιτούν υψηλό κόστος εξοπλισμού, συγκρινόμενες με αυτό των συμβατικών καυσίμων.



**Σχήμα 2.8:** Εργοστάσιο παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας από βιομάζα.

**Πηγή:** <https://oecotextiles.wordpress.com/>

### **2.6.4 Γεωθερμική ενέργεια**

Γεωθερμική ενέργεια ονομάζεται η θερμική ενέργεια που προέρχεται από το εσωτερικό της γης και εμφανίζεται με τη μορφή θερμού νερού ή ατμού. Η ενέργεια αυτή σχετίζεται με την ηφαιστειότητα και τις ειδικότερες γεωλογικές και γεωτεκτονικές συνθήκες της κάθε περιοχής. Είναι μια ήπια και σχετικά ανανεώσιμη ενεργειακή πηγή, που με τα σημερινά τεχνολογικά δεδομένα μπορεί να καλύψει σημαντικές ενεργειακές ανάγκες. Οι γεωθερμικές περιοχές συχνά εντοπίζονται από τον ατμό που βγαίνει από σχισμές του φλοιού της γης ή από την παρουσία θερμών πηγών. Για να υφίσταται διαθέσιμο θερμό νερό ή ατμός σε μια περιοχή πρέπει να υπάρχει κάποιος υπόγειος ταμιευτήρας αποθήκευσης του κοντά σε ένα θερμικό κέντρο. Στην περίπτωση αυτή, το νερό του ταμιευτήρα που συνήθως είναι βρόχινο νερό που έχει διεισδύσει στους βαθύτερους ορίζοντες της γης, θερμαίνεται και ανεβαίνει προς την επιφάνεια.

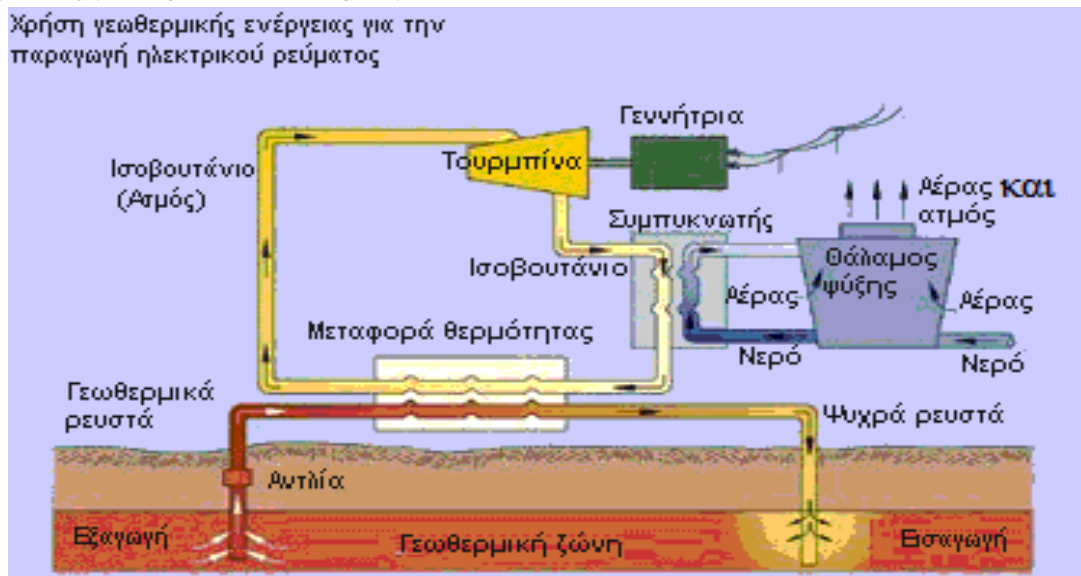
Τα θερμικά αυτά ρευστά εμφανίζονται στην επιφάνεια είτε με τη μορφή θερμού νερού ή ατμού όπως προαναφέρθηκε είτε αντλούνται με γεώτρηση και αφού χρησιμοποιηθεί η θερμική τους ενέργεια, γίνεται επανέγχυση του ρευστού στο έδαφος με δεύτερη γεώτρηση. Έτσι ενισχύεται η μακροβιότητα του ταμιευτήρια και αποφεύγεται η θερμική ρύπανση του περιβάλλοντος.

Είναι μια ανανεώσιμη μορφή ενέργειας που πηγάζει από το εσωτερικό της γης. Μεταφέρεται στην επιφάνεια με θερμική επαγωγή και με την είσοδο στον φλοιό της γης λειωμένου μάγματος από τα βαθύτερα στρώματά της. Για την παραγωγή ηλεκτρικού ρεύματος, ζεστό νερό σε θερμοκρασίες που κυμαίνονται από 150°C μέχρι περισσότερο από 370°C μεταφέρεται σε γεωτρήσεις από υπόγειες δεξαμενές σε ειδικές δεξαμενές και με την απελευθέρωση της πίεσης μετατρέπεται σε ατμό. Ο ατμός διαχωρίζεται από τα ρευστά διοχετεύονται σε περιφερειακά τμήματα της δεξαμενής για να βοηθήσουν να διατηρηθεί η πίεση. Αν η δεξαμενή χρησιμοποιηθεί για άμεση χρήση της θερμότητας, τα γεωθερμικά ρευστά τροφοδοτούν έναν εναλλάκτη θερμότητας και επιστέφουν στη γη. Το ζεστό νερό από την έξοδο του εναλλάκτη χρησιμοποιείται για την θέρμανση κτηρίων, θερμοκηπίων κ.α.

Υπάρχουν κύριες εφαρμογές της γεωθερμικής ενέργειας, όπως η χρήση της θερμότητας της γης για την παραγωγή ηλεκτρικού ρεύματος και άλλες χρήσεις (θέρμανση κτηρίων, θερμοκηπίων). Αυτή η θερμότητα μπορεί να προέρχεται από γεωθερμικά ρεύματα που φθάνουν με φυσικό τρόπο ως την επιφάνεια της γης ή γεώτρηση στον φλοιό της γης σε περιοχές που η θερμότητα βρίσκεται αρκετά κοντά στην επιφάνεια. Αυτές οι πηγές είναι συνήθως από μερικές εκατοντάδες μέχρι 3000 μέτρα κάτω από την επιφάνεια της γης. Η εφαρμογή της γεωθερμικής ενέργειας εκμεταλλεύεται τις θερμές μάζες εδάφους ή υπογείων υδάτων για να κινήσουν θερμικές αντλίες για εφαρμογές θέρμανσης και ψύξης.

Η κυριότερη θερμική χρήση της γεωθερμικής ενέργειας σήμερα, τόσο στην Ελλάδα όσο και παγκόσμια, αφορά στη θέρμανση θερμοκηπίων. Μπορεί επίσης να χρησιμοποιηθεί στις υδατοκαλλιέργειες, δεδομένου ότι πολλά είδη υδροβίων οργανισμών, όπως χέλια, γαρίδες ή φύκια αναπτύσσονται γρηγορότερα σε αυξημένες θερμοκρασίες (25 έως 30°C). Άλλη διαδεδομένη χρήση της γεωθερμίας είναι η θέρμανση οικισμών. Η θερμική ενέργεια που δεσμεύεται από τη γεωθερμική πηγή διοχετεύεται προς τους χρήστες με την βοήθεια ενός δικτύου αγωγών (τηλεθέρμανση). Στις άνυδρες νησιωτικές και παραθαλάσσιες περιοχές, μια άλλη εφαρμογή μπορεί να είναι θερμική αφαλάτωση θαλασσινού νερού, ενώ στις περιπτώσεις γεωθερμικών ρευστών

υψηλής θερμοκρασίας ( $>150^{\circ}\text{C}$ ) μπορεί να γίνει παραγωγή ηλεκτρικού ρεύματος με την εκτόνωση ατμού.



Σχήμα 2.9: Σταθμός γεωθερμικής παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας.

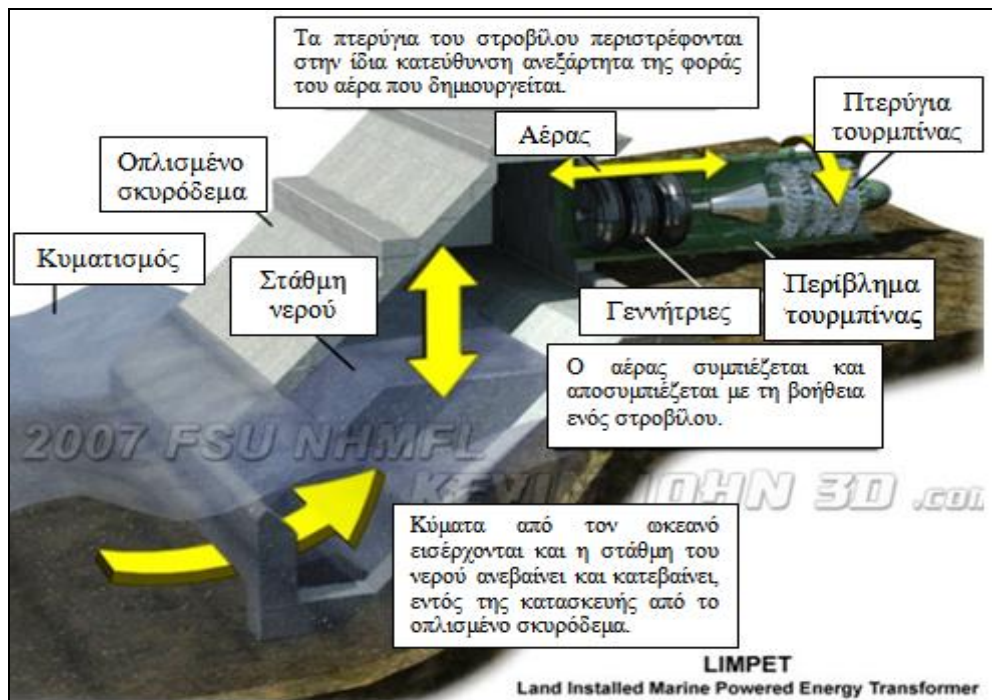
Πηγή: [www.paidio.blogspot.gr/](http://www.paidio.blogspot.gr/)

## 2.6.5 Ενέργεια θαλασσίων κυμάτων –παλιρροιών (Θερμική Ενέργεια Ωκεανών)

Οι ωκεανοί μπορούν να μας προσφέρουν τεράστια ποσά ενέργειας. Υπάρχουν τρεις βασικοί τρόποι για να εκμεταλλευτούμε την ενέργεια της θάλασσας:

### 1. Ενέργεια από τα κύματα.

Η κινητική ενέργεια των κυμάτων μπορεί να περιστρέψει την τουρμπίνα, όπως φαίνεται στο σχήμα . Η ανυψωτική κίνηση του κύματος πιέζει τον αέρα προς τα πάνω, μέσα στο θάλαμο και θέτει σε περιστροφική κίνηση την τουρμπίνα έτσι ώστε η γεννήτρια να παράγει ρεύμα. Αυτός είναι ένας μόνο τύπος εκμετάλλευσης της ενέργειας των κυμάτων. Η παραγόμενη ενέργεια είναι σε θέση να καλύψει τις ανάγκες μιας οικίας, της δημόσιας ηλεκτροδότησης και άλλα.



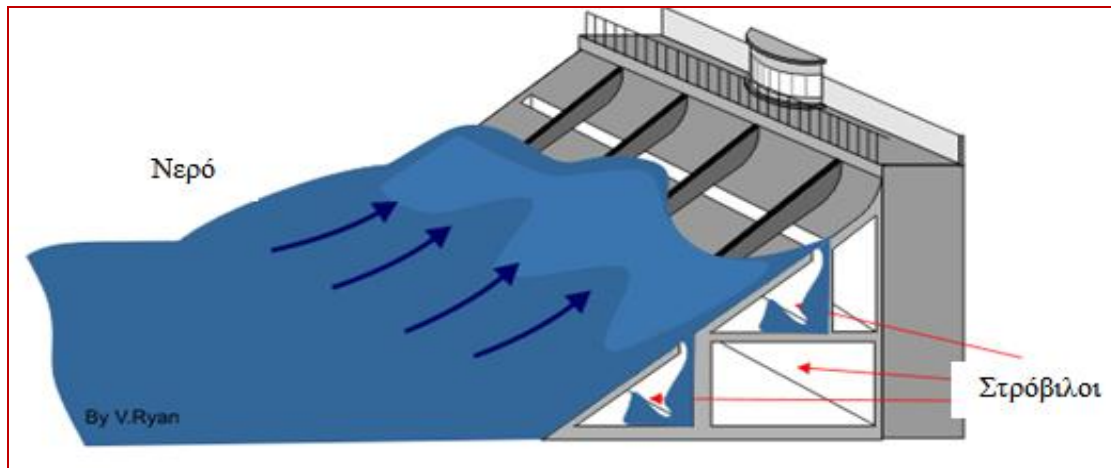
**Σχήμα 2.10:** Διάταξη παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας από τον κυματισμό της θάλασσας.

**Πηγή:** <http://blogs.ei.columbia.edu>

## 2. Ενέργεια από τις παλίρροιας (μικρές και μεγάλες).

Η αξιοποίηση της παλιρροϊκής ενέργειας χρονολογείται από εκατοντάδες χρόνια πριν, αφού με τα νερά που δεσμεύονταν στις εκβολές ποταμών από την παλίρροια, κινούνταν νερόμυλοι. Ο τρόπος είναι απλός: Τα εισερχόμενα νερά της παλίρροιας στην ακτή κατά την πλημμυρίδα μπορούν να παγιδευτούν σε φράγματα, οπότε κατά την άμπωτη τα αποθηκευμένα νερά ελευθερώνονται και κινούν υδροστρόβιλο, όπως στα υδροηλεκτρικά εργοστάσια. Τα πλέον κατάλληλα μέρη για την κατασκευή σταθμών ηλεκτροπαραγωγής είναι οι στενές εκβολές ποταμών. Η διαφορά μεταξύ της στάθμης του νερού κατά την άμπωτη και την πλημμυρίδα πρέπει να είναι τουλάχιστον 10 μέτρα. Σήμερα οι μικροί σταθμοί παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας από το θαλασσινό νερό βρίσκονται σε πειραματικό στάδιο. Η ηλεκτρική ενέργεια που μπορεί να παραχθεί είναι ικανή να καλύψει τις ανάγκες μιας πόλης μέχρι και 240 χιλιάδων κατοίκων.





**Σχήμα 2.11:** Παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας από τις παλίρροιες της θάλασσας.  
**Πηγή:** <http://www.technologystudent.com>

### 3. Ενέργεια από τις θερμοκρασιακές διαφορές του νερού.

Η θερμική ενέργεια των ωκεανών μπορεί επίσης να αξιοποιηθεί με την εκμετάλλευση της διαφοράς θερμοκρασίας μεταξύ του θερμότερου επιφανειακού νερού και του ψυχρότερου νερού του πυθμένα. Η διαφορά αυτή πρέπει να είναι τουλάχιστον 3,5 °C.

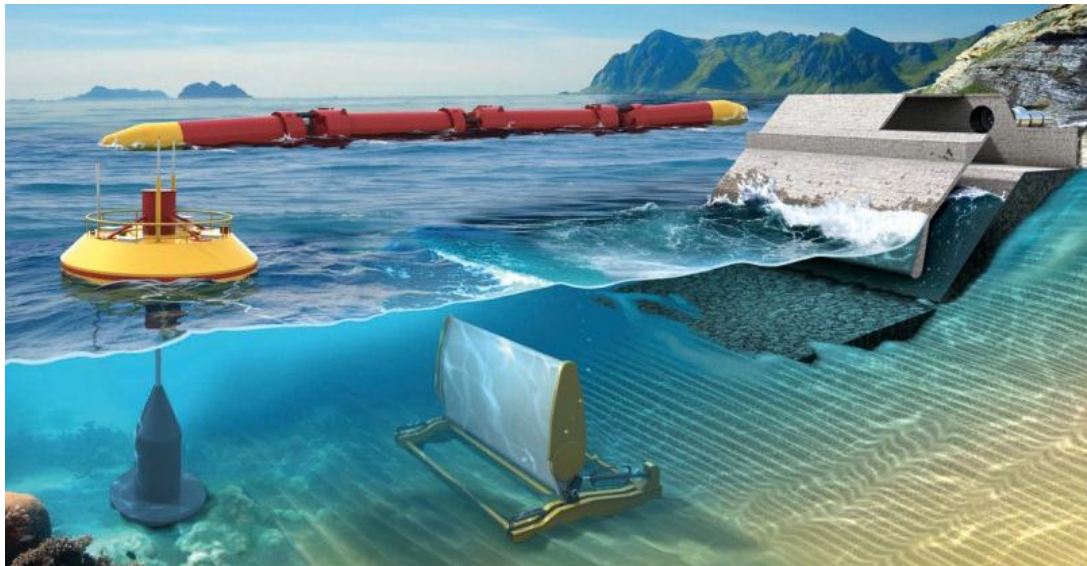
#### Πλεονεκτήματα:

- Η ενέργεια είναι δωρεάν.
- Η πρώτη ύλη είναι άφθονη αφού το νερό καλύπτει το 75% της επιφάνειας του πλανήτη μας.
- Έχει την υψηλότερη ενεργειακή πυκνότητα σε σύγκριση με τις άλλες ανανεώσιμες πηγές ενέργειας, δίνοντας έτσι τη δυνατότητα παραγωγής και μεγάλου όγκου ενέργειας αν η δύναμη των κυμάτων είναι μεγάλη.
- Φιλική προς το περιβάλλον καθώς δε χρησιμοποιείται καμία καύσιμη ύλη και επίσης κατά τη διάρκεια λειτουργίας των μονάδων παραγωγής ενέργειας δεν προκαλούνται απόβλητα.
- Δεν απαιτείται μεγάλο χρονικό διάστημα για την έρευνα, την εγκατάσταση και τέλος την λειτουργία μιας μονάδας και παράλληλα έχει ως αποτέλεσμα την δημιουργία προστατευμένων υδάτινων περιοχών.
- Η συντήρηση και η λειτουργία των μονάδων παραγωγής κυματικής ενέργειας δεν είναι πολύ δαπανηρή.
- Δεν προκαλούνται προβλήματα στις μετακινήσεις των ψαριών, με εξαίρεση τα παλιρροϊκά φράγματα.

- Δυνατότητα παραγωγής υδρογόνου με ηλεκτρόλυση από το άφθονο θαλασσινό νερό που μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως καύσιμο.

#### Μειονεκτήματα:

- Ο όγκος παραγωγής της ενέργειας εξαρτάται από τη δύναμη των κυμάτων. Κάποιες φορές μπορούμε να αποκομίσουμε μεγάλο όγκο ενέργειας και κάποιες μηδαμινό.
- Οι εγκαταστάσεις πρέπει να είναι κατασκευασμένες έτσι ώστε να αντέχουν στις δύσκολες καιρικές συνθήκες.
- Το κόστος της μεταφοράς της κυματικής ενέργειας είναι υψηλό.
- Πολλές εγκαταστάσεις προκαλούν ηχορύπανση.
- Δημιουργεί επιπλέον κινδύνους, επηρεάζοντας έτσι την ασφαλή ναυσιπλοΐα.



**Σχήμα 2.12:** Συμπαγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από τη θάλασσα.

**Πηγή:** <http://www.schaeffler.de/>

### 3. Μοντέλα Ηλιακών Ξηραντήριων.

#### 3.1 Διαχωρισμός και ταξινόμηση ηλιακών ξηραντήριων.

Για την αποτελεσματική ξήρανση των προϊόντων έχουν δημιουργηθεί διάφοροι τύποι ξηραντήριων, όπου η επιλογή τους εξαρτάται από πολλούς και σημαντικούς παράγοντες. Οι σημαντικότεροι παράγοντες, είναι η δυναμικότητα της παραγωγής, αλλά και το είδος του προς ξήρανση προϊόντος. Ακόμα, η γεωγραφική θέση του ξηραντήριου παίζει σημαντικό ρόλο, αφού επηρεάζει τις ηλιακές ιδιότητες, με αποτέλεσμα να υπάρχουν διακυμάνσεις στην ποιότητα του τελικού προϊόντος. Οι τρόποι της ηλιακής ξήρανσης διακρίνονται στις παρακάτω κατηγορίες.

#### 3.2 Ηλιακή ξήρανση σε ελεύθερο αέρα.

Τοποθετούμε το προϊόν να ξηρανθεί απευθείας στον ήλιο και στον υπάρχοντα αέρα. Με αυτήν τη διαδικασία η ηλιακή ακτινοβολία αυξάνει την θερμοκρασία του προϊόντος. Έτσι, με την κίνηση του αέρα και του ανέμου, μεταφέρεται η υγρασία (νερό) του νωπού προϊόντος από την επιφάνειά του στο περιβάλλον. Αυτή η μέθοδος ονομάζεται και ξήρανση στον ήλιο. Το προϊόν τοποθετείται επάνω σε δίσκους, σε αβαθή καλάθια ή σε υφάσματα ή πάνω στο έδαφος (χώμα). Είναι πολύ φθηνές κατασκευές και χρησιμοποιούνται σε αγροτικές κυρίως περιοχές. Η επιβίωση αυτής της μεθόδου προϋποθέτει την άμεση παρουσία ανθρώπινης επίβλεψης και επέμβασης, καθώς σε περίπτωση βροχόπτωσης ή χαλαζόπτωσης το προϊόν ή θα καταστραφεί ή θα υποβαθμιστεί η ποιότητά του.

Τα **πλεονεκτήματα** της ηλιακής ξήρανσης σε ελεύθερο αέρα είναι:

- Πολύ μικρό κόστος κατασκευής.
- Μεγάλη δυναμικότητα και παραγωγή σε περιοχές όπου η ηλιακή ακτινοβολία είναι υψηλή και οι καιρικές συνθήκες είναι ομαλές.
- Πολύ μικρά έξοδα συντήρησης.
- Χρήση ελεύθερης και ανανεώσιμης ενέργειας.

Τα **μειονεκτήματα** της ηλιακής ξήρανσης σε ελεύθερο αέρα είναι:

- Κίνδυνος καταστροφής του προϊόντος από φυσικά φαινόμενα, όπως βροχή, χαλάζι, καύσωνα, ανεμοθύελλες, σκόνη και άλλα.
- Πιθανή υποβάθμισης της ποιότητας του προϊόντος, από φυσικά φαινόμενα, τρωκτικά του αγρού, ανομοιογένειας του προϊόντος.

- Συνεχή και κοπιαστική δουλειά από ανθρώπινο δυναμικό. Συχνή μάλαξη και ανακάτεμα του ξηραϊνόμενου προϊόντος για την αποφυγή υπερθέρμανσης και έλλειψης αερισμού.
- Καταστροφή πολύτιμων θρεπτικών στοιχείων του προϊόντος, όπως βιταμίνη Α και C, λόγω της απευθείας έκθεσής τους στον ήλιο.



**Σχήμα 3.1:** Ηλιακή Ξήρανση σε ελεύθερο αέρα σε αγροτική περιοχή.

Πηγή: [www.agronews.gr/](http://www.agronews.gr/)

### 3.3 Άμεση ηλιακή ξήρανση.

Σε αυτό το μοντέλο ξήρανσης, οι ακτίνες του ήλιου προσπίπτουν κατευθείαν πάνω στα προϊόντα. Είναι πολύ απλές γεωργικές κατασκευές, που αποτελούνται από ένα πλαίσιο (συνήθως από ξύλο, λόγω μικρού κόστους) και ένα σκέπασμα. Το σκέπασμα αυτό μπορεί να είναι είτε τζάμι, είτε φύλλο πλαστικού (νάιλον ή πολυκαρμπονικό). Η διάταξη της άμεσης ηλιακής ξήρανσης μοιάζει αρκετά με την *ηλιακή ξήρανση στον αέρα*, αλλά διαφέρει στο ότι το προϊόν και ο αέρας έχουν μεγαλύτερη θερμοκρασία, λόγω του θερμοκηπιακού φαινομένου και των ήπιων κινήσεων του αέρα στον περιβάλλοντα χώρο.

Η κίνηση του αέρα, γίνεται με φυσική κυκλοφορία ρευμάτων φρέσκου αέρα. Ο φυσικός ελκυσμός, οφείλεται στη διαφορά θερμοκρασίας του εσωτερικού συστήματος (θερμοκρασία προϊόντος και αέρα) με την θερμοκρασία του περιβάλλοντος, καθώς και στην ενέργεια του ανέμου στα ανοίγματα της κατασκευής. Αυτό το φαινόμενο, ονομάζεται φαινόμενο της καμινάδας.

Τα **πλεονεκτήματα** της άμεσης ηλιακής ξήρανσης είναι:

- Πολύ μικρό κόστος κατασκευής ηλιακού ξηραντήρα (μεγαλύτερο από την ξήρανση στον αέρα).

- Μεγαλύτερη προστασία από επίθεση εντόμων, πουλιών, τρωκτικών και απρόσμενων καιρικών φαινομένων.
- Επιτάχυνση της ξήρανσης επειδή τα υλικά είναι διάφανα και αναπτύσσεται το φαινόμενο του θερμοκηπίου. Με αυτό έχουμε αύξηση της θερμοκρασίας που επιτρέπει γρηγορότερο ρυθμό ξήρανσης.

Τα **μειονεκτήματα** της άμεσης ηλιακής ξήρανσης είναι:

- “Φτωχή κατασκευή”. Τα υλικά συνήθως δεν έχουν μεγάλη διάρκεια ζωής, αφού δεν αντέχουν στις υψηλές θερμοκρασίες και την υγρασία. Κίνδυνος καταστροφής του προϊόντος από φυσικά φαινόμενα, όπως βροχή, χαλάζι, καύσωνα, ανεμοθύελλες, σκόνη λόγω μικρών αντοχών.
- Πιθανή υποβάθμιση της ποιότητας του προϊόντος από καταστροφή πολύτιμων θρεπτικών στοιχείων του προϊόντος, όπως βιταμίνη Α και C, λόγω της έκθεσής τους στην υπερϊώδη ακτινοβολία, την αύξηση της θερμοκρασίας πάνω από επιτρεπόμενο όριο λόγω του φαινομένου του θερμοκηπίου και τον κακό αερισμό του θαλάμου ξήρανσης.
- Συντήρηση της κατασκευής. Πολύ συχνά το κύριο υλικό κατασκευής αυτού του τύπου είναι το ξύλο, όπου ο συνδυασμός της υγρασίας του νωπού προϊόντος, τα θρεπτικά συστατικά του προϊόντος και οι ευνοϊκές θερμοκρασίες, συντελούν στην ανάπτυξη μικροοργανισμών εντός της μάζας του ξύλου (μύκητες, κολεόπτερα, έντομα, και άλλα).



**Σχήμα 3.2:** Φωτογραφία παρουσίασης ξηραντήριου άμεσου τύπου.

Πηγή: <http://www.solarfooddryer.com/>

### 3.4 Έμμεση ηλιακή ξήρανση.

Τα ξηραντήρια αυτού του τύπου, έχουν την ιδιαιτερότητα ότι το προϊόν δεν εκτίθεται στην άμεση ηλιακή ακτινοβολία. Στην πραγματικότητα, το προϊόν

τοποθετείται σε διάτρητες μεταλλικές πλάκες ή σε υλικά που επιτρέπουν την διέλευση αέρα (π.χ. ανοξείδωτες σχάρες ή σήτες), εντός ενός δωματίου – θαλάμου.

Φρέσκος και καθαρός αέρας εισέρχεται στο θάλαμο ξήρανσης, αφού περάσει από συλλέκτες αέρα ή άλλες διατάξεις αύξησης της θερμοκρασίας. Η αύξηση της θερμοκρασίας του φρέσκου αέρα πραγματοποιείται σε συνάρτηση της παροχής του αέρα. Η μεταφορά του αέρα μπορεί να γίνει είτε με φυσική ροή (θερμοσιφωνικό σύστημα) με την δημιουργία ηλιακής καμινάδας, είτε με μηχανικά και εξαναγκασμένα μέσα, προσθέτοντας ανεμιστήρες παροχής αέρα (αξονικούς - φυγοκεντρικούς).

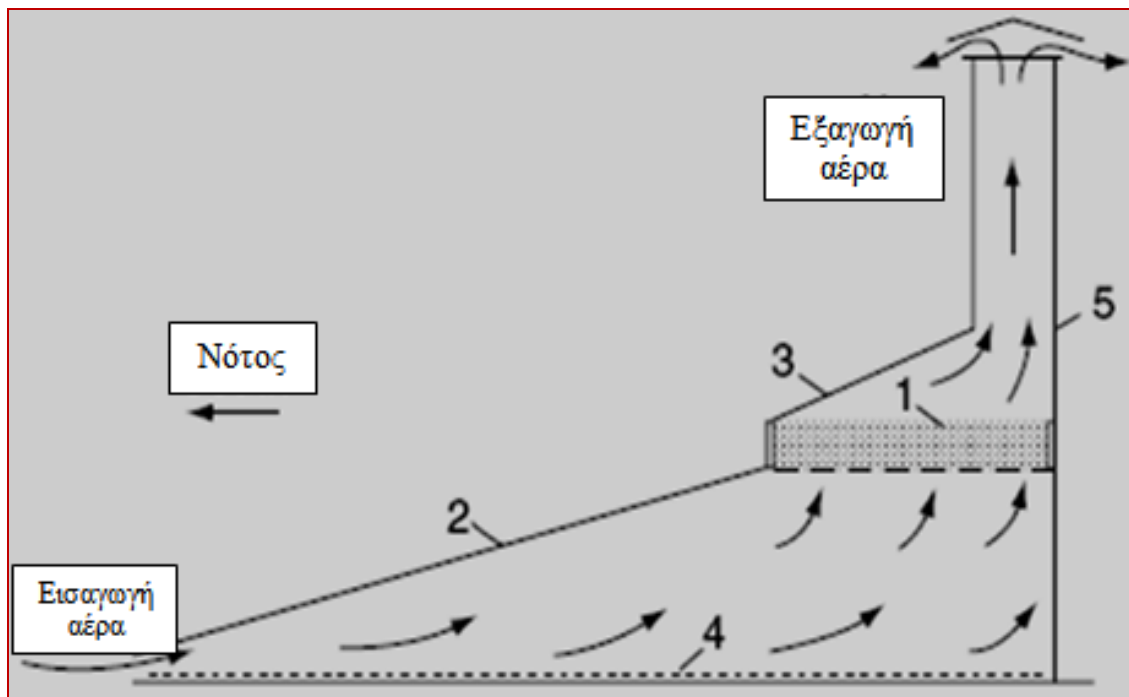
Τα προϊόντα που υφίστανται έμμεση ηλιακή ξήρανση, συνήθως είναι πιο ευαίσθητα από τα συνηθισμένα προϊόντα. Για παράδειγμα, οι σπόροι προς αναπαραγωγή, τα φρούτα, τα λαχανικά, το κρέας, τα ψάρια και τα καπνά είναι πολύ ευάλωτα προϊόντα στην ηλιακή ακτινοβολία. Ακριβώς και γι αυτό το λόγο πρέπει να γίνεται έλεγχος της θερμοκρασίας και της παροχής αέρα.

Τα **πλεονεκτήματα** της έμμεσης ηλιακής ξήρανσης είναι:

- Αναβαθμισμένο και πιο ποιοτικό προϊόν.
- Πολύ μεγάλη διάρκεια ζωής, λόγω καλύτερων υλικών κατασκευής.
- Παραγωγική ικανότητα σε μεγάλη κλίμακα.
- Χρήση ανανεώσιμης, ελεύθερης και μη ρυπογόνου πηγής ενέργειας.
- Δυνατότητα προσθήκης αυτοματισμών και συστημάτων αυτομάτου ελέγχου.
- Δυνατότητα αποθήκευσης θερμότητας για να παραταθεί η ξήρανση.

Τα **μειονεκτήματα** της έμμεσης ηλιακής ξήρανσης είναι:

- Μεγάλο κόστος κατασκευής.
- Μεταβλητότητα της διάρκειας της ξήρανσης.
- Για την λειτουργία αυτού του τύπου ξήρανσης, απαιτούνται καλές καιρικές συνθήκες (στην Ελλάδα λειτουργεί από τα μέσα Μαρτίου έως τις αρχές Νοέμβρη).
- Ακατάλληλη ξήρανση ευαίσθητων προϊόντων.



**Σχήμα 3.3:** Φωτογραφία παρουσίασης ξηραντήριου έμμεσου τύπου με ηλιακή καμινάδα.  
 Πηγή: <http://theses.ulaval.ca>

Στο σχήμα 3.3 φαίνεται μια φωτογραφία ξηραντήριου έμμεσης ξήρανσης στο οποίο το προϊόν τοποθετείται σε οριζόντια ράφια (1) τα οποία επιτρέπουν την διέλευση του αέρα διαμέσου αυτών. Η πλευρά που είναι προσανατολισμένη στο νότο, είναι η πλευρά που εισάγεται ο φρέσκος αέρας (air in). Η επιφάνεια (2) είναι κατασκευασμένη από γυαλί, ώστε να διαπερνά η ηλιακή ακτινοβολία. Η επιφάνεια (3) είναι μονωμένη ώστε να μην υπάρχουν απώλειες στο θάλαμο ξήρανσης. Στο χώρο (4) ο εισερχόμενος αέρας θερμαίνεται και στη συνέχεια εξέρχεται από το άνοιγμα (5), λόγω φυσικού ελκυσμού. Τέλος ο θερμός αέρας καταλήγει στο περιβάλλον.

### 3.5 Μικτά ηλιακά ξηραντήρια.

Σε αυτά τα ξηραντήρια λαμβάνει χώρα ο συνδυασμός της άμεσης και έμμεσης ηλιακής ξήρανσης. Η απαραίτητη θέρμανση πραγματοποιείται με έναν τρόπο ο οποίος συνδυάζει την άμεση ηλιακή ακτινοβολία στα προϊόντα, καθώς και την παροχή φρέσκου αέρα που διέρχεται από εναλλάκτες και συλλέκτες αέρα.

Τα πλεονεκτήματα αυτής της μεθόδου, είναι όλα τα πλεονεκτήματα της άμεσης και έμμεσης ηλιακής ξήρανσης. Αντίστοιχα είναι και τα μειονεκτήματα, καθώς ακόμα και ότι η μεταφορά θερμότητας στα μικτά ηλιακά ξηραντήρια είναι πολύπλοκη και δεν είναι σχεδόν καθόλου γνωστή.

### **3.6 Υβριδικά ηλιακά ξηραντήρια.**

Τα υβριδικά ηλιακά ξηραντήρια χρησιμοποιούν εκτός από την ηλιακή ενέργεια και μια άλλη συμπληρωματική πηγή ενέργειας προκειμένου να υπάρχει ολοκληρωμένη και επαρκής θέρμανση του αέρα ξήρανσης ή του αερισμού. Πολύ συχνή επιλογή είναι να χρησιμοποιηθούν συμβατικά καύσιμα όπως πετρέλαιο, ή ηλεκτρική ενέργεια μέσω δικτύων διανομής ενέργειας. Τα τελευταία χρόνια όμως η δευτερεύουσα πηγή ενέργειας μπορεί να προέλθει, είτε από αυτόνομα φωτοβολταϊκά συστήματα με αποθήκευση ενέργειας σε μπαταρίες, είτε από βιοκαύσιμα και βιομάζα, είτε από φυσικό αέριο (όπου αυτό είναι δυνατόν), είτε σε κάποια άλλη ανανεώσιμη πηγή ενέργειας.

Ο συνδυασμός της ηλιακής ενέργειας και της υποβοηθούμενης πηγής, καθιστούν τη λειτουργία του ξηραντήρα αποδοτικότερη, λόγω της συνεχούς παραγωγής του σε δυσμενείς καιρικές συνθήκες και καθ όλη τη διάρκεια της νύχτας. Τα συστήματα αυτά, μπορούν να επεξεργασθούν πολύ μεγάλη γκάμα προϊόντων σε εξαιρετική ποιότητα και για το λόγο αυτό πρέπει να υπάρχουν συστήματα αυτομάτου ελέγχου και αυτοματισμού.

### **3.7 Ηλιακός ξηραντήρας κιβωτίου.**

Ο ηλιακός ξηραντήρας κιβωτίου, αποτελεί μικρές μεταφερόμενες μονάδες (δεν ξεπερνούν τα 300 λίτρα χωρητικότητα) και προορίζονται για οικιακή χρήση. Ο τύπος αυτού του ξηραντήριου είναι πολύ οικονομικός και χρησιμοποιείται κυρίως για την ξήρανση φρούτων, λαχανικών και βοτάνων σε μικρή κλίμακα.

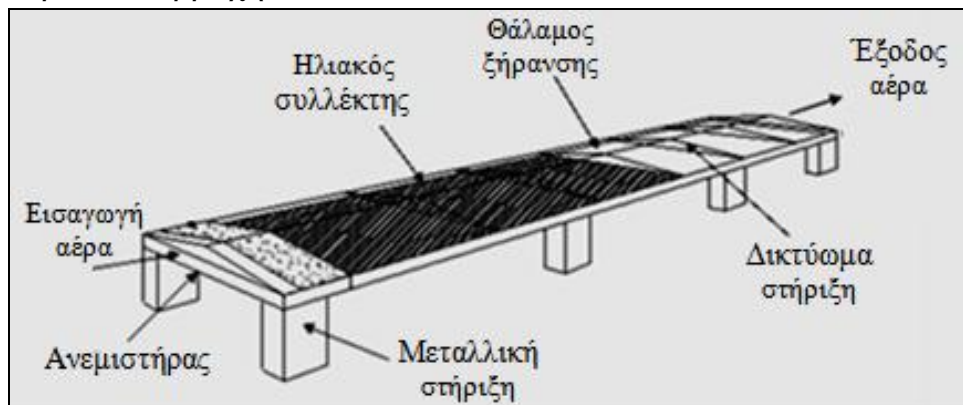
Τα υλικά κατασκευής αυτού του ξηραντήριου συνήθως είναι είτε από χάλυβα είτε από αλουμίνιο. Αποτελείται από μια απλή κατασκευή πλαισίου, όπου στο εσωτερικό του υπάρχουν ράφια. Στα ράφια τοποθετείται το προς ξήρανση προϊόν, όπου λαμβάνει την ηλιακή ακτινοβολία. Η ηλιακή ακτινοβολία χτυπά και το μεταλλικό θάλαμο και αυξάνει την θερμοκρασία στο εσωτερικό του ξηραντήρα, αυξάνοντας έτσι και την θερμοκρασία του αέρα που εισέρχεται στο κουτί από τα ανοίγματα.

### **3.8 Ηλιακός ξηραντήρας σήραγγας .**

Ο ηλιακός ξηραντήρας σήραγγας, αποτελείται από ένα επίπεδο ηλιακό συλλέκτη αέρα, ένα θάλαμο ξήρανσης και ένα ανεμιστήρα που παρέχει την



κατάλληλη παροχή αέρα για την επεξεργασία του προϊόντος. Η επιφάνεια του συλλέκτη και ο θάλαμος ξήρανσης σκεπάζεται με ένα διαφανές πλαστικό κάλυμμα (μπορεί και με τζάμι), ενώ το εσωτερικό μέρος του ξηραντήρα και των πλευρικών επιφανειών του είναι καλά μονωμένα για την αποφυγή θερμικών απωλειών. Ο αέρας που διέρχεται από το ξηραντήριο περνά πάνω από το προϊόν και όχι διαμέσου αυτού. Συνήθως τοποθετείται και ένας ανεμιστήρας μικρής ισχύος για την διευκόλυνση της ροής του αέρα εντός του θαλάμου, διαφορετικά κατασκευάζεται ηλιακή καμινάδα που πραγματοποιεί φυσικό ελκυσμό. Ακόμα, στην κατασκευή δίνεται και μια μικρή κλίση στο κάλυμμα για την αποφυγή εισροών νερού από βροχή.



Σχήμα 3.4: Ηλιακό ξηραντήριο σήραγγας.

Πηγή: <http://theses.ulaval.ca>

### 3.9 Ηλιακός ξηραντήρας θερμοκηπίου (greenhouse dryer) .

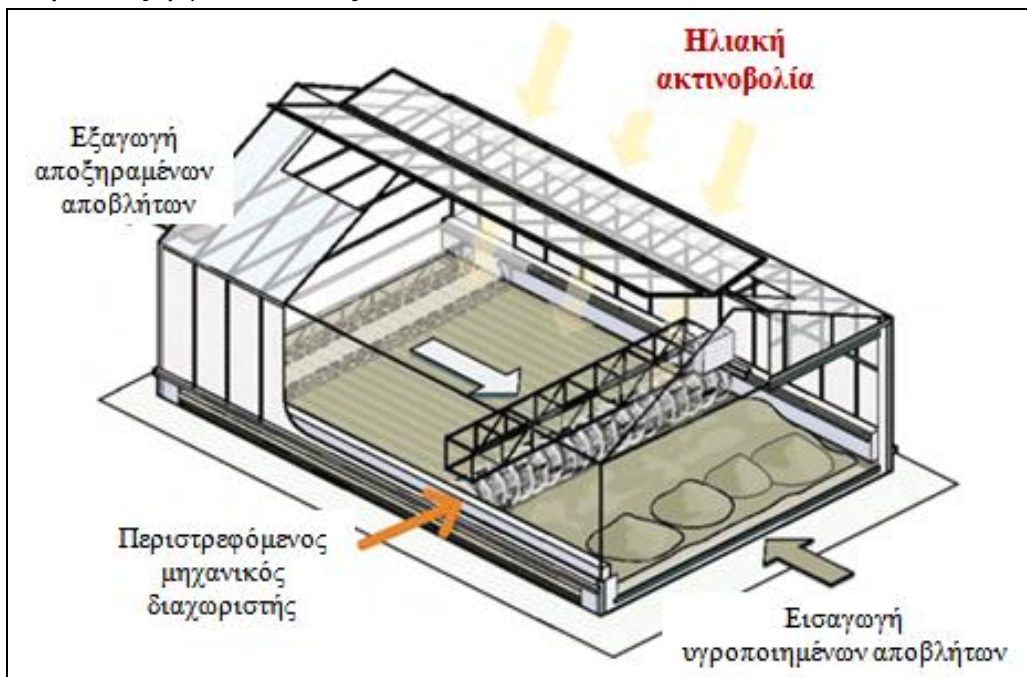
Οι ξηραντήρες αυτού του τύπου είναι ιδανικοί για χώρες όπου η ηλιακή ακτινοβολία είναι υψηλή. Οι ξηραντήρες θερμοκηπίου είναι από τους συνηθέστερους και πιο αποδοτικούς ξηραντήρες για την επεξεργασία της ιλύος και της ξυλείας.

Η κατασκευή τους αποτελείται από διαφανή ή ημιδιαφανή τοιχώματα (συνήθως γυαλί ή πλαστικό, και σε πιο ανεπτυγμένες χώρες ημιδιαφανή φωτοβολταϊκά). Η είσοδος τοποθετείται στη βόρεινή πλευρά του συγκροτήματος, καθώς και η πλευρά αυτή είναι πολύ καλά μονωμένη, ώστε να μην χάνονται θερμικά φορτία. Οι πλευρές που βλέπουν προς το νότο, καλύπτονται με διαφανή υλικά, ώστε η ηλιακή ακτινοβολία να διέρχεται στο εσωτερικό και το δάπεδο επιστρώνεται με σκυρόδεμα ή πέτρες (λειτουργούν σαν αποθήκες θερμότητας, λόγω της μεγάλης θερμοχωρητικότητας).

Χάρη στη μόνωση, η θερμότητα διατηρείται σε υψηλά επίπεδα και κατά τη διάρκεια της νύχτας και της ημέρας σε περιόδους χαμηλής ηλιακής

ακτινοβολίας. Οι ξηραντήρες θερμοκηπίου μπορούν να χωριστούν σε τρεις κατηγορίες.

- i. Ξηραντήρες όπου η μεταφορά θερμότητας γίνεται με αγωγή και ο εξαερισμός με φυσική κίνηση του αέρα, χωρίς κάποια βοήθεια μηχανικού μέσου. (Το κεκλιμένο κάλυμμα της κατασκευής είναι τοποθετημένο στην κατεύθυνση βορρά/νότου, καθώς υπάρχει και ένα ή περισσότερα ανοίγματα εξαερισμού, ώστε ο υγρός και θερμός αέρας να μπορεί να βγει από το “θερμοκήπιο”. Για την είσοδο του φρέσκου αέρα, υπάρχουν ανοίγματα σε χαμηλότερες πλευρές των τοιχείων κάτω από την οροφή γυαλιού. Στο προϊόν αυξάνεται η θερμοκρασία του με τη βοήθεια της ηλιακής ακτινοβολίας που διαπερνά από τα τοιχώματα. Εάν η ακτινοβολία δεν είναι αρκετή ώστε να δημιουργήσει αύξηση της θερμοκρασίας, χρησιμοποιούνται θερμάστρες αερίου με βιοαέριο από την επεξεργασία ιλύος.



Σχήμα 3.5: Ηλιακό ξηραντήριο θερμοκηπίου με φυσικό εξαερισμό.

Πηγή: <http://www.degremont-technologies.com>

- ii. Ξηραντήριο στο οποίο η κυκλοφορία του αέρα πραγματοποιείται με τη βοήθεια ανεμιστήρων και ο εξαερισμός πραγματοποιείται με φυσική κίνηση. Δεν υπάρχει καμία διαφορά με τον προηγούμενο ξηραντήρα θερμοκηπίου. Η μόνη διαφορά είναι ότι η κυκλοφορία του αέρα στο εσωτερικό του ξηραντήριου γίνεται με την προσθήκη ηλεκτρικών ανεμιστήρων μικρής ισχύος. Η τοποθέτηση αυτών, συνήθως γίνεται στις

πλευρές που κοιτούν είτε ανατολικά είτε δυτικά της κατασκευής. Για τον εξαερισμό υπάρχουν τα ίδια ανοίγματα, όπως το ξηραντήριο i.

- iii. Ξηραντήρια στα οποία η κυκλοφορία του αέρα πραγματοποιείται με την βοήθεια ανεμιστήρων και ο εξαερισμός πραγματοποιείται επίσης και αυτός με ανεμιστήρες, ωστόσο η λειτουργία αυτή ελέγχεται ανάλογα με τα επίπεδα υγρασίας στο εσωτερικό του ξηραντήριου.

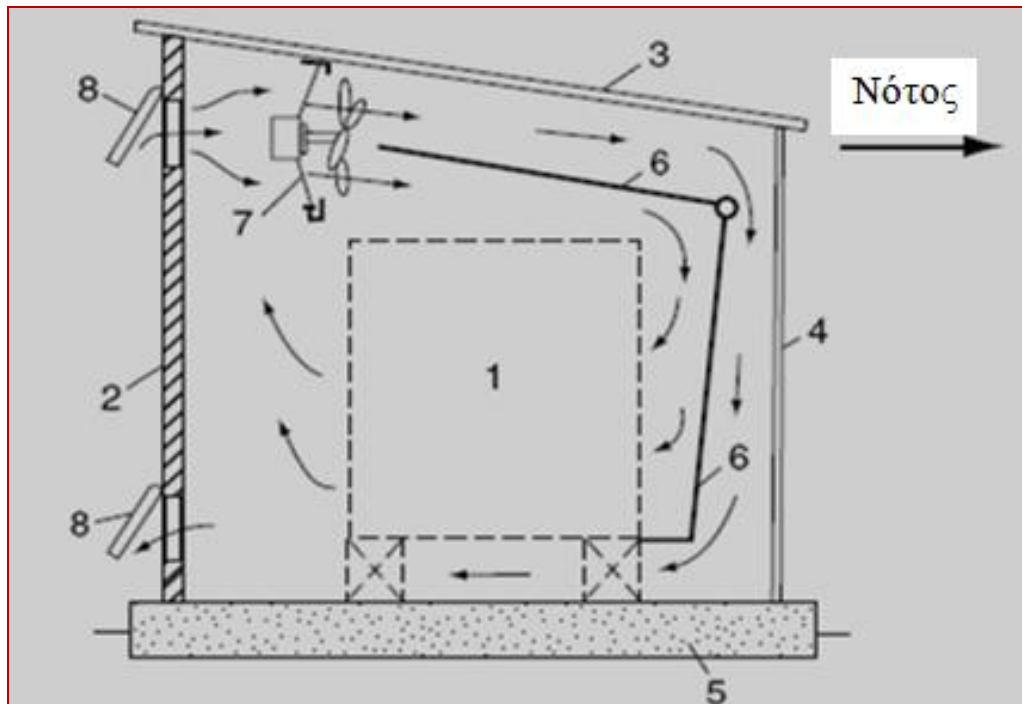


Σχήμα 3.6: Ηλιακό ξηραντήριο θερμοκηπίου με ανεμιστήρες.

Πηγή: <http://www.degremont-technologies.com>

### 3.10 Ηλιακός ξηραντήρας δωματίου.

Ο ηλιακός ξηραντήρας δωματίου (room type dryer) είναι μια κατασκευή που χρησιμοποιείται για την ξήρανση προϊόντων με μεγάλο όγκο και επιφάνεια. Τέτοια προϊόντα μπορεί να είναι η ξυλεία, τα δέρματα, τα δημητριακά, τα βότανα, τα καπνά και πολλά άλλα. Η αρχή λειτουργίας του βασίζεται στην εκμετάλλευση της άμεσης και έμμεσης ηλιακής ακτινοβολίας. Στην παρακάτω εικόνα, φαίνεται ακριβώς η κατασκευή του ηλιακού ξηραντήρα αυτού του τύπου.



Σχήμα 3.7: Ηλιακό ξηραντήριο τύπου δωματίου (με ανεμιστήρες).

Πηγή: <http://theses.ulaval.ca>

Αρχικά, το ξηραντήριο είναι προσανατολισμένο προς το Νότο (ισχύει για τις χώρες που βρίσκονται στο Βόρειο ημισφαίριο της Γης). Ένα πλαίσιο κατασκευής με διάκενα, ώστε να διευκολύνει την ροή του αέρα (1) βρίσκεται στο εσωτερικό του ξηραντήρα. Ο βορινός τοίχος (2) του ξηραντήρα είναι πολύ καλά μονωμένος, ώστε να υπάρχουν όσο το δυνατόν μικρότερες απώλειες. Οι υπόλοιπες πλευρές (4) του ξηραντήρα είναι κατασκευασμένες με διαφανείς πλάκες δυο στρωμάτων, έτσι ώστε να τις διαπερνά η ηλιακή ακτινοβολία. Η σκεπή (3) είναι και αυτή κατασκευασμένη από διάφανο υλικό με μόνωση (ενεργειακό τζάμι, 2 υαλοπίνακες με διάκενο όπου τοποθετείται ευγενές αέριο). Ο ξηραντήρας είναι οικοδομημένος σε μια βάση σκυροδέματος (5) και μονωτικών υλικών. Όταν η ηλιακή ακτινοβολία διαπεράσει τα διάφανα υλικά, θερμαίνει μια σκούρα απορροφητική επιφάνεια, συνήθως από αλουμίνιο. Ο αέρας που διαχέεται στο δωμάτιο από τον ανεμιστήρα (7) είναι συνδυασμός του αέρα από την εξωτερική πλευρά της απορροφητικής επιφάνειας (6) και της εσωτερικής πλευράς. Το μείγμα του φρέσκου (αέρας περιβάλλοντος) και νοπού (αέρας με υγρασία από το προϊόν) αέρα, ρυθμίζονται από την παροχή του ανοίγματος (8).

Ο ηλιακός ξηραντήρας δωματίου, έχει πολύ μεγάλη δυναμικότητα και αυτό οφείλεται στην ικανότητά του να ενσωματώνει τόσο συλλέκτες θερμού αέρα, όσο και συστήματα νερού με τη χρήση ηλιακών συλλεκτών, που τοποθετούνται στην οροφή του θαλάμου. Εντός του θαλάμου υπάρχουν

εναλλάκτες θερμότητας που αυξάνουν την θερμοκρασία του χώρου, έτσι ώστε να γίνεται αποβολή της υγρασίας από τα προϊόντα.

Ακολουθούν φωτογραφίες που παρουσιάζουν τα ξηραντήρια δωματίου.



**Σχήμα 3.8:** Ηλιακό ξηραντήριο τύπου δωματίου με συλλέκτες νερού.

Πηγή: <http://www.solardry.com.au>



**Σχήμα 3.9:** Ηλιακό ξηραντήριο τύπου δωματίου με συλλέκτες αέρα.

Πηγή: <http://www.solardry.com.au>

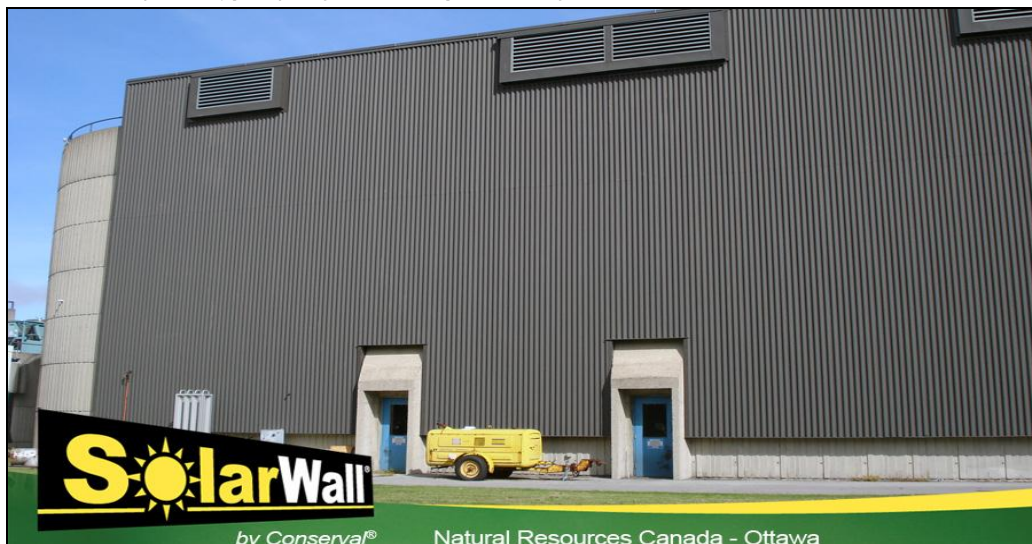
### 3.11 Ξηραντήριο Ηλιακού Τοίχου (Solar Wall).

Ο Ηλιακός Τοίχος είναι μια πολύ έξυπνη κατασκευή που συνεχώς κερδίζει έδαφος λόγω των ιδιοτήτων του, τόσο σε επίπεδο οικονομικής εκμετάλλευσης της ηλιακής ενέργειας, όσο και σε επίπεδο μοντέρνου αρχιτεκτονικού σχεδιασμού κτηρίων. Για την συλλογή της ηλιακής ενέργειας, χρησιμοποιείται μαύρος ή σκούρος διάτρητος συλλέκτης (συνήθως αλουμίνιο), ο οποίος θερμαίνει τον αέρα. Στη συνέχεια ένας ανεμιστήρας, απορροφά τον θερμό αέρα και τον διανέμει στο θάλαμο ξήρανσης.

Υπάρχει δυνατότητα σύνδεσης του ηλιακού τοίχου με θερμο-φωτοβολταϊκά συστήματα, που επιτρέπουν την παραγωγή νερού υψηλής ενθαλπίας, την παραγωγή ηλεκτρικού ρεύματος και ταυτόχρονη αξιοποίησή της (κατανάλωση και αποθήκευση), καθώς και την αύξηση της θερμοκρασίας του «εγκλωβισμένου» αέρα σε τιμές μεγαλύτερες από 70°C. Ωστόσο, η θερμοκρασία ξήρανσης μπορεί να ρυθμιστεί από ένα διάφραγμα παράκαμψης ή ακόμα και από μια ηλεκτρική αντίσταση (αν υπάρχουν θερμο-φωτοβολταϊκά).

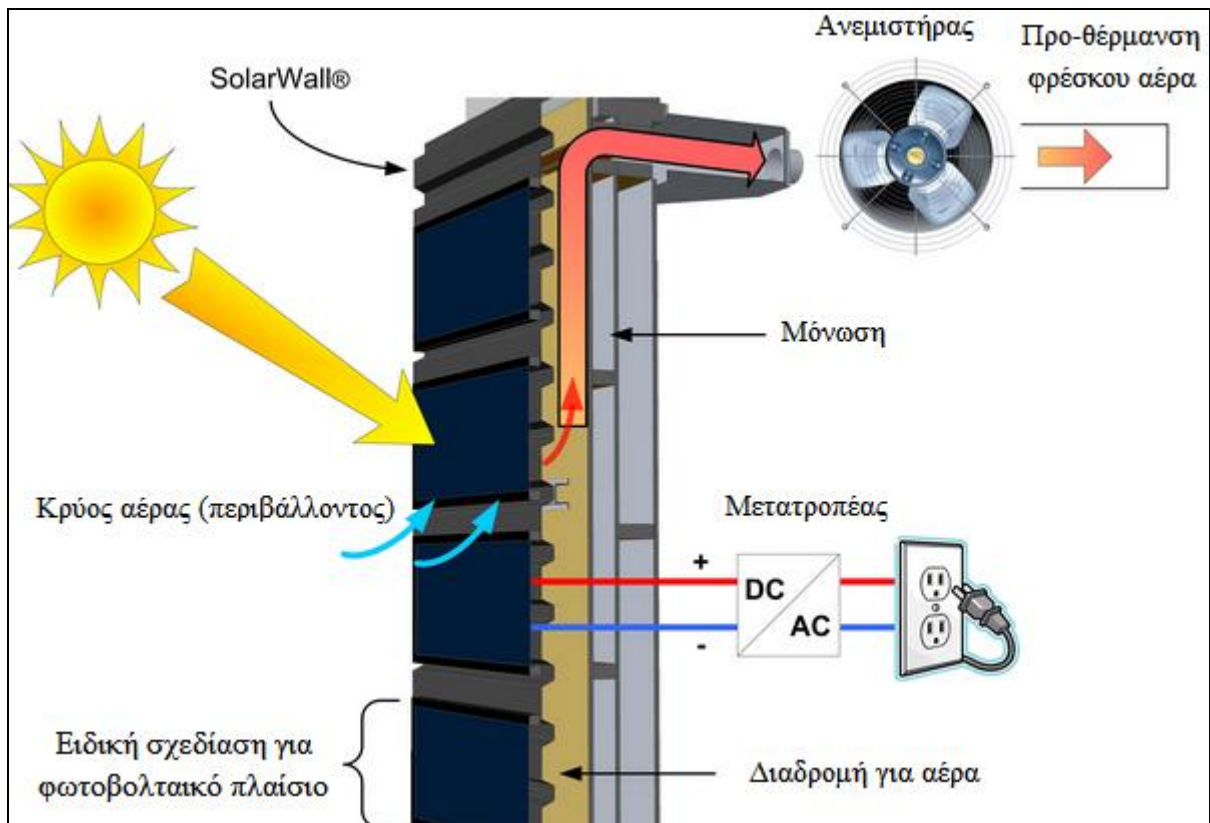
Θερμο - Φωτοβολταϊκά (PV-T) είναι τα συστήματα στα οποία η Φωτοβολταϊκή μονάδα έχει ενσωματωμένο και ηλιακό συλλέκτη (θερμικό), έτσι ώστε εκτός από το να παράγει ηλεκτρικό ρεύμα, ταυτόχρονα θερμαίνει και κυκλοφορούν ρευστό (συνήθως νερό) όπως περίπου λειτουργούν και οι κλασικοί ηλιακοί συλλέκτες. Η απόδοση αυτών ξεπερνά το 75%.

Ακολουθούν φωτογραφίες που παρουσιάζουν τον **SolarWall (Ηλιακό Τοίχο)**.

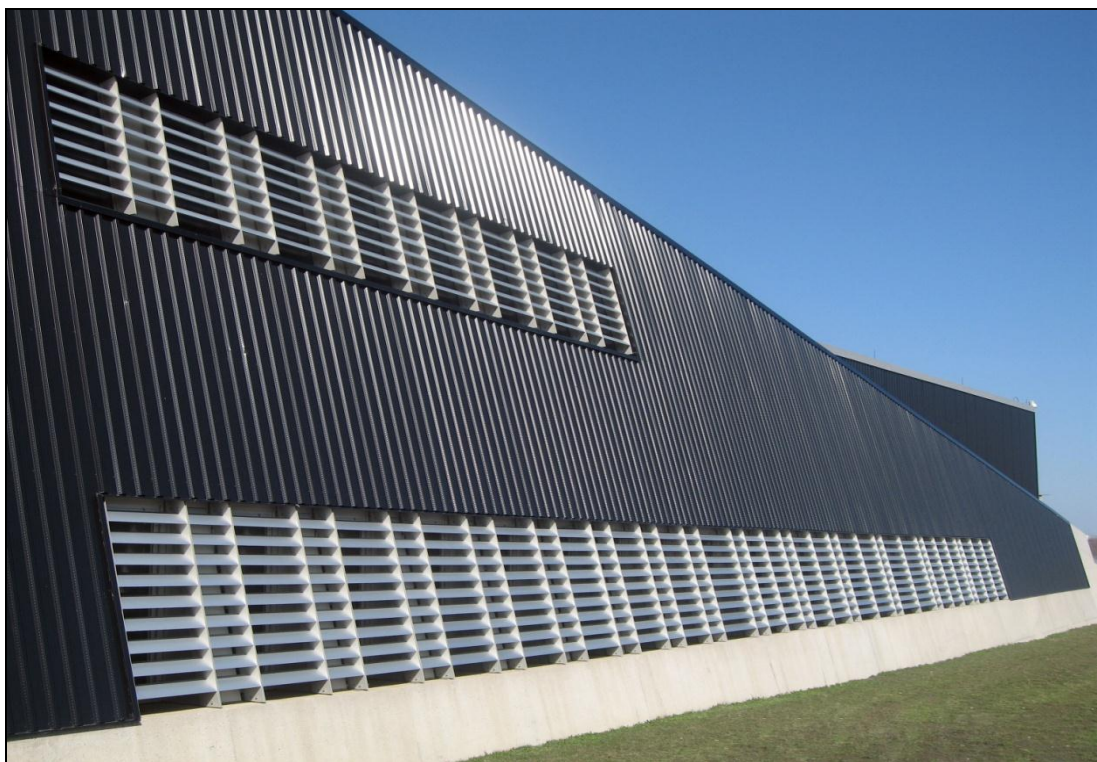


**Σχήμα 3.10:** Ηλιακός Τοίχος σε μεταποιητική μονάδα για παραγωγή θερμού αέρα στον Καναδά.

Πηγή: <http://solarwallfoundation.org>



**Σχήμα 3.11:** Ηλιακός Τοίχος και κύρια χαρακτηριστικά.  
 Πηγή: <http://greenevolution.ru/enc/wiki/tecnologiya-solarwall/>



**Σχήμα 3.12:** Ηλιακός Τοίχος σε μεταποιητική μονάδα για παραγωγή θερμού αέρα στη Ρωσία.

Πηγή: [www.greenevolution.ru](http://www.greenevolution.ru)

### 3.12 Επιλογή ηλιακού ξηραντήρα.

Η επιλογή του τύπου του ηλιακού ξηραντήρα προϊόντων εξαρτάται από μια σειρά παραμέτρων, οι κυριότερες αυτών είναι οι κλιματολογικές συνθήκες, η γεωγραφική τοποθεσία του ξηραντήριου, το προϊόν που πρόκειται να επεξεργαστεί καθώς και ο οικονομικός προϋπολογισμός.

Εάν το ηλιακό ξηραντήριο πρόκειται να χρησιμοποιηθεί για την κάλυψη αναγκών σε μικρή κλίμακα, όπως ατομική ή οικογενειακή κατανάλωση, τότε το αρχικό κόστος της κατασκευής του ξηραντήριου είναι ο σημαντικότερος παράγοντας που επηρεάζει την επιλογή. Σε αυτές τις περιπτώσεις, τις περισσότερες φορές κατασκευάζονται απλοί ηλιακοί ξηραντήρες (ανάλογα με το προϊόν και το μέγεθος της παραγωγής), χωρίς κάποιο ιδιαίτερο κόστος.

Όταν το ηλιακό ξηραντήριο πρέπει να εξυπηρετεί μεγάλη παραγωγή προϊόντων και αυτά αποτελούν κλάδο της εξωστρέφειας (παραδείγματος χάριν αγροτικά τρόφιμα, φρούτα, λαχανικά, καπνά), τότε συνήθως επιλέγονται ηλιακά ξηραντήρια που συνδυάζουν τη χρήση ανεμιστήρων και ηλιακών συλλεκτών με γυαλί.

## 4. Θεωρία της ηλιακής ξήρανσης.

### 4.1 Στοιχεία της ξήρανσης.

Η ξήρανση είναι μια περίπλοκη διαδικασία κατά την οποία έχουμε ταυτόχρονη μεταφορά θερμότητας και μάζας σε συνδυασμό με φυσικούς ή χημικούς μετασχηματισμούς οι οποίοι με τη σειρά τους μπορούν να προκαλέσουν αλλαγές στην ποιότητα του τελικού προϊόντος. Οι φυσικές αλλαγές που μπορούν να συμβούν κατά τη διεργασία της ξήρανσης είναι η συρρίκνωση του προϊόντος, διόγκωση και κρυστάλλωση. Σε μερικές περιπτώσεις επιθυμητές ή όχι χημικές και βιοχημικές αντιδράσεις μπορούν να συμβούν έχοντας ως αποτέλεσμα αλλαγές στο χρώμα, την υφή, την οσμή και άλλες ιδιότητες του στερεού προϊόντος.

Η ξήρανση επιτυγχάνεται με ατμοποίηση του υπάρχοντος υγρού στο προϊόν παρέχοντάς του την κατάλληλη θερμότητα και μετατρέποντας το τελικά σε ένα ξηρό προϊόν. Η θερμότητα αυτή παρέχεται είτε με συναγωγή είτε με αγωγή είτε με ακτινοβολία.



Περίπου το 85% των βιομηχανικών ξηραντήριων κάνουν απευθείας ξήρανση με την παροχή αέρα ή άλλου αερίου ως το μέσο ξήρανσης και το 99% των ξηραντήριων αφορούν απομάκρυνση του νερού από το προϊόν. Όλοι οι τρόποι εκτός των διηλεκτρικών (μικροκύματα ή ηλεκτρομαγνητικά κύματα) παρέχουν τη θερμότητα στα σύνορα του υπό ξήρανση υλικού έτσι ώστε αυτή να διαχέεται πρωτίστως με συναγωγή.

Η κατανόηση της συμπεριφοράς του νερού που περιέχεται στα τρόφιμα είναι ιδιαίτερα σημαντική κατά τη μελέτη των διεργασιών ξήρανσης, καθώς:

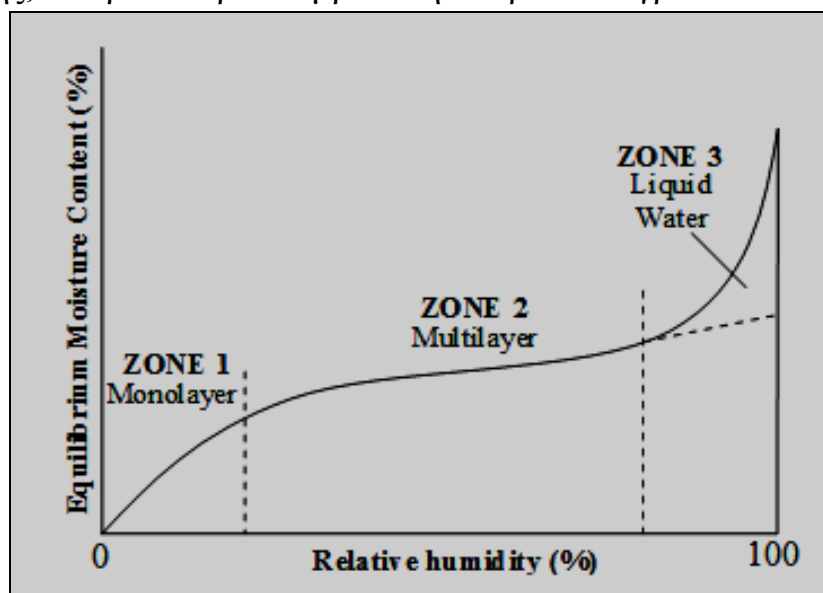
- Η ευκολία ή η δυσκολία απομάκρυνσης νερού εξαρτάται από τη μερική πίεση και την ενέργεια δέσμευσης του νερού στα τρόφιμα.
- Η ενεργότητα (δραστικότητα) του νερού επηρεάζει καθοριστικά τη σταθερότητα των τροφίμων.

Η ενεργότητα (δραστικότητα) του νερού ( $a_w$ ) σε ένα προϊόν δίνεται από το λόγο της τάσης των υδρατμών στο συγκεκριμένο προϊόν ( $p$ ) προς την τάση ατμών στην επιφάνεια καθαρού νερού ( $P_o$ ) στην ίδια θερμοκρασία.

Επίσης είναι ίση με το ποσοστό της σχετικής υγρασίας (RH %) του περιβάλλοντος με το οποίο βρίσκεται σε ισορροπία το προϊόν.

$$a_w = \frac{p}{P_o} = \frac{RH}{100} \quad (4.1)$$

Η σχέση μεταξύ της περιεχόμενης υγρασίας και της ενεργότητας του νερού σε ένα προϊόν σε σταθερή θερμοκρασία, απεικονίζεται με τις ισοθερμικές καμπύλες υγρασίας. Οι καμπύλες αυτές διακρίνονται σε δυο κατηγορίες. Τις καμπύλες ρόφησης και εκ-ρόφησης, ανάλογα με το εάν κατά τον προσδιορισμό της καμπύλης, το προϊόν προσλαμβάνει ή αποβάλλει υγρασία.



**Σχήμα 4.1:** Ισοθερμική καμπύλη υγρασίας.

Πηγή: <http://theses.ulaval.ca>

Ο ρόλος της ενεργότητας του νερού στη σταθερότητα των τροφίμων είναι διττός. Σε χαμηλά επίπεδα ενεργότητας, το νερό δεν είναι ικανό να ευνοήσει την ανάπτυξη των μικροοργανισμών. Ακόμα, το νερό παίζει καθοριστικό ρόλο στην πορεία των χημικών αντιδράσεων που συντελούνται σε ένα τρόφιμο, καθώς μπορεί να συμμετέχει σαν διαλύτης, σαν καταλύτης, σαν αντιδρών ή ρυθμιστής ανασταλτικών δραστηριοτήτων άλλων ενώσεων. Μέσα από τους μηχανισμούς αυτούς, τα χαμηλά επίπεδα της ενεργότητας του νερού προσδίδουν σταθερότητα στα τρόφιμα, κοινώς, επιμηκύνουν τη διάρκεια της εμπορικής τους ζωής. Στα τρόφιμα είναι αδύνατον να υπάρχει ενεργότητα  $a_w=1$ . Ανάλογα με το βαθμό δέσμευσης, το νερό που περιέχεται σε ένα τρόφιμο ή προϊόν κατατάσσεται σε τρεις κατηγορίες.

Κατά τη διάρκεια της ξήρανσης, το πρώτο νερό που θα απομακρυνθεί είναι το νερό **Τύπου III**. Το νερό αυτό έχει ενεργότητα χαμηλότερη από αυτή του καθαρού νερού ( $a_w=1$ ) και αντιπροσωπεύει το μεγαλύτερο μέρος του νερού του προϊόντος που περιέχεται στους ζωικούς και φυτικούς ιστούς. Είναι υπεύθυνο για την ανάπτυξη μικροοργανισμών και χημικών αντιδράσεων. Απομακρύνεται εύκολα από τη δομή του προϊόντος και όταν αυτό απομακρυνθεί, σταδιακά παρουσιάζει και χαμηλότερη ενεργότητα. Η περιεκτικότητα του προϊόντος σε υγρασία φτάνει τα 12 έως 25% και η ενεργότητα του νερού σε 0,8 (ανάλογα με το προϊόν και τη θερμοκρασία).

Το νερό **Τύπου II** στη συνέχεια, είναι αρκετά δυσκολότερο να απομακρυνθεί από το προϊόν, σε σχέση με το τύπου III. Η μερική απομάκρυνση του νερού αυτού του τύπου περιορίζει στο ελάχιστο τη δυνατότητα μικροβιακής ανάπτυξης και μειώνει σημαντικά την ταχύτητα των περισσότερων χημικών αντιδράσεων. Η περιεκτικότητα του προϊόντος σε υγρασία φτάνει τα 12 έως 7%.

Το τελικό νερό **Τύπου I**, που αντιπροσωπεύει την πλήρη ή σχεδόν πλήρη απομάκρυνση του νερού, μέχρι ποσοστού υγρασίας 3 έως 7%. Το νερό αυτού του τύπου είναι τόσο ισχυρά δεσμευμένο, ώστε οποιεσδήποτε αντιδράσεις εξαρτώνται από ύπαρξη διαλύτη, προχωρούν τόσο αργά που η ταχύτητα δεν μπορεί να μετρηθεί.

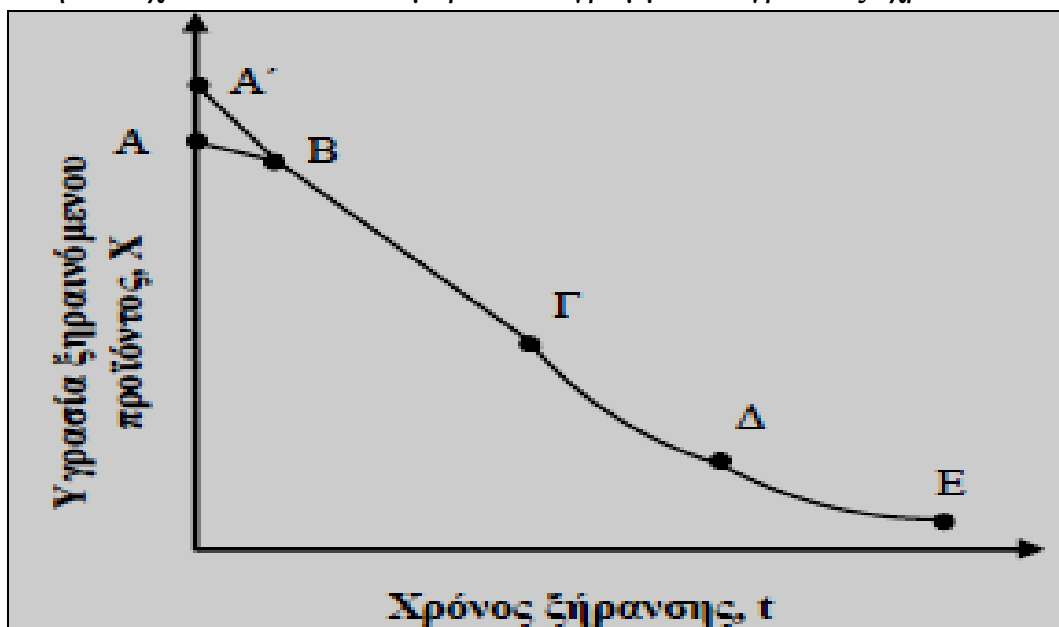
#### **4.2 Ρυθμός ξήρανσης.**

Κατά τη διάρκεια της ξήρανσης, τα μόρια του νερού μεταφέρονται από το εσωτερικό προς την επιφάνεια του ξηραίνόμενου υλικού, η οποία βρίσκεται σε επαφή με το μέσο ξήρανσης (θερμό αέρα). Όταν τα μόρια του νερού βρεθούν στην επιφάνεια, μεταφέρονται στην κύρια μάζα του αέρα λόγω διαφοράς πίεσης υδρατμών μεταξύ αέρα και επιφάνειας υλικού. Η διαφορά αυτή σηματοδοτεί και το τέλος της διαδικασίας της ξήρανσης. Ο ρυθμός της ξήρανσης καθορίζεται είτε από το ρυθμό μεταφοράς νερού από το εσωτερικό προς την επιφάνεια του υλικού, είτε από την εξάτμιση του νερού (ανάλογα με τις συνθήκες ξήρανσης).

### 4.3 Καμπύλες ξήρανσης.

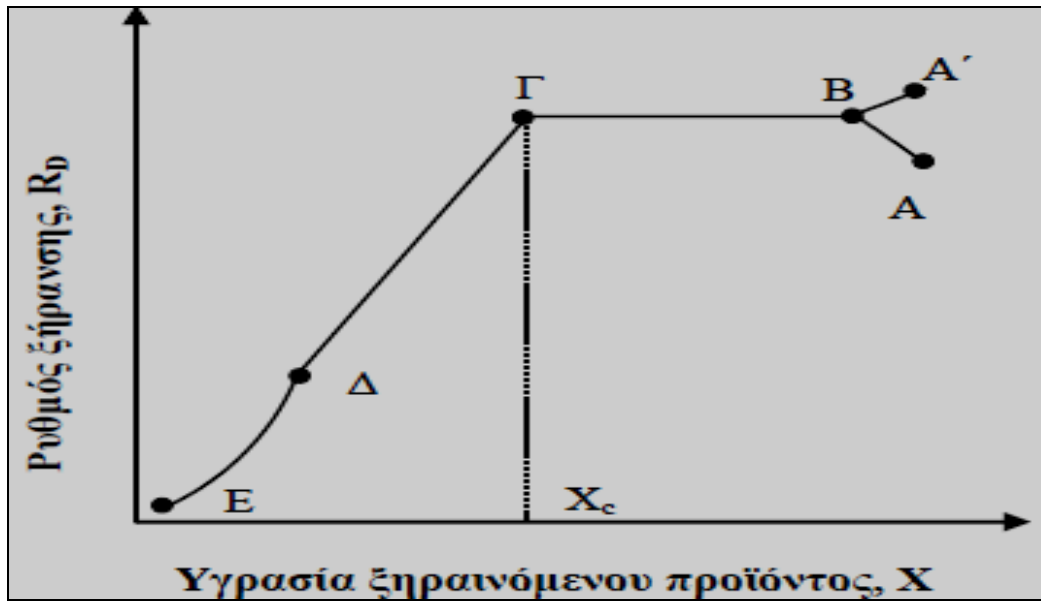
Η πορεία της ξήρανσης ενός προϊόντος δεν είναι δυνατόν να προβλεφθεί μέσα από τις φυσικές, χημικές ιδιότητες και τα χαρακτηριστικά της διάταξης του συστήματος ξήρανσης. Απαιτούνται πειραματικά δεδομένα από πρότυπους ρυθμιζόμενους ξηραντήρες, για τον σχεδιασμό παραγωγικών και αποδοτικών βιομηχανικών ξηραντήρων. Τα δεδομένα αυτά χρησιμοποιούνται στην κατασκευή, τόσο ποσοτικών, όσο και ποιοτικών διαγραμμάτων υγρασίας συναρτήσει του χρόνου. Ακόμα μπορούν να κατασκευαστούν διαγράμματα της καμπύλης του ρυθμού ξήρανσης, συναρτήσει της περιεκτικότητας σε υγρασία.

Στη συνέχεια ακολουθούν μερικά διαγράμματα υγρασίας- χρόνου.



**Σχήμα 4.2:** Τυπική καμπύλη ξήρανσης για σταθερές συνθήκες. Μεταβολή της υγρασίας του προϊόντος, συναρτήσει του χρόνου.

Πηγή: <http://lpad.chemeng.ntua.gr>



Σχήμα 4.3 Τυπική καμπύλη ξήρανσης για σταθερές συνθήκες. Μεταβολή του ρυθμού ξήρανσης του προϊόντος, συναρτήσει της υγρασίας ξηραίνόμενου προϊόντος.

Πηγή: <http://lpad.chemeng.ntua.gr>

### Περιγραφή τμημάτων του διαγράμματος.

#### Τμήμα AB:

Είναι το πρώτο στάδιο ξήρανσης, το οποίο καλείται *περίοδος προσαρμογής θερμοκρασίας*. Για  $t=0$  η αρχική ελεύθερη υγρασία βρίσκεται στο σημείο A, (στη αρχή το προϊόν ενσαρκώνει χαμηλότερη θερμοκρασία από την τελική θερμοκρασία εξισορρόπησης), οπότε ο ρυθμός ξήρανσης είναι χαμηλός. Αντίθετα, εάν η αρχική θερμοκρασία του προϊόντος είναι μεγαλύτερη σε σχέση με τη θερμοκρασία ξήρανσης, τότε ο ρυθμός ξήρανσης βρίσκεται στο A'. Στο σημείο B η θερμοκρασία έχει γίνει ίση με τη θερμοκρασία εξισορρόπησης.

#### Τμήμα ΒΓ:

Κατά την περίοδο αυτή, ωθούνται συνθήκες δυναμικής ισορροπίας. Η ξήρανση πραγματοποιείται με σταθερό ρυθμό, ο οποίος είναι ο υψηλότερος που καταγράφεται σε όλη τη διεργασία της ξήρανσης. Η επιφάνεια του προϊόντος διατηρείται κορεσμένη, λόγω της επαρκούς μεταφοράς υγρασίας από το εσωτερικό του. Η μεταφορά θερμότητας από τον περιβάλλοντα αέρα στο προϊόν αντισταθμίζεται από την ψύξη που προκαλείται, λόγω του φαινομένου της εξάτμισης. Έτσι η θερμοκρασία της επιφάνειας παραμένει σταθερή και περίπου ίση με την θερμοκρασία υγρού βολβού.

### Τμήμα ΓΔ:

Αποτελεί την πρώτη περίοδο μειωμένου ρυθμού ξήρανσης. Το σημείο Γ αντιστοιχεί στην κρίσιμη υγρασία, δηλαδή νερό που εξατμίζεται δεν μπορεί να αναπληρωθεί πλήρως, έτσι εμφανίζονται ορισμένες ξηρές περιοχές στο προϊόν. Ο ρυθμός αρχίζει να μειώνεται. Η περίοδος αυτή, συνεχίζεται έως ότου εξαλειφθούν οι υγρές περιοχές από την εξωτερική επιφάνεια του υλικού.

### Τμήμα ΔΕ:

Αποτελεί τη δεύτερη περίοδο ξήρανσης μειωμένου ρυθμού και το τελευταίο στάδιο της διεργασίας της ξήρανσης. Κατά την περίοδο αυτή, η θερμοκρασία του προϊόντος αυξάνεται και η αντίσταση στη μεταφορά μάζας εντοπίζεται στο ξηρό επιφανειακό στρώμα. Η ξήρανση συνεχίζεται με φθίνοντα ρυθμό, έως ότου η περιεχόμενη στο υλικό υγρασία, να έρθει σε ισορροπία με την υγρασία του περιβάλλοντος αέρα.

## 4.4 Περίοδος σταθερού ρυθμού ξήρανσης.

Κατά την περίοδο αυτή, ο ρυθμός ξήρανσης βρίσκεται σε ισορροπία. Η επιφάνεια του στερεού είναι κορεσμένη με νερό και η ξήρανση λαμβάνει χώρα με διάχυση του νερού στο γύρω χώρο. Η θερμότητα εξατμίσεως μεταδίδεται στη διεπιφάνεια στερεού αέρος με μεταφορά εξ επαφής με θερμό ρεύμα αέρος, με αγωγή και με ακτινοβολία. Στην περίπτωση μεταφοράς εξ επαφής με ρεύμα αέρα, από το ενεργειακό ισοζύγιο μπορούμε να πάρουμε την σχέση:

$$-\frac{d_w}{d_t} = \frac{h \cdot A \cdot \Delta T}{\lambda} = k_y \cdot A \cdot (w_w - w_a)$$

(4.2)

**-dw/dt**= ρυθμός ξήρανσης υγρής βάσης (kg νερού/sec).

**h<sub>t</sub>**= συντελεστής μεταφοράς θερμότητας (W/m<sup>2</sup>K).

**k<sub>y</sub>**= συντελεστής μεταφοράς μάζας (W/sec<sup>2</sup>).

**A**= επιφάνεια εξατμίσεως (m<sup>2</sup>).

**λ**= λανθάνουσα θερμότητα εξατμίσεως του νερού (J/kg).

**ΔT** = T - T<sub>w</sub> διαφορά θερμοκρασίας μεταξύ αέρα-επιφάνειας εξατμίσεως (K)

**T<sub>w</sub>**= θερμοκρασία επιφάνειας εξατμίσεως (K).

**T**= θερμοκρασία ξηρού θερμομέτρου του αέρα (K).

**w<sub>w</sub>**=υγρασία κορεσμένου αέρα σε θερμοκρασία T<sub>w</sub> (kg νερού/kg ξηρού αέρα)

**w<sub>a</sub>**=υγρασία κύριας μάζας αέρα (kg νερού/kg ξηρού αέρα)

#### 4.5 Παράγοντες που επηρεάζουν την ξήρανση.

Οι συνθήκες και οι πρακτικές που εφαρμόζονται κατά τη διάρκεια της ξήρανσης καθώς και η σύσταση του ξηραινόμενου προϊόντος παρουσιάζουν σημαντική επιρροή στον ρυθμό ξήρανσης. Η κατανόηση της επίδρασης αυτής είναι ιδιαίτερα σπουδαία για την εκτίμηση του απαιτούμενου χρόνου ξήρανσης ενός προϊόντος, κάτω από συγκεκριμένες συνθήκες και πρακτικές.

##### i. Η θερμοκρασία του αέρα ξήρανσης.

Η αύξηση της θερμοκρασίας του αέρα για συγκεκριμένη απόλυτη υγρασία, προκαλεί μείωση της σχετικής υγρασίας. Η μείωση αυτή, με τη σειρά της, είναι αλληλένδετα συνδεδεμένη με την αύξηση της κινητήριας δύναμης για την απομάκρυνση της υγρασίας από την επιφάνεια του ξηραινόμενου προϊόντος, με συνέπεια να δημιουργείται αύξηση του ρυθμού ξήρανσης κατά την περίοδο σταθερού ρυθμού. Ακόμα, προσδίδοντας μεγαλύτερη θερμοκρασία στον αέρα, διευκολύνεται η μοριακή διάχυση του νερού στο εσωτερικό του προϊόντος. Επομένως, με την αύξηση της θερμοκρασίας ενισχύεται ο ρυθμός ξήρανσης. Ωστόσο οι πολύ υψηλές θερμοκρασίες του αέρα, μπορεί να δημιουργήσουν σοβαρές χημικές ή φυσικές μεταβολές στον τελικό προϊόν.

##### ii. Η ταχύτητα του αέρα ξήρανσης.

Με την αύξηση της ταχύτητας του αέρα ευνοείται η μεταφορά μάζας με συναγωγή από την εξωτερική επιφάνεια του ξηραινόμενου προϊόντος προς τον αέρα, αυξάνοντας έτσι το ρυθμό ξήρανσης στην περίοδο σταθερού ρυθμού. Αυτό σημαίνει ότι μειώνεται και η χρονική διάρκεια αυτής της περιόδου. Αντιθέτως, η περίοδος μειωμένου ρυθμού δεν επηρεάζεται από την ταχύτητα του μέσου ξήρανσης.

##### iii. Η σχετική υγρασία του αέρα ξήρανσης.

Η περιεκτικότητα του αέρα σε υγρασία, η οποία εκφράζεται με την τάση υδρατμών του, δηλαδή με τη σχετική του υγρασία, επηρεάζει την κινητήρια δύναμη για τη μεταφορά μάζας από την επιφάνεια του προϊόντος προς τον αέρα. Για συγκεκριμένο προϊόν, η αύξηση της σχετικής υγρασίας του αέρα προκαλεί μείωση της κινητήριας δύναμης και σαν αποτέλεσμα έχει τη μείωση του ρυθμού ξήρανσης στην περίοδο σταθερού ρυθμού. Αντιθέτως, η σχετική υγρασία του αέρα επηρεάζει

ελάχιστα την περίοδο μειωμένου ρυθμού. Η επίδρασή της σχετίζεται σε σημαντικό βαθμό με την υγρασία ισορροπίας του ξηραϊνόμενου προϊόντος (ισόθερμη εκρόφηση).

**iv. Ξηραϊνόμενη επιφάνεια προϊόντος.**

Οι διαστάσεις και ο όγκος του ξηραϊνόμενου προϊόντος εμφανίζει μεγάλη επιρροή, αφού η απόστασεις που πρέπει να διανύσουν τα μόρια του νερού στο εσωτερικό του προϊόντος προσδιορίζουν την ταχύτητα ξήρανσης. Όταν το προϊόν που θα δεχθεί την ξήρανση είναι διαιρεμένο σε κομμάτια μικρότερου μεγέθους, αυξάνεται η ελεύθερη επιφάνειά του και μειώνεται η διανυόμενη από τα μόρια του νερού απόσταση, με αποτέλεσμα να έχουμε πιο γρήγορες μεταβολές στο εσωτερικό του προϊόντος. Έτσι επιτυγχάνεται ο ταχύτερος ρυθμός ξήρανσης.

**v. Η πίεση.**

Η πίεση επηρεάζει την υγρασία ισορροπίας του ξηραϊνόμενου υλικού και μπορεί να επιδράσει στον ρυθμό ξήρανσης. Όταν η ξήρανση πραγματοποιηθεί κάτω από συνθήκες υπό κενό, τότε η τάση υδρατμών του αέρα μειώνεται και ο ρυθμός ξήρανσης της περιόδου σταθερού ρυθμού αυξάνεται.

**vi. Ο προσανατολισμός του προϊόντος.**

Ο προσανατολισμός της μικροδομής του προϊόντος προς ξήρανση επηρεάζει το ρυθμό μεταφοράς υγρασίας στο εσωτερικό του. Η μεταφορά της υγρασίας συσχετίζεται με την διεύθυνση στην οποία λαμβάνει μέρος η διαδικασία της ξήρανσης, ανάλογα με τον προσανατολισμό των συστατικών του προϊόντος.

**vii. Κυτταρική δομή του προϊόντος.**

Στα περισσότερα προϊόντα ένα μέρος της υγρασίας βρίσκεται στο εσωτερικό των κυττάρων και ένα άλλο μέρος υπάρχει στο εξωτερικό αυτού. Όταν το υφιστάμενο προϊόν εισέλθει στην διαδικασία της αφαίρεσης της υγρασίας του, η μετακίνηση του νερού που βρίσκεται εσωτερικά των κυττάρων, πραγματοποιείται με μεγάλη δυσκολία, διότι υπάρχει ήδη αντίσταση κατά μήκος της κυτταρικής μεμβράνης. (εξωτερική υγρασία). Όταν στη μεμβράνη αυτή δημιουργηθούν

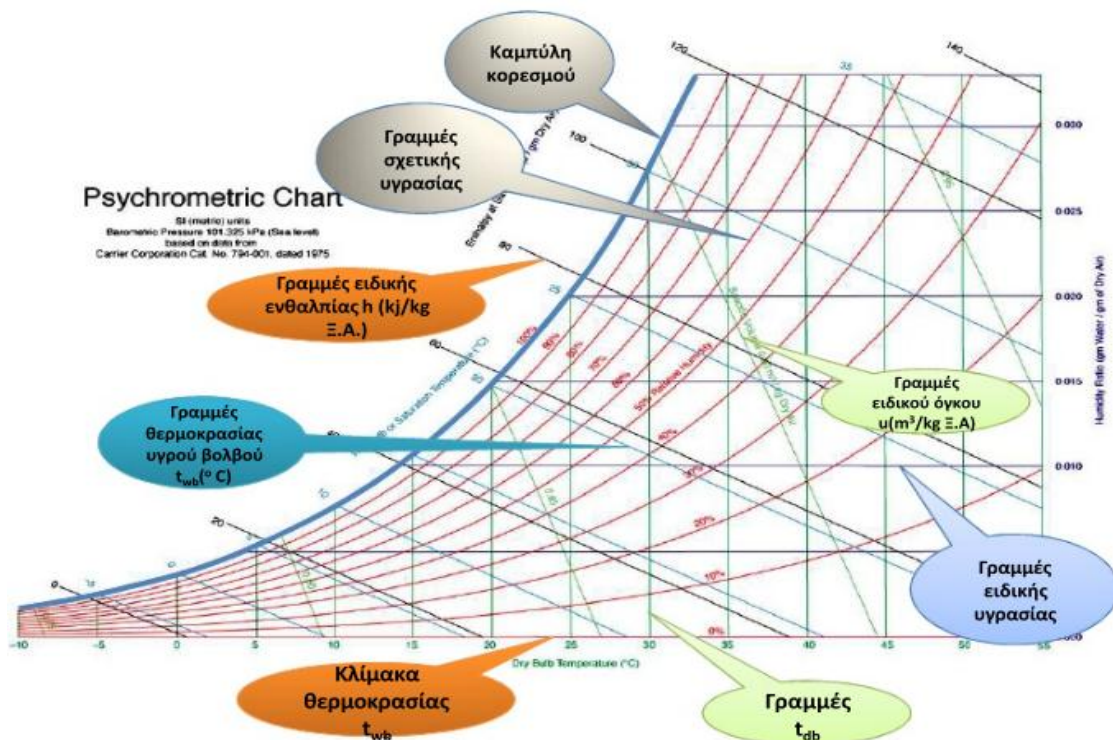
αλλοιώσεις, τότε μπορεί να επέλθουν ανεπιθύμητες επιδράσεις στις ιδιότητες του παραγόμενου ξηρού προϊόντος.

**viii. Τύπος και συγκέντρωση διαλυμένων ουσιών στο ξηραίνόμενο προϊόν.**

Τα συστατικά ενός προϊόντος προσδιορίζουν την κινητικότητα των μορίων του νερού κατά τη διάρκεια της ξήρανσης. Διαλυμένα συστατικά όπως σάκχαρα, πρωτεΐνες και άλλα, όταν παρουσιαστούν σε μεγάλες συγκεντρώσεις, μπορεί να επιβραδύνουν την κινητικότητα των μορίων του νερού. Ακόμα η ύπαρξη αυτών επηρεάζει άμεσα την ενεργότητα του νερού που με την σειρά του μεταβάλλει τον ρυθμό ξήρανσης.

#### 4.6 Αέρας ξήρανσης.

Ο πιο διαδεδομένος τρόπος ξήρανσης, χρησιμοποιεί την αισθητή θερμότητα του αέρα. Έτσι είναι πολύ εύκολο να εντοπιστούν τα σημεία για τον αέρα από τον ψυχομετρικό χάρτη, όταν αυξάνεται η θερμοκρασία του ρευστού από τη θερμοκρασία περιβάλλοντος στην τελική θερμοκρασία κατά την οποία γίνεται η διεργασία της ξήρανσης και τέλος, όταν εξέρχεται από το προϊόν. Η διαδικασία θεωρείται αδιαβατική, καθώς όλη η αισθητή θερμότητα του αέρα χρησιμοποιείται για την εξάτμιση της υγρασίας και μετατροπή σε λανθάνουσα θερμότητα των υδρατμών στον αέρα ξήρανσης.



Σχήμα 4.4: Ψυχομετρικός χάρτης

Πηγή: <http://www.scribd.com/>



#### 4.7 Ανακύκλωση αέρα ξήρανσης.

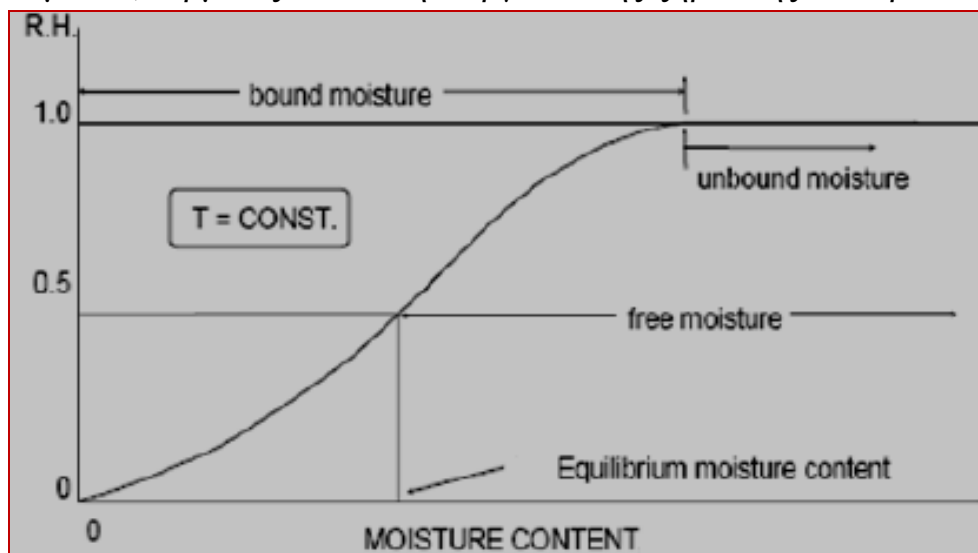
Στο ηλιακό ξηραντήριο τροφών που έχει κατασκευαστεί, έχει εφαρμοστεί σύστημα ανακύκλωσης του αέρα ξήρανσης. Στο σύστημα ο θερμός αέρας που εξέρχεται είτε από το θάλαμο ξήρανσης, είτε από κάποια άλλη βοηθητική πηγή (εναλλάκτης θερμότητας με συμβατική πηγή ενέργειας), προτού εισέλθει ξανά στο θάλαμο ξήρανσης, αναμιγνύεται ένα μέρος του με τον αέρα που εξέρχεται (έξοδος του ξηραντήρα) και ένα άλλο μέρος του με τον εισερχόμενο αέρα (από την έξοδο του ηλιακού συλλέκτη).

Με αυτόν τον τρόπο εξοικονομούμε επιπλέον ενέργεια που θα χανόταν στο περιβάλλον, καθώς η ροή του θερμού ρευστού θα δέσμευε πολύ μικρό μέρος από την υγρασία του προϊόντος.

#### 4.8 Υγρασία ισορροπίας.

Όταν το θερμό ρευστό, βρίσκεται σε επαφή με το προϊόν για αρκετό χρονικό διάστημα, τότε παρατηρείται μια ισορροπία με την υγρασία του προϊόντος προς ξήρανση. Το ποσοστό του νερού το οποίο δεν μπορεί να απομακρυνθεί πλέον από το προϊόν με τη βοήθεια του αέρα λόγω της υγρασίας ξηραίνόμενου προϊόντος, ονομάζεται υγρασία ισορροπίας.

Σε αυτήν την κατάσταση, η μερική πίεση των υδρατμών του αέρα που υπάρχει εντός του θαλάμου ξήρανσης, είναι ίση με την μερική πίεση των υδρατμών που βρίσκονται γύρω από το προϊόν. Έτσι με την παρουσίαση αυτού του φαινομένου, τερματίζεται και η διεργασία της ξήρανσης του προϊόντος.



Σχήμα 4.5: Καμπύλη ισορροπίας υγρασιών.

Πηγή: <http://lpad.chemeng.ntua.gr>

Για να αποφευχθεί αυτό το φαινόμενο συνήθως χρησιμοποιούμε πλεόνασμα αέρα κατά την διεργασία της ξήρανσης.

Προϊόν	Υγρασία (w %)		Αέρας ξήρανσης Θερμοκρασία (°C)
	Αρχική	Τελική	
Μπανάνα	80	15	70
Κριθάρι	18-20	12	40-82
Τεύτλα	75-85	10-14	
Κάρδαμο	80	10	45-50
Μανιόκα	62	17	70
Τσίλι	90	20	35-40
Σπόροι καφέ	65	11	45-50
Καρυδά	75	5	35-40
Καλαμπόκι	28-32	10-13	43-82
Βαμβάκι	25-35	5-7	
Φασολάκια	70	5	75
Σκόρδα	80	4	55
Σταφύλια	74-78	18	50-60
Χορτονομές	80-90	10-14	
Σανό	30-60	12-16	35-45
Longan	75	20	
Φαρμακευτικά φυτά	85	11	35-50
Βρώμη	20-25	12-13	43-82
Κρεμμύδια	80-85	8	50
Φιστίκια	45-50	13	35
Πιπέρι	80	10	55
Πατάτα	75-85	10-14	70
Πύρεθρο	70	10-13	
Ρύζι	25	12	43
Rye	16-20	11-13	
Sceghum	30-35	10-13	43-82
Φασόλια σόγιας	20-25	11	61-67
Φύλλα σπανάκι	80	10	
Γλυκοπατάτα	75	7	75
Τσάι	75	5	50
Virginia καπνός	85	12	35-70
Σιτάρι	18-20	11-14	43-82

**Σχήμα 4.6:** Πίνακας γεωργικών προϊόντων με δεδομένα ξήρανσης (αρχική υγρασία-τελική υγρασία και θερμοκρασία ξήρανσης).

**Πηγή:** Handbook of industrial drying, Arun S. Mujumdar 2006.

## 5. Υπολογισμοί - Ανάλυση - Κατασκευή του ηλιακού ξηραντήρα.

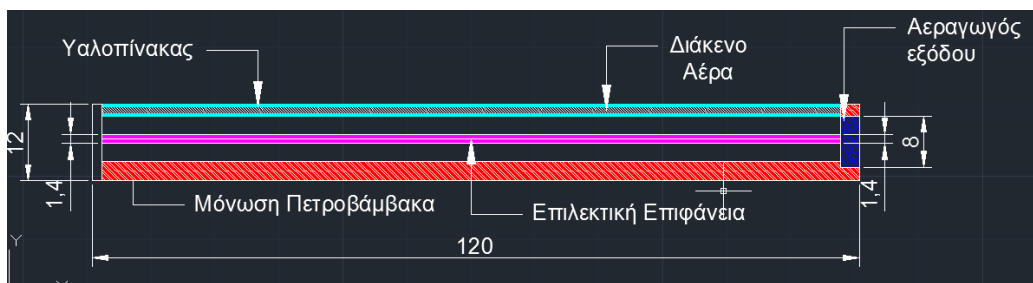
### 5.1 Συλλέκτης αέρος.

#### 5.1.1 Εισαγωγή.

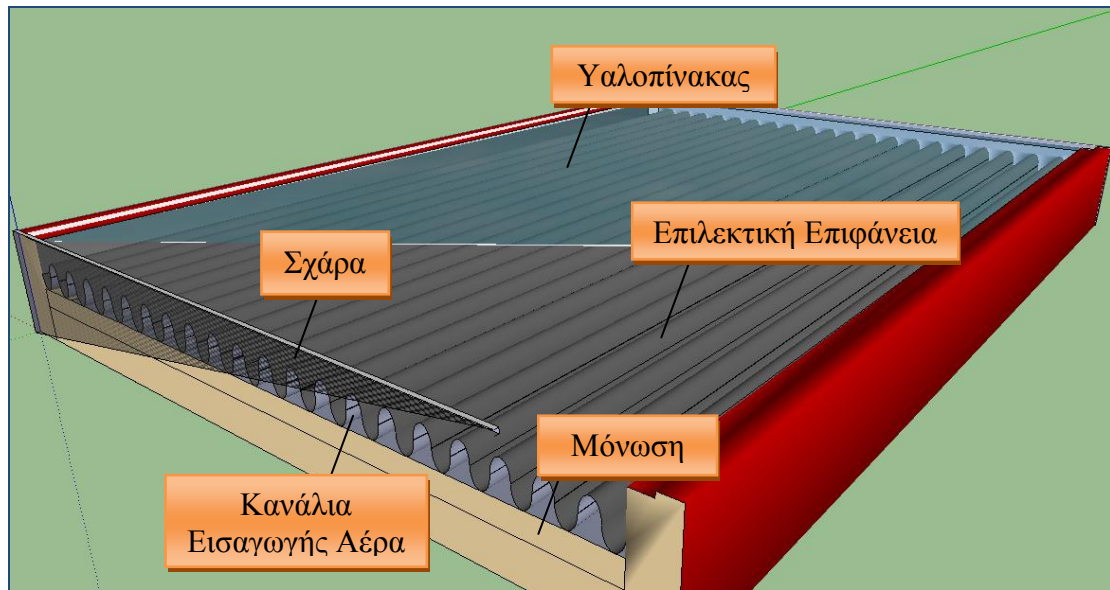
Η συσκευή που επιλέξαμε να κατασκευάσουμε για την εκμετάλλευση της ηλιακής ακτινοβολίας είναι ο επίπεδος ηλιακός συλλέκτης αέρος. Στην ουσία είναι ένας εναλλάκτης θερμότητας ο οποίος μετατρέπει την προσπίπτουσα ηλιακή ακτινοβολία σε θερμότητα. Η ροή της ακτινοβολίας στο επίπεδο της γης έχει συνήθως ένα μέγιστο της τάξεως του  $1100 \text{ W/m}^2$  και ευρίσκεται σε μήκος κύματος μεταξύ  $0.29$  και  $2.5 \mu\text{m}$ . Η θερμοκρασία εξόδου του ρευστού από έναν επίπεδο ηλιακό συλλέκτη είναι της τάξεως μέχρι  $100 \text{ }^\circ\text{C}$  (οι συγκεντρωτικοί συλλέκτες φθάνουν σε υψηλότερες θερμοκρασίες). Ο επίπεδος ηλιακός συλλέκτης εκμεταλλεύεται την άμεση, την διάχυτη και την ανακλώμενη από το έδαφος ηλιακή ακτινοβολία.

Τα βασικά στοιχεία ενός επίπεδου ηλιακού συλλέκτη είναι:

- το κάλυμμα, συνήθως από γυαλί, αλλά και από διαφανές πλαστικό.
- η μαύρη απορροφητική επιφάνεια, η οποία μπορεί να είναι και από ειδική επιλεκτικά απορροφούσα ουσία.
- το δίκτυο μεταφοράς του ρευστού, πάνω στο οποίο συνήθως είναι ενσωματωμένη η μαύρη απορροφητική επιφάνεια.
- η θερμομόνωση στο πίσω μέρος και τα πλάγια.
- το περίβλημα που συγκρατεί την κατασκευή και προσφέρει προστασία από το περιβάλλον (βροχή, υγρασία, σκόνη).



*Πλάγια τομή συλλέκτη*

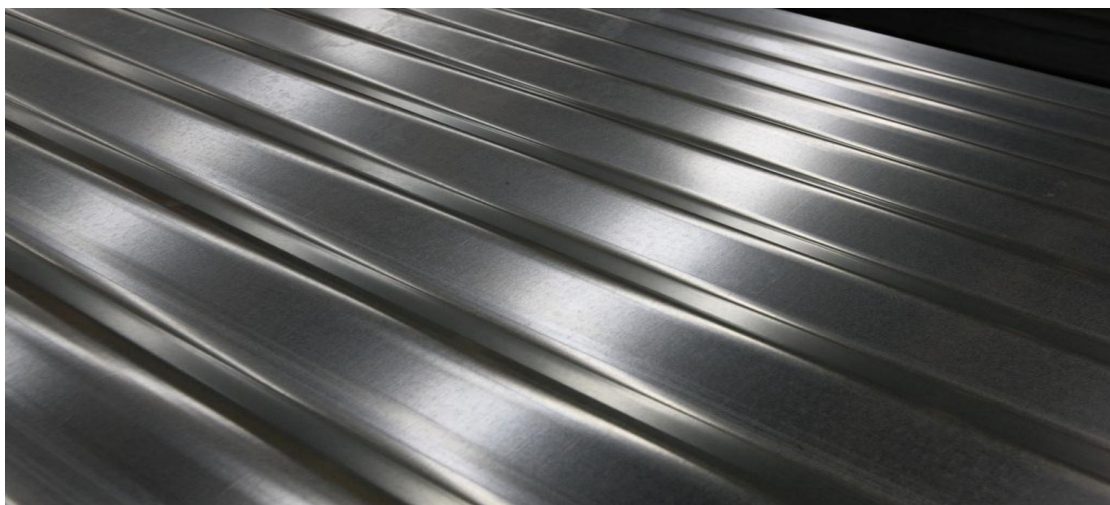


**Σχήμα 5.1:** Μέρη του ηλιακού συλλέκτη αέρος.



**Σχήμα 5.2:** Πετροβάμβακας με αλουμίνιο για τη μόνωση του ηλιακού συλλέκτη αέρος.

Πηγή: <http://v-p.gr/>



**Σχήμα 5.3:** Επιφάνεια ηλιακού συλλέκτη αέρος (βαμμένη μαύρο ματ χρώμα).

Πηγή: [www.sidma.gr](http://www.sidma.gr)

### 5.1.2 Υλικά συλλέκτη αέρος.

Ο συλλέκτης που κατασκευάστηκε τροφοδοτεί με θερμό και ξηρό αέρα το θάλαμο ξήρανσης. Οι διαστάσεις του πλαισίου είναι:

- Υλικό πλαισίου: Γαλβανισμένη λαμαρίνα 1mm.
- Εμβαδόν συλλέκτη:  $A_c=1,20m*0,85m=1,02m^2$
- Μήκος: 1,20 m.
- Πλάτος: 0,85 m.
- Πάχος: 0,12m.
- Κλίση: Δυνατότητα μεταβολής αναλόγως την εποχή. (Συνήθως  $28^\circ \sim 38^\circ$ ).
- Συλλεκτική επιφάνεια: Κυματοειδής λαμαρίνα πάχους 1mm, βαμμένη με μαύρο ματ χρώμα.
- Μόνωση: Ενισχυμένος πετροβάμβακας με φύλλα αλουμινίου πάχους 40mm. Συντελεστής θερμικής αγωγιμότητας ( $\lambda$ ) 0,033 W/mK.
- Στεγάνωση: Μονωτικό αυτοκόλλητο Sika Flex.
- Διάφανο κάλυμμα: Υαλοπίνακας (Tempered Securit) 6mm.
- Συντελεστής διαπερατότητας γυαλιού ( $\tau_a$ )=0,88
- Απόσταση μεταξύ απορροφητή και υαλοπίνακα: 0,02m.
- Απόσταση μεταξύ απορροφητή και μόνωσης: 0,08m.

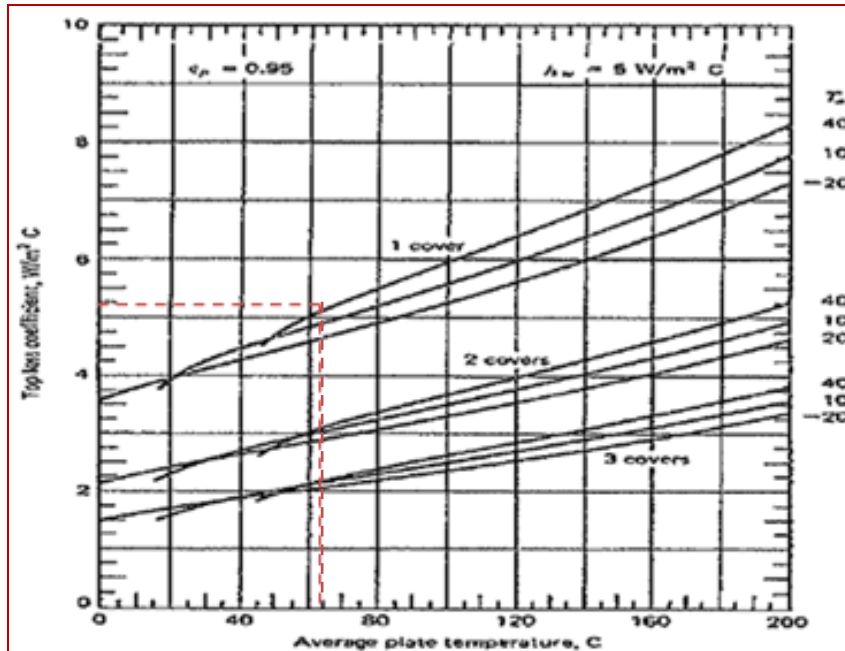
Από διεθνή βιβλιογραφία προκύπτουν ότι:

1. John A. Duffie, William A. Beckman, Solar Engineering of Thermal Processes, Έκδοση 4<sup>η</sup>, Μάιος 2013
2. Καπλάνης Σωκράτης, ΗΛΙΑΚΗ ΜΗΧΑΝΙΚΗ, Έκδοση 1<sup>η</sup>, Ίων 2004

- Συντελεστής μεταφοράς θερμότητας από γυαλί στον αέρα (στην εσωτερική επιφάνεια)  $h_w=5W/m^2K$ .
- Συντελεστής εκπομπής πάνω επιφάνειας απορροφητή  $e_p=0,95$ .
- Θερμοκρασία απορροφητή  $T_p=65^\circ C$ .



**Σχήμα 5.4:** Διάφοροι τύποι υαλοπινάκων. Κοινός υαλοπίνακας (κάτω), υαλοπίνακας χαμηλής περιεκτικότητας σε σίδηρο (πάνω). Πηγή: <https://www.guardian.com/GuardianGlass>



**Σχήμα 5.5:** Διάγραμμα συντελεστή μεταφοράς θερμότητας από το γυαλί στον αέρα (για  $h_w=5\text{W/m}^2\text{K}$ .)

**Πηγή:** John A. Duffie, William A. Beckman, *Solar Engineering of Thermal Processes*, Έκδοση 4<sup>η</sup>, Μάιος 2013

Ο συντελεστής  $U_t$  του ηλιακού συλλέκτη αφορά τις απώλειες θερμότητας από την μπροστινή επιφάνεια του συλλέκτη (απορροφητική επιφάνεια) με εμβαδόν ίσο με  $A_{c1}=1,02\text{m}^2$  και με διαφορά θερμοκρασίας  $\Delta T$  από  $0^\circ\text{C}$  έως  $55^\circ\text{C}$  (υπάρχει μεταβλητότητα στις τιμές  $\Delta T$ , λόγω περιοδικότητας της ηλιακής ακτινοβολίας κάθε ώρα της μέρας). Ο συντελεστής  $U_b$  αφορά τις πλευρικές και πίσω απώλειες του ηλιακού συλλέκτη, με εμβαδόν ίσο με  $A_{c2}=1,02+2(0,12*1,2)+0,102=1,41\text{m}^2$  και ίση διαφορά θερμοκρασίας  $\Delta T$ . Έτσι, η συνολική απώλεια θερμότητας μπορεί να εκφραστεί μέσω του συντελεστή  $U_L$  που είναι το άθροισμα των δύο συντελεστών  $U_t$  και  $U_b$ .

Από διάγραμμα του Σχήματος 5.5 προκύπτει ότι ο συντελεστής απωλειών από την πλευρά του συλλέκτη (γυάλινη πρόσοψη), σε θερμοκρασία  $65^\circ\text{C}$  και με ένα υαλοπίνακα είναι ίσος με:

$$U_t = 5,2 \frac{\text{W}}{\text{m}^2\text{K}}$$

Για τις πλευρικές απώλειες και τις απώλειες κάτω από τον συλλέκτη, δέχομαι ότι ο πετροβάμβακας με φύλλα αλουμινίου έχει θερμική αντίσταση  $R$ , ίση με:

$$R = \frac{d}{\lambda} = \frac{40^{mm}}{0,033 \frac{W}{mK}} = 1,212 \frac{m^2K}{W} \quad (5.1)$$

Έτσι προκύπτει ότι

$$U_b = \frac{1}{R} = \frac{1}{1,212 \frac{m^2K}{W}} = 0,825 \frac{W}{m^2K} \quad (5.2)$$

Οπότε ο συντελεστής ολικών απωλειών είναι

$$U_L = U_t + U_b = 5,2 \frac{W}{m^2K} + 0,825 \frac{W}{m^2K} = 6,025 \frac{W}{m^2K} \quad (5.3)$$

Για τη μέση θερμοκρασία του ρευστού (αέρα,  $T_p=65^\circ C+273=338 \text{ }^\circ K$ ), προκύπτει ότι ο συντελεστής ακτινοβολούμενης θερμότητας είναι ίσος με

$$h_r = \frac{4 \cdot \sigma \cdot T^3}{\frac{1}{\varepsilon_1} + \frac{1}{\varepsilon_2} - 1} = \frac{4 \cdot 5,67 \cdot 10^{-8} \cdot 338^3}{\frac{1}{0,5} + \frac{1}{0,9} - 1} = 4,15 \frac{W}{m^2K} \quad (5.4)$$

Από διεθνή βιβλιογραφία προκύπτει ότι:

$\sigma=5,67 \times 10^{-8} \text{ W/m}^2\text{K}^4$  η σταθερά Stefan-Boltzmann

Συντελεστής εκπομπής κάτω επιφάνειας απορροφητή  $\varepsilon_1=0,5$

Συντελεστής εκπομπής πλαστικού καλύμματος μόνωσης  $\varepsilon_2=0,9$

Για πλάτος συλλέκτη ίσο με 0,85m και πάχος καναλιού 0,08m έχουμε υδραυλική διάμετρο ίση με:

$$D_h = \frac{4 \cdot A}{\text{περίμετρο}}$$

$$\Leftrightarrow D_h = \frac{4 \cdot (0,85^m \cdot 0,08^m)}{0,85^m + 0,08^m + 0,85^m + 0,08^m} \quad (5.5)$$

$$\Leftrightarrow D_h = \frac{0,272^m}{1,86^m} = 0,1462^m$$

Στο σύστημα υπάρχει ευελιξία στην παροχή του αέρα με ηλεκτρικό κύκλωμα. Έτσι έχουμε τη δυνατότητα να ρυθμίζουμε την παροχή από  $0m^3/h$  (Θεωρητικά) έως  $190m^3/h$ . Επιλέγουμε τη μέγιστη τιμή  $190m^3/h$ , ώστε να γνωρίζουμε τα όρια του συστήματος.

Η ταχύτητα του αέρα προκύπτει από την ακόλουθη εξίσωση:

$$\Pi = u \cdot A \Leftrightarrow u = \frac{\Pi}{A} = \frac{190^{m^3/h}}{0,85^m \cdot 0,08^m} = 0,778^{m/sec} \quad (5.6)$$

Όπου

$\Pi$ : παροχή αέρα ( $m^3/h$ ).

$u$ : ταχύτητα του αέρα εντός του συλλέκτη ( $m/sec$ ).

Έτσι ο αριθμός Reynolds ( $Re$ ) προκύπτει ότι :

$$Re = \frac{u \cdot D_h \cdot \rho}{\mu} = \frac{0,778^{m/sec} \cdot 0,1462^m \cdot 1,04^{kg/m^3}}{2,014 \cdot 10^{-5} Pa/sec} = 5873,55 \quad (5.7)$$

Όπου

$D_h$ : υδραυλική διάμετρος (m)

$\rho$ : πυκνότητα του αέρα σε θερμοκρασία  $65^\circ C$  ( $kg/m^3$ ).

$\mu$ : δυναμικό ιξώδες αέρα ( $Pa \cdot sec$ )

Οι υπολογισμοί έγιναν βάσει των πινάκων των θερμο-φυσικών ιδιοτήτων από το βιβλίο «ΗΛΙΑΚΗ ΜΗΧΑΝΙΚΗ» Καπλάνης Σωκράτης, Ίων 2004

Και επειδή  $Re > 2000$  η ροή είναι τυρβώδης, ο αριθμός Nusselt προκύπτει από τη σχέση:

$$Nu = 0,24 \cdot Re^{0,6} \quad (5.8)$$

Ο αριθμός  $Nu$  δείχνει την ενίσχυση της μεταφοράς θερμότητας διαμέσου ενός στρώματος ρευστού λόγω συναγωγής σε σύγκριση με την αγωγή.

$$\begin{aligned} Nu &= 0,24 \cdot Re^{0,6} \\ \Leftrightarrow Nu &= 0,24 \cdot (5873,55)^{0,6} \\ \Leftrightarrow Nu &= 43,81 \end{aligned}$$

Κατά συνέπεια

$$Nu = \frac{h \cdot D_h}{k} \quad (5.9)$$

Όπου  $k = 0,028^{W/mK}$  (συντελεστής θερμικής αγωγιμότητας του αέρα)



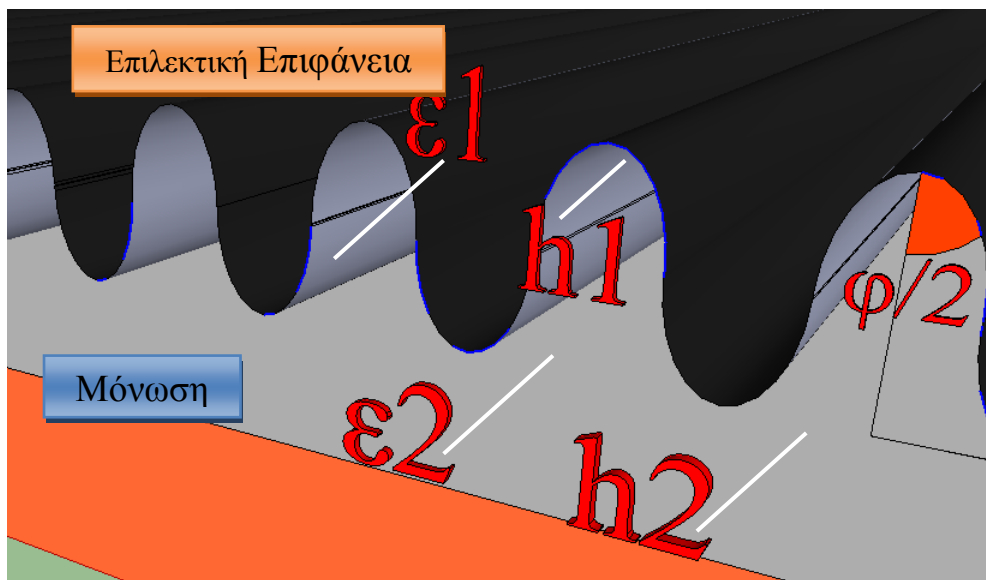
$$Nu = \frac{h \cdot D_h}{k}$$

$$\Leftrightarrow h = \frac{Nu \cdot k}{D_h}$$

$$\Leftrightarrow h = \frac{43,81 \cdot 0,028 \text{ } \frac{W}{mK}}{0,1462 \text{ } m}$$

$$\Leftrightarrow h = 8,39 \text{ } \frac{W}{m^2K}$$

Από γεωμετρικά χαρακτηριστικά της λαμαρίνας έχουμε  $\frac{\phi}{2} = 45^\circ$ . Έτσι προσαρμόζουμε την τιμή του  $h$ , ώστε να αποκρίνεται καλύτερα στα γεωμετρικά χαρακτηριστικά της συλλεκτικής επιφάνειας.



$$h_1 = \frac{h}{\sin \frac{\phi}{2}} = \frac{8,39 \text{ } \frac{W}{m^2K}}{\sin 45^\circ} = 11,9 \text{ } \frac{W}{m^2K} \quad (5.10)$$

$$\text{ενώ } h_2 = h = 8,39 \text{ } \frac{W}{m^2K}$$

Στη συνέχεια υπολογίζουμε τον παράγοντα απόδοσης του συλλέκτη  $F'$ , ο οποίος παριστάνει το λόγο της συλλεκτικής χρήσιμης ενέργειας, δια της συλλεγόμενης ενέργειας όταν η συλλεκτική επιφάνεια και ο αέρας έχουν ίδια θερμοκρασία.

$$F' = \left[ 1 + \frac{U_L}{h_1 + \left( \frac{1}{h_2} + \frac{1}{h_r} \right)^{-1}} \right]^{-1}$$

$$\Leftrightarrow F' = \left[ 1 + \frac{6,025}{11,9 + \left( \frac{1}{8,39} + \frac{1}{4,15} \right)^{-1}} \right]^{-1}$$

$$\Leftrightarrow F' = 0,7089 \quad (5.11)$$

Η αδιάστατη σταθερά ροής μάζας του αέρα στον συλλέκτη για θερμοκρασία 65°C ισούται με:

$$\Phi = \frac{\frac{dm}{dt} \cdot C_p}{A_c \cdot U_L \cdot F'} = \frac{0,0549 \frac{kg}{sec} \cdot 1008 \frac{J}{kgK}}{1,02 m^3 \cdot 6,025 \frac{W}{m^2K} \cdot 0,7089} = 12,70 \quad (5.12)$$

Όπου

$$\rho = 1,04 kg/m^3$$

$$C_p = 1008 J/kgK$$

$$\frac{dm}{dt} = \rho \cdot \frac{dV}{dt} = 1,04 \frac{kg}{m^3} \cdot \frac{190 \frac{m^3}{h}}{3600 \frac{sec}{h}} = 0,0549 \frac{kg}{sec} \quad (5.13)$$

έτσι ο παράγοντας ροής του συλλέκτη  $F''$  είναι:

$$F'' = \Phi \cdot \left( 1 - e^{-\frac{1}{\Phi}} \right)$$

$$\Leftrightarrow F'' = 12,70 \cdot \left( 1 - e^{-\frac{1}{12,70}} \right)$$

$$\Leftrightarrow F'' = 0,962 \quad (5.14)$$

Στη συνέχεια έχουμε το γινόμενο  $F_R$  (διορθωτικός συντελεστής θερμικής απολαβής) που είναι ισοδύναμο με την απόδοση ενός εναλλάκτη και ορίζεται ως ο λόγος της μεταφοράς θερμότητας προς την μέγιστη δυνατή μεταφορά

θερμότητας, η οποία επιτυγχάνεται όταν ο συλλέκτης έχει θερμοκρασία, τη θερμοκρασία εισόδου του αέρα (που είναι και η θερμοκρασία περιβάλλοντος).

$$F_R = F' \cdot F'' = 0,7089 \cdot 0,962 = 0,682 \quad (5.15)$$

Η ωφέλιμη ενέργεια του συλλέκτη  $Q_u$  (θερμικό κέρδος) ισούται με

$$Q_u = A_c \cdot F_R \cdot [I_T(\tau\alpha) - U_L \cdot (T_i - T_a)] \quad (5.16)$$

Και όπου

$T_i$  και  $T_a$  : Οι θερμοκρασίες εισόδου του αέρα και περιβάλλοντος.

$I_T$ : Ποσοστό της προσπίπτουσας ηλιακής ακτινοβολίας.

$U_L$ : Συντελεστής ολικών απωλειών.

$(\tau\alpha)$ : Συντελεστής διαπερατότητας.

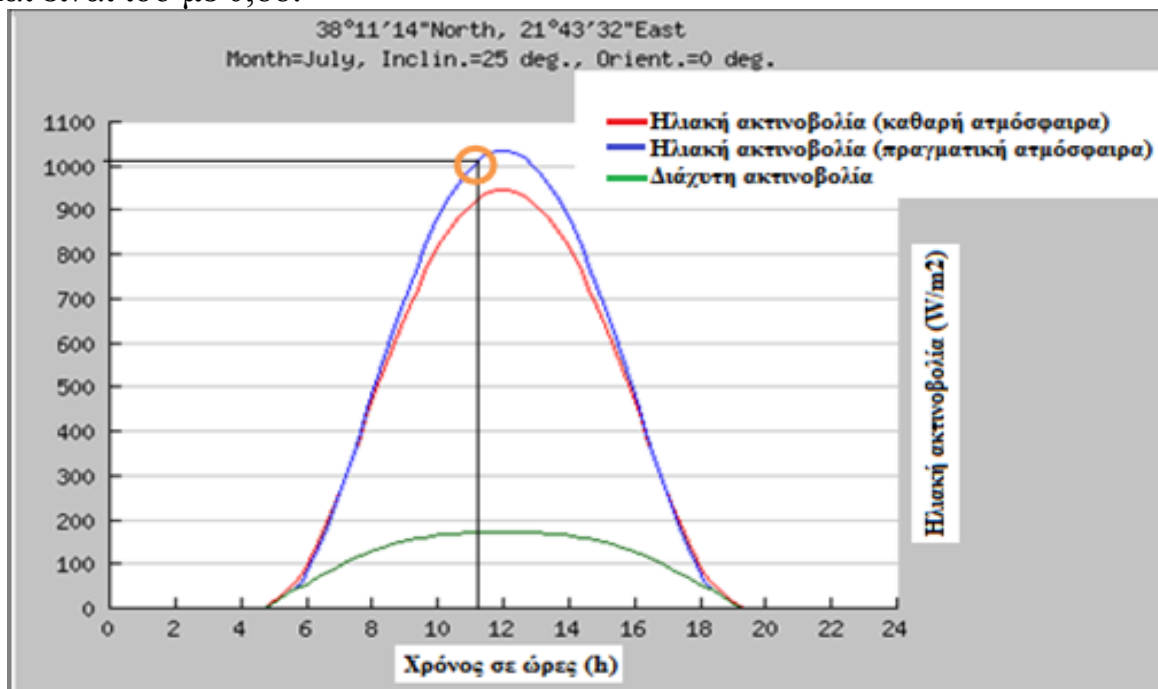
Όμως  $T_i = T_a$ , έτσι η παραπάνω εξίσωση μετασχηματίζεται ως εξής:

$$Q_u = A_c \cdot F_R \cdot I_T \cdot \tau\alpha$$

$$\Leftrightarrow Q_u = 1,02 \text{ m}^2 \cdot 0,682 \cdot 1000 \text{ W/m}^2 \cdot 0,88$$

$$\Leftrightarrow Q_u = 612,16 \text{ W}$$

Η τιμή  $I_T$  βρέθηκε από το ακόλουθο γράφημα για τον μήνα Ιούλιο στην περιοχή της Πάτρας. Η τιμή  $(\tau\alpha)$  ονομάζεται συντελεστής διαπερατότητας του γυαλιού και είναι ίσο με 0,88.



Πηγή: PVGIS

Στο παραπάνω γράφημα παρουσιάζονται οι μέσες τιμές της Ηλιακής ακτινοβολίας ανά ώρα για την περιοχή της Πάτρας και τον μήνα Ιούλιο. Τα ηλιακά δεδομένα βρέθηκαν με τη βοήθεια του προγράμματος on-line.

Η απόδοση του συλλέκτη θα είναι ίση με

$$\eta = \frac{Q_u}{Ac \cdot I_T} = \frac{612,16^W}{1,02^{m^2} \cdot 1000^{W/m^2}} = 0,600\acute{\eta} \dots 60,0\% \quad (5.17)$$

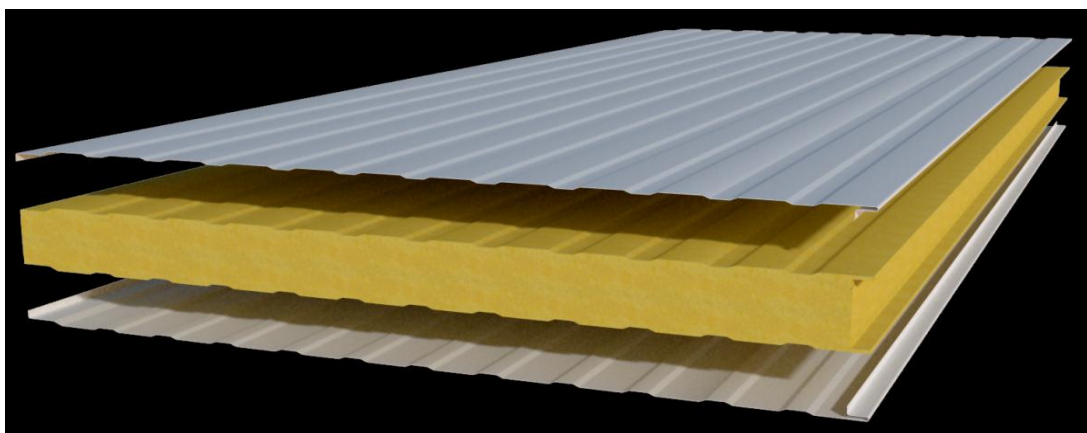
Αν η θερμοκρασία του περιβάλλοντος στην Πάτρα είναι 29 °C τον Αύγουστο μήνα, τότε η θερμοκρασία του αέρα στην έξοδο του συλλέκτη (στην είσοδο του ξηραντήρα), θα είναι:

$$T_{ex} = T_i + \frac{Q_u}{\dot{m} \cdot C_p} = 29^C + \frac{612,16^W}{0,0549^{kg/sec} \cdot 1008^{J/kgK}} = 40,06^C \quad (5.18)$$

Η παραπάνω θερμοκρασία προέκυψε ίση με 190m<sup>3</sup>/h. Αλλάζοντας την παροχή σε 40 m<sup>3</sup>/h, τότε η θερμοκρασία θα ανέβει 82°C περίπου (πολύ υψηλή θερμοκρασία για ξήρανση).

## 5.2 Θάλαμος ξήρανσης.

Ο θάλαμος ξήρανσης είναι κατασκευασμένος από ειδικό πολυουρεθανικό υλικό (πάνελ πολυουρεθάνης κατασκευής ψυγείων), ώστε να υπάρχουν ελάχιστες θερμικές απώλειες. Τα χαρακτηριστικά αυτού του υλικού είναι τα ακόλουθα.



**Σχήμα 5.6:** Πάνελ πολυουρεθάνης 40mm για την κατασκευή του ξηραντήριου.

Πηγή: [www.sidma.gr](http://www.sidma.gr)

Πάχος	Θερμική Διαπερατότητα	Πυκνότητα Πολυουρεθάνης	Βάρος/m <sup>2</sup> Ελάσματος
<i>mm</i>	$\frac{Kcal}{m^2 \cdot h \cdot ^\circ C}$	$\frac{W}{m^2 \cdot K}$	$\frac{Kg}{m^2}$
<b>40</b>	0,43	0,50	10,08

#### Χαλύβδινα ελάσματα:

- Τύπος χάλυβα S320 με όριο διαρροής 335-380 N/mm<sup>2</sup>.
- Συνολικό πάχος ελάσματος 1,00mm - 0,40mm ανοχές (EN 10143/00).
- Προβαμμένα με οργανική πολυεστερική βαφή φούρνου (EN 10169-2/99).

#### Εύκαμπτη επένδυση:

Φύλλο αλουμινίου, χαρτί kraft, χαρταλουμίνιο, ενισχυμένο πλαστικοποιημένο χαρτί, πισσόχαρτο.

#### Πολυουρεθάνη:

- Πυκνότητα: 40-42 Kg/m<sup>3</sup> (ISO 845).
- Συντελεστής θερμικής αγωγιμότητας:  $\lambda=0,020 \frac{W}{m^2 \cdot K}$  ή  $\lambda=0,018 \frac{Kcal}{m^2 \cdot h \cdot ^\circ C}$  στους 10 °C (ASTM C 518)

Θλιπτική αντοχή σε συμπίεση 10%:  $0,22 \frac{N}{mm^2}$  (ISO 844).

Πρόσφυση:  $0,12 \frac{N}{mm^2}$  (ASTM D 162).

Ποσοστό κλειστών κυψελίδων: 95-98% (ASTM D 285).

Αντίσταση στην φωτιά: Κλάση B2 (DIN 4102).

Σταθερότητα διαστάσεων: (ISO 2796).

Οι διαστάσεις του θαλάμου είναι :

#### Εξωτερικές

Μήκος: 0,9m

Πλάτος: 0,5m

Ύψος: 0,5m

Όγκος: 0,225m<sup>3</sup>

#### Εσωτερικές

Μήκος: 0,82m

Πλάτος: 0,42m

Ύψος: 0,42m

Όγκος: 0,15498m<sup>3</sup>

Όλες οι ακμές του θαλάμου έχουν μονωθεί με στεγαγωγικό μονωτικό, ώστε να μην έχουμε διαφυγή θερμότητας από τις χαραμάδες. Η πόρτα του θαλάμου έχει περιμετρικά μονωτικό λάστιχο (από αυτό που χρησιμοποιούμε για τις πόρτες αλουμινίου).

Στο θάλαμο ξήρανσης στην ανατολική και δυτική πλευρά, έχουν γίνει δύο οπές μεγέθους Φ140, όπου έχουν τοποθετηθεί ανεμιστήρες μεγάλης παροχής (2X97 cfm) και καταλήγουν στην κάτω πλευρά του θαλάμου. Στη συνέχεια εύκαμπτοι αγωγοί αλουμινίου, δημιουργούν σύνδεση από τον ανεμιστήρα, ξανά στο θάλαμο ξήρανσης, έτσι ώστε να γίνει **ανάκτηση ενός μέρους θερμότητας** εντός του θαλάμου. Στην πραγματικότητα, δεν πετάμε στο περιβάλλον θερμότητα που μπορεί να ξανά απορροφήσει υγρασία από το ξηραίνόμενο προϊόν. Έτσι με αυτόν τον τρόπο δημιουργήσαμε την επανακυκλοφορία του ρευστού (υψηλής θερμοκρασίας) εντός του θαλάμου, καθώς και την ανάμιξη αυτού του ρευστού με ρευστό από την έξοδο του ηλιακού συλλέκτη (μεγάλης θερμοκρασίας και μικρής σχετικής υγρασίας).



**Σχήμα 5.7:** Εύκαμπτος αεραγωγός αλουμίνιο. Υλικό για την μεταφορά του ρευστού (θερμού αέρα). Πηγή: <http://www.ydromarket.gr>

Τέλος, για τον ελκυσμό του ξηραντήριου, έχει κατασκευαστεί ηλιακή καπνοδόχος, όπου η ηλιακή ακτινοβολία προκαλεί μεταβολή της θερμοκρασίας μεταξύ της εισόδου και εξόδου της καπνοδόχου. Η ηλιακή καμινάδα έχει κατασκευαστεί από γαλβανισμένη λαμαρίνα και έχει βαφτεί μαύρο ματ χρώμα, ώστε να απορροφά περισσότερη ηλιακή ακτινοβολία.



**Σχήμα 5.8:** Μεταλλικές ράβδοι με σπείρωμα για σταθερά πόδια και δυνατότητα μεταβολής του ύψους της κατασκευής. **Πηγή:** [www.panagiotidis-tools.gr](http://www.panagiotidis-tools.gr)

Λόγω των καιρικών συνθηκών και της ακαταλληλότητας της εποχής για ξήρανση προϊόντων με ηλιακό ξηραντήριο, δεν έχουν γίνει μετρήσεις και πειράματα. Στην Πτυχιακή αυτή, έχει δοθεί βαρύτητα στην κατασκευή του ξηραντήριου και των υλικών του, έτσι ώστε να υπάρχουν όσο το δυνατόν μικρότερες απώλειες. Για το λόγο αυτό, έχουμε εξοπλίσει την κατασκευή με αισθητήρες θερμότητας και υγρασίας, ώστε να γίνονται εύκολα οι μετρήσεις. Ακόμα έχει δοθεί έμφαση στην ρύθμιση της παροχής αέρα, από την συλλεκτική επιφάνεια, με την χρήση δύο dimmer (ένα για τους ανεμιστήρες εισαγωγής θερμού αέρα από το συλλέκτη και ένα ακόμα για τους ανεμιστήρες επανακυκλοφορίας εντός του θαλάμου ξήρανσης). Σε επόμενη παράγραφο θα γίνουν κάποιοι υπολογισμοί για ένα προϊόν που μπορεί να υποστηρίξει το ηλιακό ξηραντήριο αυτής της κατασκευής.

### **5.3 Αυτόνομο φωτοβολταϊκό σύστημα.**

Η κατασκευή του ξηραντήριου, αποτελείται από 5 ανεμιστήρες συνεχούς ρεύματος. Τρεις μικρούς ανεμιστήρες, παροχής 37cfm έκαστος και δύο μεγαλύτερους ανεμιστήρες 97cfm (για εσωτερική επανακυκλοφορία του ρευστού-ανάκτηση θερμότητας). Η ιδιαιτερότητα των ανεμιστήρων αυτών, είναι ότι έχουμε τη δυνατότητα με την βοήθεια μιας μεταβλητής αντίστασης ή dimmer να ρυθμίζουμε την ταχύτητα περιστροφής τους, με αποτέλεσμα να πειραματιζόμαστε και με την παροχή θερμού αέρα (ταχύτητα του αέρα).

Τα χαρακτηριστικά των ανεμιστήρων είναι τα ακόλουθα:

Μέγεθος ανεμιστήρα	Ποσότητα	Παροχή (cfm)	Ρεύμα (Amper)	Ισχύς (Watt)
Μικρός	3	$37 \cdot 3 = 111$	$0,14 \cdot 3 = 0,42$	5,05
Μεγάλος	2	$97 \cdot 2 = 194$	$0,36 \cdot 2 = 0,72$	8,64
			Σύνολο	13,68

Ακόμα υπάρχουν δύο μικρά αισθητήρια που λειτουργούν σε 12 volt και DC ρεύμα (ένα ψηφιακό θερμόμετρο LCD, και ένας αισθητήρας φωτός που αντιλαμβάνεται την ημέρα από τη νύκτα). Τέλος υπάρχει και ένα ρελέ αυτοματισμού που έχει μια πολύ μικρή ιδιοκατανάλωση ρεύματος. Συνολικά όλα αυτά δεν ξεπερνούν τα **17watt**. Όλες οι ηλεκτρικές ανάγκες της κατασκευής εξυπηρετούνται από το αυτόνομο φωτοβολταϊκό σύστημα που έχει εγκατασταθεί στο θάλαμο ξήρανσης. Το φωτοβολταϊκό, έχει ονομαστική ισχύ 30 Watt. Είναι συνδεδεμένο με έναν ρυθμιστή φόρτισης και με μια μπαταρία μολύβδου 7 Ah. Η μπαταρία έχει την φυσική σημασία της αποθήκευσης ενέργειας και τη χρησιμοποίηση αυτής, μόνο όταν λειτουργεί η εγκατάσταση και μόνο όταν δεν υπάρχει καθαρή ατμόσφαιρα. Μπορεί δηλαδή, το ξηραντήριο να λειτουργεί κανονικά, εάν έχει συννεφιά και το αυτόνομο φ/β σύστημα να έχει τον ρόλο του *buffering*.

Τέλος, δεν απαιτείται να γίνει κάποια ειδική μελέτη για το αυτόνομο φ/β σύστημα, αφού εάν το ξηραντήριο λειτουργήσει με την μπαταρία, (αυτό σημαίνει ότι οι καιρικές συνθήκες δεν επιτρέπουν την παραγωγή ενέργειας από το φωτοβολταϊκό) η διαδικασία της ξήρανσης θα περιοριστεί ή θα έχουμε αντίθετα αποτελέσματα. Μπορεί δηλαδή, λόγω της μειωμένης ηλιακής ακτινοβολίας, της χαμηλής θερμοκρασίας του περιβάλλοντος και της υψηλότερης θερμοκρασίας μέσα στο θάλαμο, να εισχωρήσει υγρασία από το περιβάλλον, στο ξηραίνόμενο προϊόν. Ωστόσο στην περίπτωση που η ηλιακή ακτινοβολία δεν είναι αρκετή, το σύστημα θα σταματήσει όλες τις λειτουργίες του, αφού θα έχει απενεργοποιηθεί ο αισθητήρας φωτός.





**Σχήμα 5.9:** Φωτοβολταϊκό πάνελ 30Wattγια τις ανάγκες του ξηραντήριου.

Πηγή: [www.wsl-solar.com](http://www.wsl-solar.com)

### Ηλεκτρικά Χαρακτηριστικά του πάνελ:

Μέγιστη ισχύ στο STC (Pmax)	30Wp
Βέλτιστη τάση λειτουργίας (Vmp)	18,00 V
Βέλτιστο ρεύμα λειτουργίας (Imp)	1,67 A
Τάση ανοικτού κυκλώματος (Voc)	22,17 V
Ρεύμα βραχυκύκλωσης (Isc)	1,87 A
Θερμοκρασία λειτουργίας	-40°C to +85°C
Ανοχή ισχύος	±3%
Συντελεστές θερμοκρασίας	NOCT: 47±2°C Pmax: 0.47%/°C Voc: -0.346%/°C Isc: +0.036%/°C
STC: Ακτινοβολία	1000W/m2
Θερμοκρασία μονάδας	25°C
AM	1.5



**Σχήμα 5.10:** Ρυθμιστής φόρτισης για την μπαταρία.

Πηγή: [www.phocos.com](http://www.phocos.com)

## Χαρακτηριστικά του ρυθμιστή φόρτισης.

Τύπος	CM 04
Σύστημα τάσης	12 V
Μέγιστο ρεύμα φόρτισης	4 A
Float φόρτισης	13,7 V
Boost φόρτισης	14,5 V Ενεργοποίηση: Τάση μπαταρίας <12,2V
Μέγιστη τάση πάνελ	30 V
Μέγιστη ιδιοκατανάλωση	4 mA
Γείωση	Δυνατότητα θετικής γείωσης
Θερμοκρασία περιβάλλοντος	-40 έως +50 °C
Μέγιστο υψόμετρο	4,000 μέτρα από τη στάθμη της θάλασσας
Διατομή καλωδίου	Μεγαλύτερο από 16 mm <sup>2</sup>
Τύπος μπαταρίας	Οξέως (μολύβδου, gel)
Βάρος	68 γραμμάρια
Διαστάσεις	72,6 x 61 x 30,4 mm
Τύπος προστασίας	IP22

**Σχήμα 5.11:** Τεχνικά χαρακτηριστικά ρυθμιστή φόρτισης για την μπαταρία.

Πηγή: [www.phocos.com](http://www.phocos.com)

### 5.4 Θεωρητικοί υπολογισμοί για ξήρανση μαύρης κορινθιακής σταφίδας.

Το προϊόν προς ξήρανση είναι η μαύρη κορινθιακή σταφίδα.

Μάζα προς ξήρανση:  $m_i=15$  kg.

Διαστάσεις τελάρων σταφίδας: 0,82m x 0.42m και βάθους 0,04m.

#### 5.4.1 Στοιχεία ξήρανσης σταφυλιών.

Πριν την ξήρανση, τα σταφύλια έχουν τα εξής χαρακτηριστικά (γενικές ιδιότητες).

- Υγρασία του προϊόντος (αρχική)  $w_{ci}=80\%$ .
- Επιθυμητή υγρασία του προϊόντος (τελική)  $w_{cf}=15-20\%$ .
- Θερμοκρασία αέρα ξήρανσης  $T_m=60-75$  °C.
- Μάζα εξαγόμενου νερού  $m_e=0,75$ kg νερού/kg νωπού προϊόντος.

#### 5.4.2 Καθορισμός ρυθμού ξήρανσης σταφυλιών.

Για τον καθορισμό του ρυθμού ξήρανσης του προϊόντος, θα πρέπει να λάβουμε υπόψη κάποιες παραμέτρους, οι οποίες διαμορφώνουν τις συνθήκες για τη σωστή ξήρανση. Αυτές είναι:

- Η ποσότητα σταφίδας, που μπορεί να επεξεργαστεί η κατασκευή, είναι περίπου 21kg (3 τελάρα των 7 κιλών το καθένα).
- Η ημερήσια διάρκεια του ηλίου, ορίζεται από την εποχή ωρίμανσης της σταφίδας (Ιούλιο- Αύγουστο- Σεπτέμβριο).
- Το χρονικό διάστημα ξήρανσης της σταφίδας, λαμβάνεται περίπου 4 ημέρες.

#### 5.4.3 Καθορισμός ποσότητας θερμού αέρα ξήρανσης.

Ο αέρας που πρέπει να ζεσταίνεται, ώστε το προϊόν να υποστεί ξήρανση και να μην καταστραφούν θρεπτικά στοιχεία είναι  $T_m=60-75$  °C. Επιλέγω την θερμοκρασία  $T_m=65$  °C.

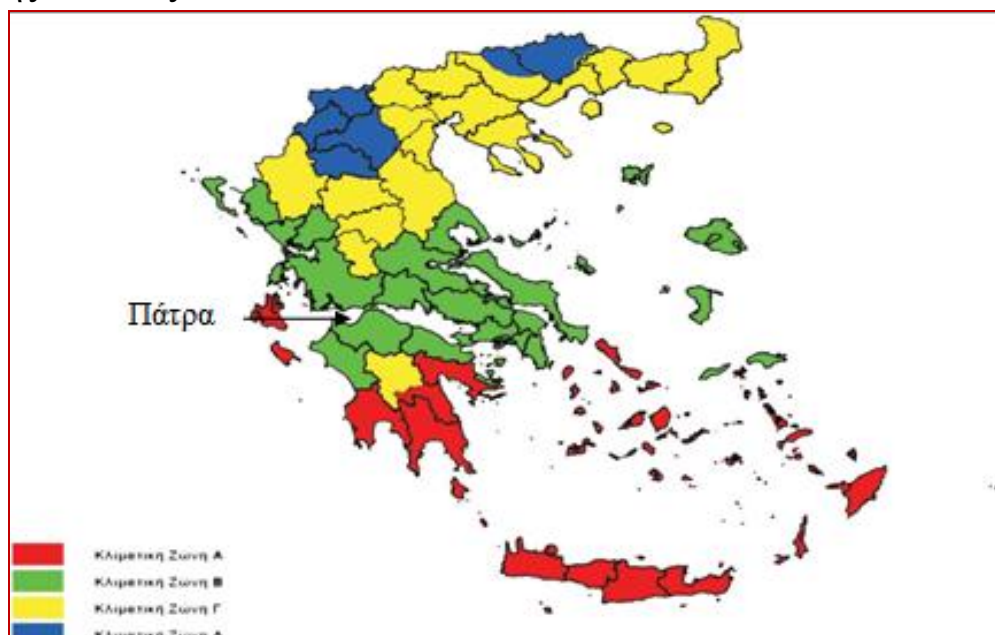
Μάζα προς ξήρανση:  $m_i=15$ kg.

Αρχική υγρασία σταφυλιών  $w_{ci}=80\%$ .

Τελική υγρασία σταφυλιών  $w_{cf}=18\%$ .

Μάζα εξαγόμενου νερού  $m_e=0,75$ kg νερού/kg νωπού προϊόντος.

Η πόλη στην οποία θεωρούμε ότι γίνεται η εγκατάσταση του έμμεσου ηλιακού ξηραντήρα τροφών είναι η Πάτρα, η οποία βρίσκεται στην Β κλιματολογική ζώνη της Ελλάδας.



Σχήμα 5.12: Κλιματολογικές ζώνες στην Ελλάδα.

Πηγή: [www.microboiler.eu/](http://www.microboiler.eu/)

Ιούλιος	Μέση Θερμ. °C			Υγρ. %	Βροχ. mm	Ανεμοι		Βροχή Ημέρες
	Μην.	Μέγ.	Ελάχ.			Δ/ση	Ένταση Kt	
Νέα Φιλαδέλφεια	28.0	33.5	20.8	43.1	5.8	ΒΑ	6.7	1.9
Πάτρα	26.4	30.1	19.4	59.8	4.6	ΝΔ	4.4	1.0
Πυργέλα Άργους	27.3	33.8	16.5	52.5	10.3	Β	5.2	2.4
Πύργος	26.3	31.7	17.0	60.1	4.5	ΒΔ	4.9	0.7

Αύγουστος	Μέση Θερμ. °C			Υγρ. %	Βροχ. mm	Ανεμοι		Βροχή Ημέρες
	Μην.	Μέγ.	Ελάχ.			Δ/ση	Ένταση Kt	
Νέα Φιλαδέλφεια	27.4	33.2	20.7	45.3	6.0	ΒΑ	6.6	1.7
Πάτρα	26.7	30.9	19.6	59.3	5.2	ΝΔ	4.3	1.0
Πυργέλα Άργους	26.6	33.5	16.7	57.0	15.4	Β	4.9	3.2
Πύργος	26.1	31.8	17.4	62.5	14.7	ΒΔ	4.7	1.3

Σεπτέμβριος	Μέση Θερμ. °C			Υγρ. %	Βροχ. mm	Ανεμοι		Βροχή Ημέρες
	Μην.	Μέγ.	Ελάχ.			Δ/ση	Ένταση Kt	
Νέα Φιλαδέλφεια	23.3	29.2	17.3	53.7	13.9	ΒΑ	5.8	3.3
Πάτρα	23.5	28.2	17.2	63.0	28.3	ΝΔ	4.3	3.6
Πυργέλα Άργους	22.5	29.8	14.0	64.4	16.2	Ν	3.8	4.8
Πύργος	23.0	29.1	15.1	67.0	27.7	ΒΔ	4.4	3.2

**Πίνακας 5.1:** Πίνακας στατιστικών στοιχείων θερμοκρασίας, υγρασίας, βροχής στην περιοχή της Πάτρας, για τους τρεις μήνες.

Πηγή: <http://www.hnms.gr>

Έτσι προκύπτει ότι η μέση τιμή είναι:

	Ιούλιος	Αύγουστος	Σεπτέμβρης
$T_a$ (Θερμ/σία)	29	29	25
$HR_A$ (Υγρασίας)	59,8	59,3	63

Η διάρκεια της ξήρανσης  $T_s=4$  μέρες ή αν η διάρκεια της μέρας είναι:

	Ιούλιος	Αύγουστος	Σεπτέμβρης
Διάρκεια (ώρες)	14,30	13,30	12,30

Ο υπολογισμός της διάρκειας της μέρας συσχετίζεται με το πότε ανατέλλει και δύει ο Ήλιος. Τους καλοκαιρινούς μήνες η διάρκεια της ημέρας είναι μεγαλύτερη από τους χειμερινούς μήνες. Οι τιμές βρέθηκαν από ηλιακούς πίνακες. Θεωρώ μέση διάρκεια ξήρανσης για τους τρεις μήνες 13,30h.

$$t_s = T_s \cdot h = 4 \cdot 13,30^h = 54^h \quad (5.19)$$

#### 5.4.4 Υπολογισμός ρυθμού ξήρανσης.

Ο ρυθμός ξήρανσης του προϊόντος δίνεται από την ακόλουθη σχέση:

$$t_{sm} = \frac{m_i}{t_s} \quad (5.20)$$

Όπου

$m_i$  = ολική μάζα προς ξήρανση σε kg.

$t_s$  = χρόνος διάρκειας ξήρανσης h.

άρα

$$t_{sm} = \frac{m_i}{t_s} = \frac{15^{kg}}{54^h} = 0,277^{kg/h}$$

#### 5.4.5 Υπολογισμός ρυθμού εξαγόμενου νερού.

Η ταχύτητα εξαγόμενου νερού δίνεται από την ακόλουθη σχέση:

$$t_{se} = t_{sm} \cdot \frac{w_{ci} - w_{cf}}{100 - w_{cf}} \quad (5.21)$$

Όπου

$w_{ci}$  = αρχική υγρασία προϊόντος.

$w_{cf}$  = τελική υγρασία προϊόντος (την θεωρώ ίση με 18).

έτσι έχουμε ότι:

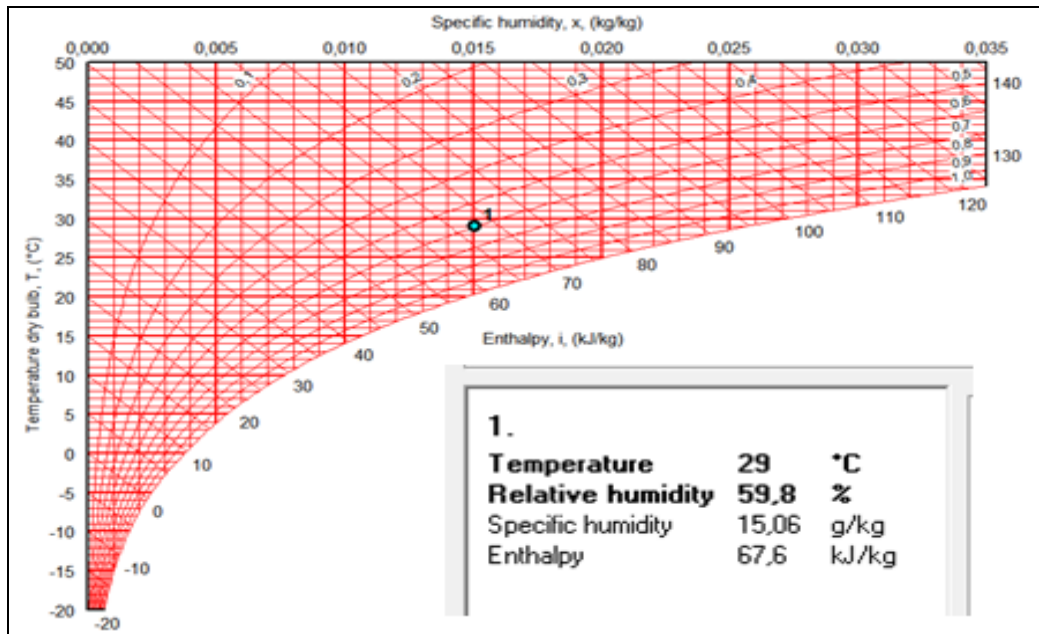
$$t_{se} = 0,277^{kg/h} \cdot \frac{80 - 18}{100 - 18} = 0,209^{kg/h}$$

#### 5.4.6 Υπολογισμός απόλυτης μέσης υγρασίας αέρα περιβάλλοντος.

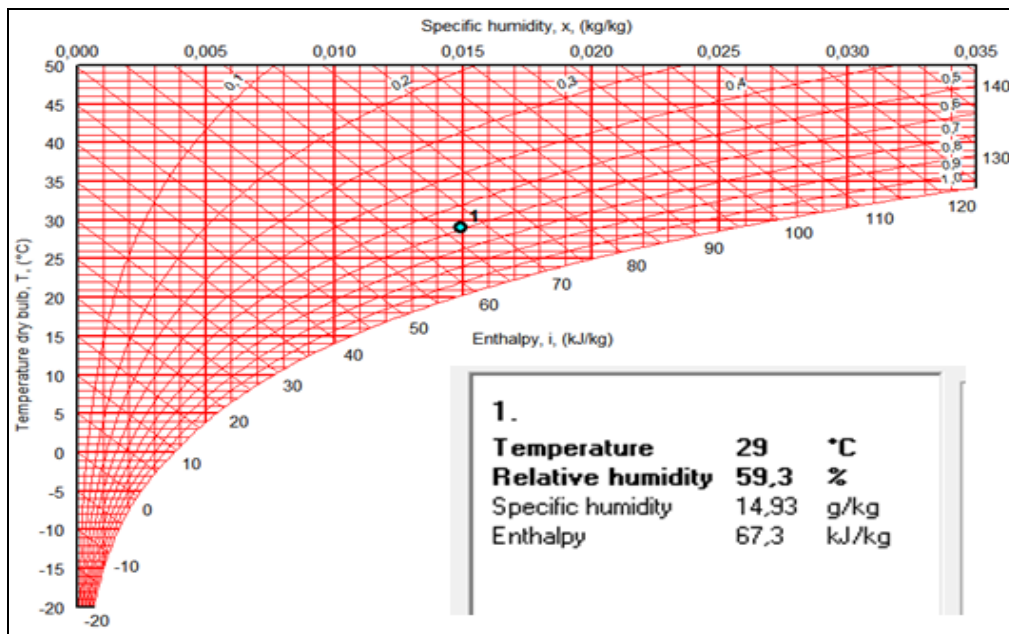
Για τον υπολογισμό της απόλυτης υγρασίας του αέρα περιβάλλοντος, απαιτείται η χρήση του διαγράμματος Mollier. Από το διάγραμμα αυτό, βρίσκουμε την απόλυτη μέση υγρασία του αέρα περιβάλλοντος  $X_a$  για τις αντίστοιχες μέσες θερμοκρασίες  $T_a$  και τις αντίστοιχες σχετικές υγρασίες.

Για τη εύρεση των τιμών αυτών, κάναμε χρήση του προγράμματος **Mollier Sketcher** και πήραμε τις ακόλουθες τιμές.

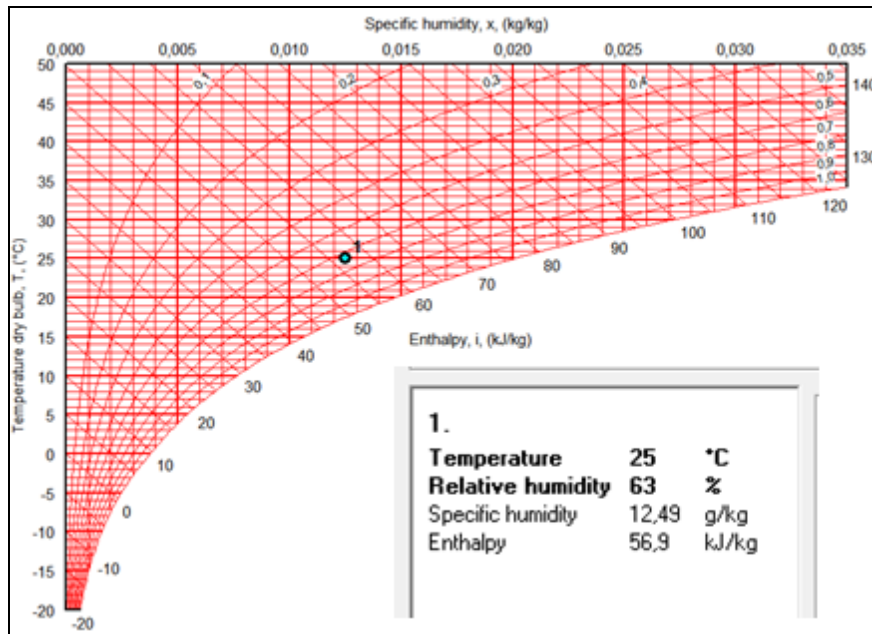
Για τον Ιούλιο προκύπτει:



Για τον Αύγουστο προκύπτει:



Για τον Σεπτέμβρη προκύπτει:



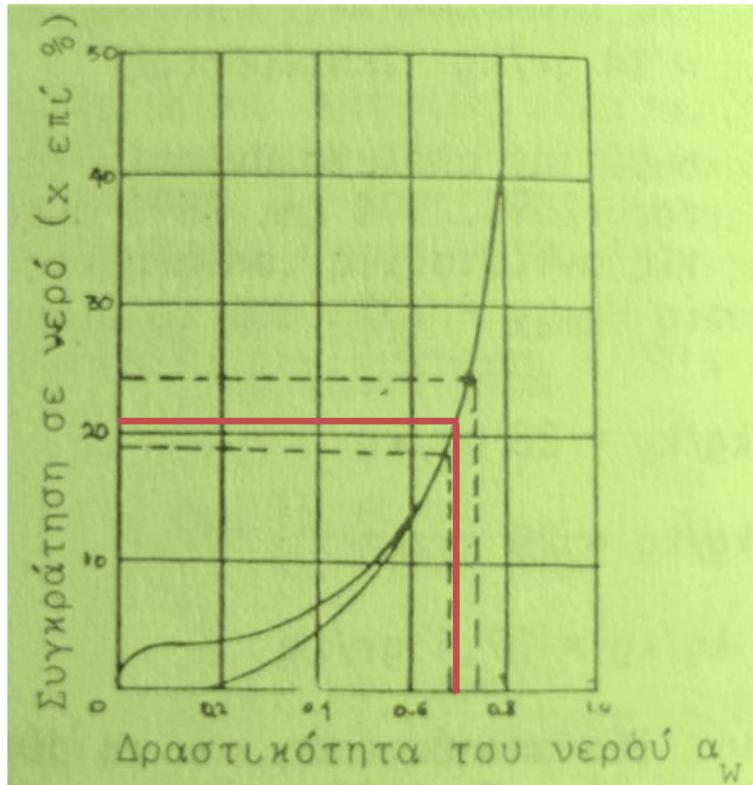
Συνοψίζοντας έχουμε:

	Ιούλιος	Αύγουστος	Σεπτέμβρης
$T_a(^{\circ}\text{C})$ , θερ/σία περιβάλλοντος	29	29	25
$HR_A(\%)$ , σχετική υγρασία	59,80	59,30	63,00
$X_a(\text{gr}/\text{kgr})$ , ειδική υγρασία	15,06	14,93	12,49
$h_s(\text{kJ}/\text{kg})$ , ενθαλπία	67,60	67,30	59,90

Η συγκράτηση σε νερό για την τελική υγρασία  $w_{cf}=18\%$  ισούται με:

$$X_f = \frac{w_{cf} \cdot 100}{100 - w_{cf}} = \frac{18 \cdot 100}{100 - 18} = 21,95\% \quad (5.22)$$

Έπειτα από τις καμπύλες εισροής – εκροής (Sorption – Desorption του σχήματος 5.12) για το προϊόν της σταφίδας, προκύπτει ότι για  $X_f=21,95\%$ , η δραστηκότητα του νερού εν ισορροπία αέρα  $a_w=0,7$ , θα πρέπει  $HR_{\max}=70\%$ , (για να υπάρχει ισορροπία σχετικής υγρασίας περιβάλλοντος και δραστηκότητας  $a_w$ ).



**Σχήμα 5.13:** Καμπύλη εισροής-εκροής του νερού  $a_w$  για την σταφίδα.  
**Πηγή:** Ηλιακά Ξηραντήρια Π. Χαρώνης 1985.

#### 5.4.7 Υπολογισμός μέσης σχετικής υγρασίας.

Η μέση σχετική υγρασία υπολογίζεται από την ακόλουθη σχέση:

$$HR_m = \frac{100 + HR_s}{2} \quad (5.23)$$

Όπου

$HR_m$  = σχετική υγρασία του αέρα στην έξοδο του ξηραντήρα στο τέλος της ξήρανσης.

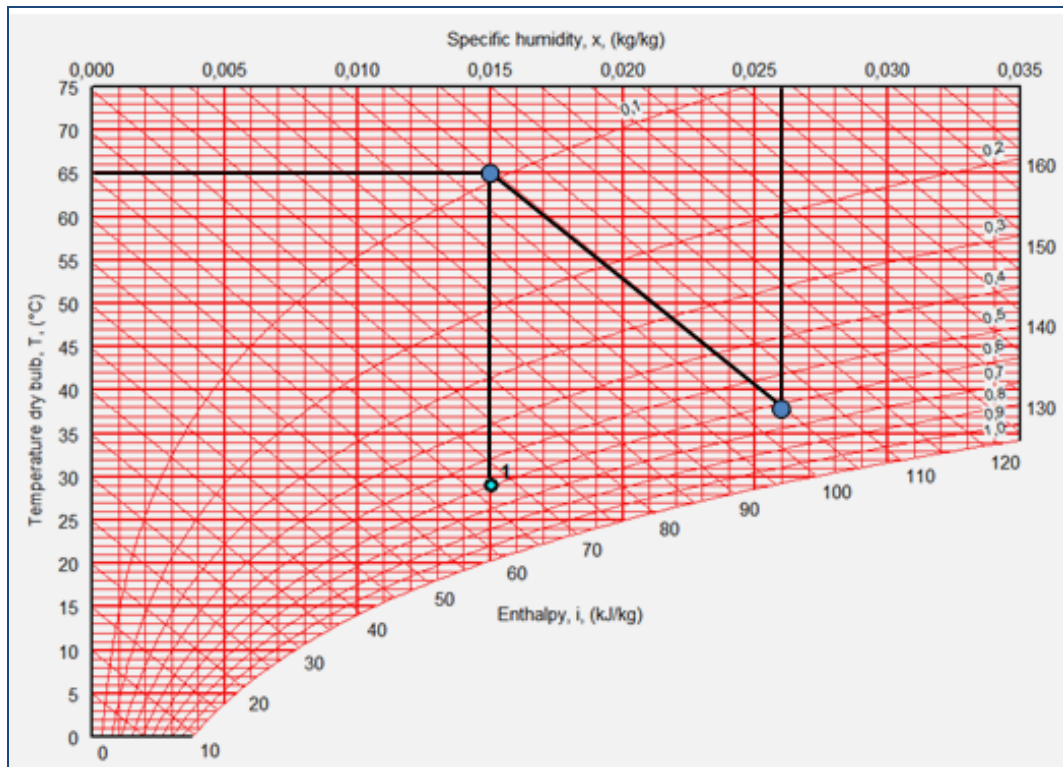
$HR_s = HR_{max}$  = σχετική υγρασία του αέρα στο θάλαμο ξήρανσης ίση με 70%, ώστε να υπάρχει ισορροπία μεταξύ της σχετικής υγρασίας αυτής με τη δραστηκότητα  $a_w$ .

Οπότε έχουμε

$$HR_m = \frac{100 + HR_s}{2} = \frac{100 + 70}{2} = 85\%$$

Από το διάγραμμα Mollier, βρίσκω την απόλυτη υγρασία του αέρα στους  $65^\circ\text{C}$ , αφού ο αέρας του περιβάλλοντος (29, 29, 25 για τους αντίστοιχους μήνες) θερμαίνεται στους  $65^\circ\text{C}$ .





Υπολογισμός της τιμής  $X_s$  (gr/kgr) για τον μήνα Ιούλιο με το προγράμμα **Mollier Sketcher**. Η σχετική υγρασία για αυτόν τον μήνα προκύπτει από πίνακες (κεφάλαιο 5.4.6) και είναι ίσο με 59,80%. Με την αύξηση της θερμοκρασίας στους  $65^\circ\text{C}$  και ακλουθώντας τη γραμμή της σχετικής υγρασίας (ίση με 59,80%), προκύπτει η τιμή  $X_s=0,026\text{gr/kgr}$  και  $h_s=103,06\text{kJ/kgr}$ . Έτσι υπολογίζονται και οι υπόλοιπες τιμές για τον Αύγουστο και Σεπτέμβριο.

	Ιούλιος	Αύγουστος	Σεπτέμβρης
$X_s$ (gr/kgr)	26	26	23,5

Για πιο εύκολους υπολογισμούς θεωρώ τις μέσες τιμές της θερμοκρασίας, της απόλυτης υγρασίας και της ενθαλπίας των τριών μηνών (από τον συνοπτικό πίνακα της παραγράφου 5.4.6). Αυτές είναι:

$$T_a = 27,67^\circ\text{C}.$$

$$X_a = 14,16 \text{ gr/kgr}$$

$$h_a = 63,9 \text{ kJ/kgr}.$$

Έτσι προκύπτει ότι:

Η απόλυτη υγρασία του αέρα  $X_s=25,2\text{gr/kg}$  στους  $65^\circ\text{C}$  και η ενθαλπία  $h_s=103,06\text{kJ/kgr}$ .

#### 5.4.8 Υπολογισμός (μέσης) παροχής αέρα.

Η παροχή του αέρα δίνεται από την ακόλουθη σχέση:

$$D_s = 1000 \cdot \frac{t_{se}}{\rho_a \cdot (X_s - X_a)} \quad (5.24)$$

Όπου  $\rho_a$  = πυκνότητα του αέρα περιβάλλοντος (συνήθως λαμβάνεται  $1,2 \text{ kg/m}^3$ ).  
Έτσι η παροχή είναι ίση με:

$$D_s = 1000 \cdot \frac{0,209 \text{ kg/h}}{1,2 \text{ kg/m}^3 \cdot \left( 25,2 \text{ gr/kg} - 14,16 \text{ gr/kg} \right)} = 15,78 \text{ m}^3/\text{h}$$

#### 5.4.9 Υπολογισμός απαιτούμενης θερμικής ισχύος για την ξήρανση.

Για τον υπολογισμό της απαιτούμενης θερμικής ισχύος, ισχύει η ακόλουθη σχέση:

$$P_n = \frac{1,2 \cdot (h_s - h_a) \cdot D_s}{3600} =$$
$$\Leftrightarrow P_n = \frac{1,2 \cdot \left( 103,06 \text{ KJ/kg} - 63,9 \text{ KJ/kg} \right) \cdot 15,78 \text{ m}^3/\text{h}}{3600} \approx 205 \text{ Watt} \quad (5.25)$$

#### 5.4.10 Υπολογισμός ηλιακής ισχύος.

Για τον υπολογισμό της ηλιακής ισχύος, απαιτείται η βασική παράμετρος του βαθμού απόδοσης του ξηραντήριου. Αυτός είναι:

$$P_s = \frac{P_n}{n} \quad (5.26)$$

Όπου  $n$  = βαθμός απόδοσης του ξηραντήριου (τον θεωρώ 90%, αφού έχει εξαιρετική μόνωση, στεγάνωση και κυκλοφορία του ρευστού )

$$P_s = \frac{P_n}{n} = \frac{205 \text{ Watt}}{0,9} = 227,8 \text{ Watt}$$

Αυτή την ισχύ θα την λάβουμε από την ηλιακή προσπίπτουσα ακτινοβολία. Ακόμα για την περιοχή της Πάτρα, με τη βοήθεια του προγράμματος PVGIS, δίνεται ότι η ηλιακή ακτινοβολία σε οριζόντιο επίπεδο  $\frac{MJ}{m^2 \cdot mo}$  είναι:

	Ιούλιος	Αύγουστος	Σεπτέμβριος
<b>Πάτρα</b>	781 $\frac{MJ}{m^2 \cdot mo}$	713 $\frac{MJ}{m^2 \cdot mo}$	526,0 $\frac{MJ}{m^2 \cdot mo}$

Επίσης, από διεθνή βιβλιογραφία προκύπτει ότι για την 3 κλιματολογική ζώνη της Ελλάδας, ο συντελεστής  $R_\tau$  (διορθωτικός συντελεστής της προσπίπτουσας ηλιακής ακτινοβολίας) είναι:

Κλίση	0°	10°	20°	30°	40°	50°	60°	70°	80°
<b>Ιούλιος</b>	1,00	0,99	0,96	1,00	0,95	0,89	0,81	0,71	0,60
<b>Αύγουστος</b>	1,00	1,02	1,02	1,00	0,95	0,89	0,81	0,71	0,60
<b>Σεπτέμβρης</b>	1,00	1,07	1,11	1,13	1,12	1,09	1,03	0,95	0,85

Η κατασκευή έχει τη δυνατότητα, να ρυθμίζει το ύψος της και κατ' επέκταση την κλίση του συλλέκτη, ώστε να αποδίδει τα μέγιστα.

Έτσι για τον συντελεστή  $R_\tau$ , προκύπτει ότι:

	Ιούλιος	Αύγουστος	Σεπτέμβριος
<b>Κλίση</b>	0°	15°	30°
<b><math>R_\tau</math></b>	1,00	1,02	1,13

#### 5.4.11 Υπολογισμός ηλιακής ακτινοβολίας σε κεκλιμένο επίπεδο.

Η ολική ηλιακή ακτινοβολία που πέφτει στην επιφάνεια της Πάτρας κατά τη διάρκεια του εκάστοτε μήνα, ορίζεται ως:

$$H_\tau = R_\tau \cdot H \quad (5.27)$$

$H$  = η ηλιακή ακτινοβολία σε οριζόντιο επίπεδο  $\frac{MJ}{m^2 \cdot mo}$

Από τους παραπάνω πίνακες προκύπτει ότι:

$$H_{\tau\_Ιουλίου} = R_{\tau} \cdot H = 781^{MJ/m^2mo} \cdot 1 = 781^{MJ/m^2mo}$$

$$H_{\tau\_Αυγούστου} = R_{\tau} \cdot H = 713^{MJ/m^2mo} \cdot 1,02 = 727,3^{MJ/m^2mo}$$

$$H_{\tau\_Σεπτεμβρίου} = R_{\tau} \cdot H = 526^{MJ/m^2mo} \cdot 1,13 = 594,4^{MJ/m^2mo}$$

Η ενέργεια που παίρνουμε ανά μέρα και για τους τρεις μήνες είναι:

$$H_{\tau\_Ιουλίου} = \frac{781^{MJ/m^2mo}}{31^d} = 25,193^{MJ/m^2d} \quad (5.28)$$

$$H_{\tau\_Αυγούστου} = \frac{727,3^{MJ/m^2mo}}{31^d} = 23,461^{MJ/m^2d}$$

$$H_{\tau\_Σεπτεμβρίου} = \frac{594,4^{MJ/m^2mo}}{30^d} = 19,814^{MJ/m^2d}$$

Οπότε η ισχύς που λαμβάνουμε κάθε μήνα είναι:

$$H_{\tau\_Ιουλίου} = \frac{25,193^{MJ/m^2d}}{14,5^h \cdot 3600^{\frac{sec}{h}}} = 482 \frac{Watt}{m^2} \quad (5.29)$$

$$H_{\tau\_Αυγούστου} = \frac{23,461^{MJ/m^2d}}{13,5^h \cdot 3600^{\frac{sec}{h}}} = 483 \frac{Watt}{m^2}$$

$$H_{\tau\_Σεπτεμβρίου} = \frac{19,814^{MJ/m^2d}}{12,5^h \cdot 3600^{\frac{sec}{h}}} = 440 \frac{Watt}{m^2}$$

#### 5.4.12 Υπολογισμός επιφάνειας συλλέκτη.

Η απαιτούμενη επιφάνεια συλλογής άρα και η επιφάνεια του συλλέκτη ισούται με:

$$A_c = \frac{P_s}{H_\tau} \quad (5.30)$$

Όμως αν ο βαθμός απόδοσης του ηλιακού συλλέκτη είναι ίσος με 60% (όπως δηλαδή υπολογίστηκε σε προηγούμενη ενότητα), τότε:

$$H_{\tau\_Ιουλίου} = 482 \frac{\text{Watt}}{\text{m}^2} \cdot 0,6 = 289,2 \frac{\text{Watt}}{\text{m}^2}$$

$$H_{\tau\_Αυγούστου} = 483 \frac{\text{Watt}}{\text{m}^2} \cdot 0,6 = 289,8 \frac{\text{Watt}}{\text{m}^2}$$

$$H_{\tau\_Σεπτέμβριου} = 440 \frac{\text{Watt}}{\text{m}^2} \cdot 0,6 = 264 \frac{\text{Watt}}{\text{m}^2}$$

Έτσι η απαιτούμενη επιφάνεια πρέπει να είναι:

$$A_{c\_Ιουλίου} = \frac{P_s}{H_\tau} = \frac{227,8^{\text{Watt}}}{289,2 \frac{\text{Watt}}{\text{m}^2}} \approx 0,79 \text{m}^2$$

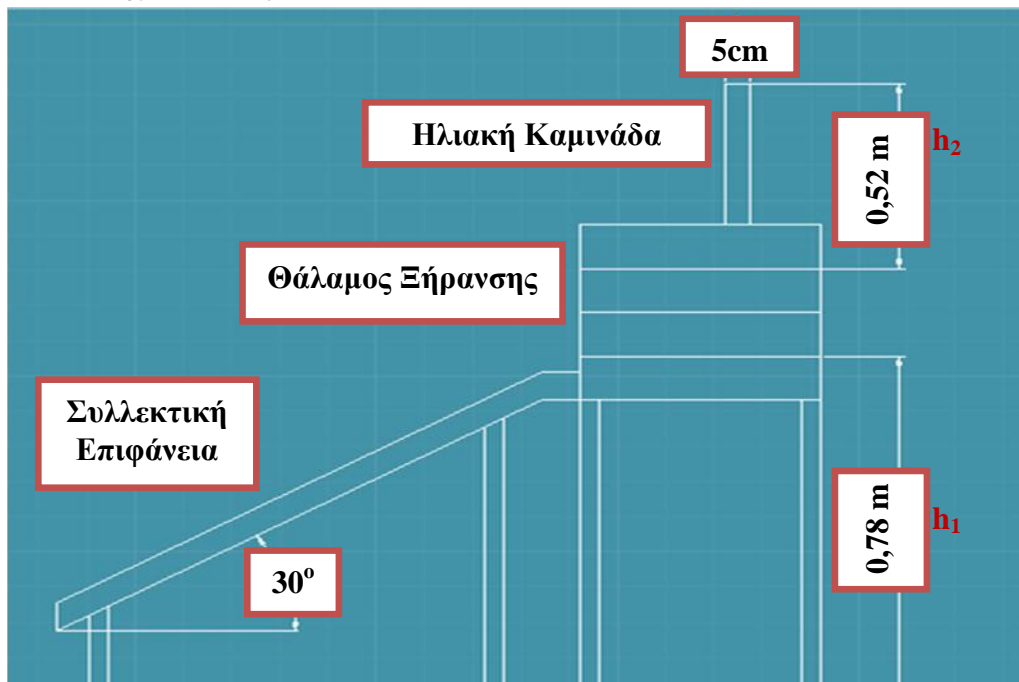
$$A_{c\_Αυγούστου} = \frac{P_s}{H_\tau} = \frac{227,8^{\text{Watt}}}{289,8 \frac{\text{Watt}}{\text{m}^2}} \approx 0,79 \text{m}^2$$

$$A_{c\_Σεπτέμβριου} = \frac{P_s}{H_\tau} = \frac{227,8^{\text{Watt}}}{264 \frac{\text{Watt}}{\text{m}^2}} \approx 0,86 \text{m}^2$$

Η κατασκευή του ξηραντηρίου περιλαμβάνει ηλιακό συλλέκτη με επιφάνεια  $A_c=1,02\text{m}_2$ . Αυτό σημαίνει ότι η επιφάνεια του συλλέκτη είναι μεγαλύτερη κατά 20% από την απαιτούμενη. Οπότε θα μειωθεί η διάρκεια της ξήρανσης κάτω από 4 μέρες.

### 5.4.13 Υπολογισμός ελκυσμού καμινάδας.

Για να υπολογίσουμε τον ελκυσμό της καμινάδας, θα πρέπει να γνωρίζουμε ορισμένα στοιχεία όπως:



- $\rho' = 1,204 \text{ (kg/m}^3\text{)}$ , η πυκνότητα του αέρα περιβάλλοντος στους  $20 \text{ }^\circ\text{C}$ .
- $\rho = 1,04 \text{ (kg/m}^3\text{)}$ , η πυκνότητα του αέρα στο ξηραντήριο (στους  $65 \text{ }^\circ\text{C}$ ).
- $g = 9,81 \text{ m/sec}^2$ .
- $h_1 = 0,78 \text{ (m)}$  το ύψος που βρίσκεται από την διάταξη όλη της κατασκευής.
- $h_2 = 0,52 \text{ (m)}$  το ύψος της καμινάδας.

$$\Delta_{mt} = (h_1 + h_2) \cdot (\rho' - \rho) \cdot g$$

$$\Delta_{mt} = (0,78^m + 0,525^m) \cdot \left( 1,204 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} - 1,04 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \right) \cdot 9,81 \frac{\text{m}}{\text{sec}^2} \approx 2,1 \text{ Pa} \quad (5.31)$$

Ακόμα, θα πρέπει να γνωρίζουμε και το μανομετρικό των ανεμιστήρων εισαγωγής (3x37cfm), καθώς και των ανεμιστήρων ανακυκλοφορίας του ρευστού (2x97cfm). Αυτό μπορεί να γίνει μόνο με πειραματισμό σε εύρος στροφών των ανεμιστήρων και με τη χρήση ηλεκτρονικού μανομέτρου με σωλήνα Pitot.

#### 5.4.14 Υπολογισμός ταχύτητας αέρα στην καμινάδα.

Για την εύρεση της ταχύτητας του αέρα της καμινάδας, θα πρέπει να γίνουν πειραματικές μετρήσεις, αφού μόνο έτσι μπορεί να βρεθεί η ταχύτητα του αέρα στην έξοδο της καμινάδας. Ακόμα, λόγω της προσθήκης των ανεμιστήρων για την παροχή της απαραίτητης ποσότητας αέρα, καθώς και των ανεμιστήρων για την επανακυκλοφορία του ρευστού εντός του θαλάμου ξήρανσης, η εύρεση της ταχύτητας του αέρα στην καμινάδα είναι περίπλοκη και χρειάζεται πειραματικές μετρήσεις. Αυτό μπορεί να γίνει με τη χρήση ενός ηλεκτρονικού μανομέτρου και του σωλήνα Pitot. Κατόπιν, με την εύρεση της ολικής πίεσης στην καμινάδα υπολογίζουμε με την εξίσωση του Bernoulli την ταχύτητα  $u$  σε οποιοδήποτε σημείο (ακόμα μπορεί να γίνει και βαθμονόμηση στους ανεμιστήρες παροχής αέρα).

Η εξίσωση Bernoulli είναι η εξής:

$$\Delta P = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot u^2 \quad (5.32)$$

Όπου

$\rho$ = πυκνότητα του ρευστού σε  $\frac{kg}{m^3}$

$\Delta P = \Delta_{mt}$  η διαφορά πίεσης που δημιουργεί ο φυσικός ελκυσμός της καμινάδας.

$u$ = η ταχύτητα του ρευστού σε  $\frac{m}{sec}$

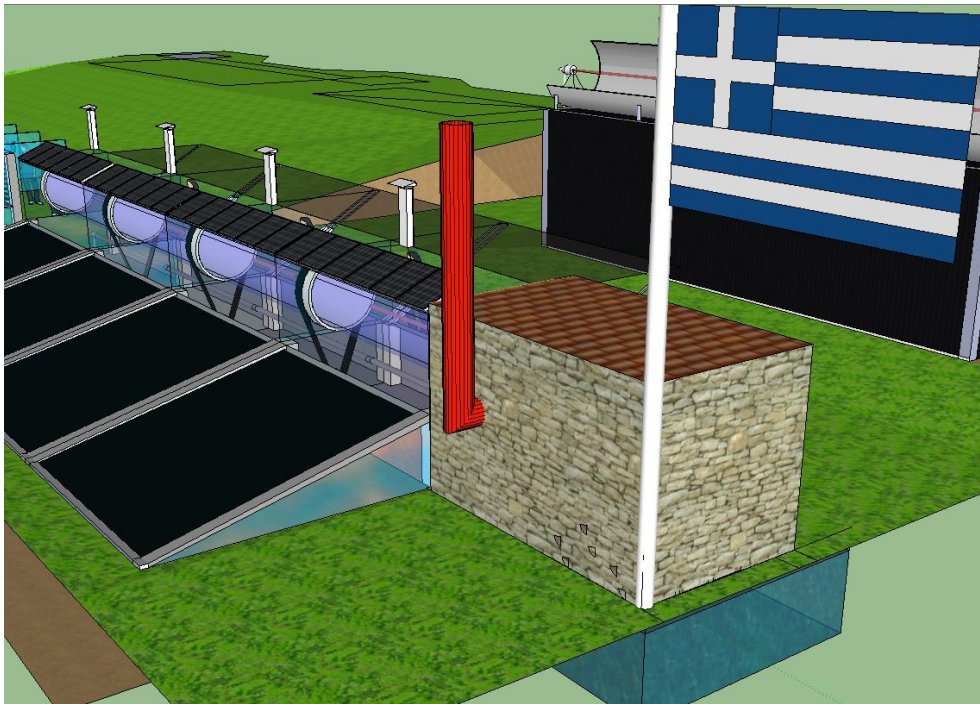
Εάν η θερμοκρασία στην έξοδο της καμινάδας είναι ίση με  $65^\circ C$ , η  $\Delta P = \Delta_{mt} = 2,1 Pa$  και δεν έχουν ληφθεί υπόψη απώλειες τριβών εντός της καμινάδας τότε η ταχύτητα μπορεί να προσδιορισθεί ως:

$$P = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot u^2$$
$$u = \sqrt{\frac{2 \cdot P}{\rho}} = \sqrt{\frac{2 \cdot 2,1 Pa}{1,04 \frac{kg}{m^3}}} \approx 2,01 \frac{m}{sec}$$

Η τιμή της ταχύτητας του αέρα στην καμινάδα βρίσκεται σε πολύ λογικές τιμές. Αυτό σημαίνει ότι η διαστασιολόγηση του φυσικού ελκυσμού είναι εντός προδιαγραφών, αφού η τιμή βρίσκεται πολύ κοντά στα  $2 m/sec$ .

## 6. Ηλιακά Ξηραντήρια μεγάλης κλίμακας (Πρότυπα σχέδια).

Στη συνέχεια ακολουθούν θεωρητικές τρισδιάστατες απεικονίσεις Ηλιακών Ξηραντηρίων μεγάλης κλίμακας, που έχουν στόχο τη μαζική ξήρανση τροφών και προϊόντων. Η τελική ποιότητα του προϊόντος θα έχει βελτιωμένα χαρακτηριστικά και θα έχει επεξεργαστεί αμιγώς με Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας (Ηλιακή & Γεωθερμική Ενέργεια και συμπληρωματικά με Λέβητες Βιομάζας).



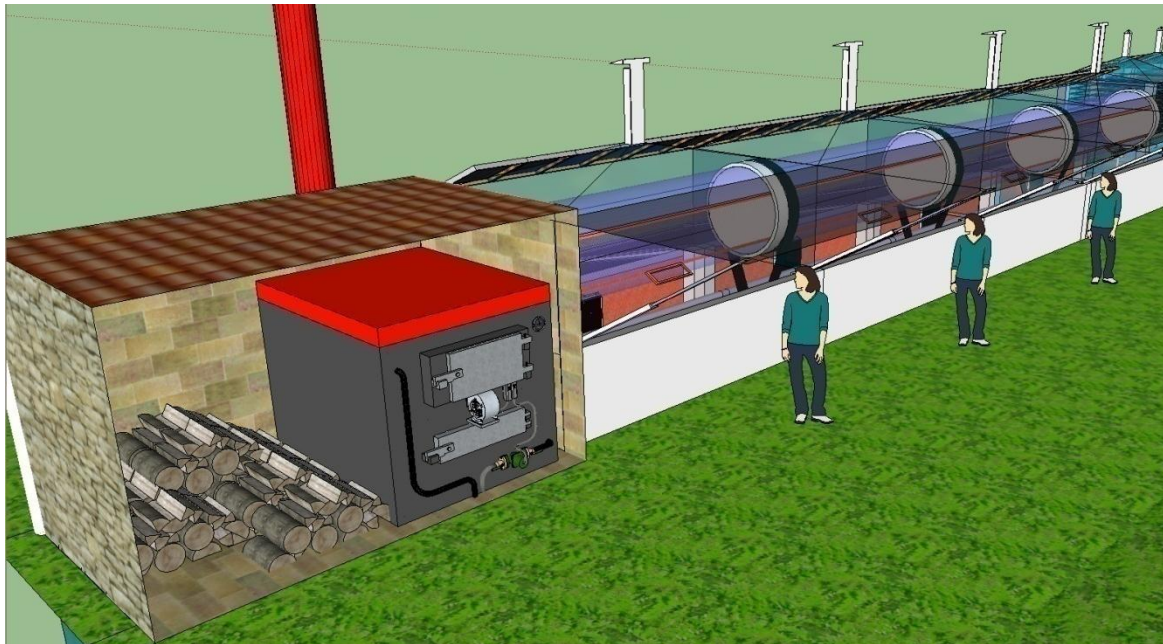
Απεικόνιση περιστρεφόμενου ξηραντηρίου με ιμάντα.

Τα ξηραντήρια αυτά έχουν τη δυνατότητα ξήρανσης 500-700 κιλών νωπού προϊόντος(σταφίδας και βοτάνων). Η φιλοσοφία της ιδέας είναι να λειτουργεί 24 ώρες το 24ωρο,έτσι ώστε να έχουμε συνεχή ομοιόμορφη ξήρανση. Η ενέργεια που απαιτείται για την λειτουργία του, παρέχεται από τα φ/β συστήματα (έχουν τοποθετηθεί στο πάνω μέρος του θαλάμου ξήρανσης). Η συλλεκτική επιφάνεια του ξηραντηρίου έχει 2 ιδιότητες.

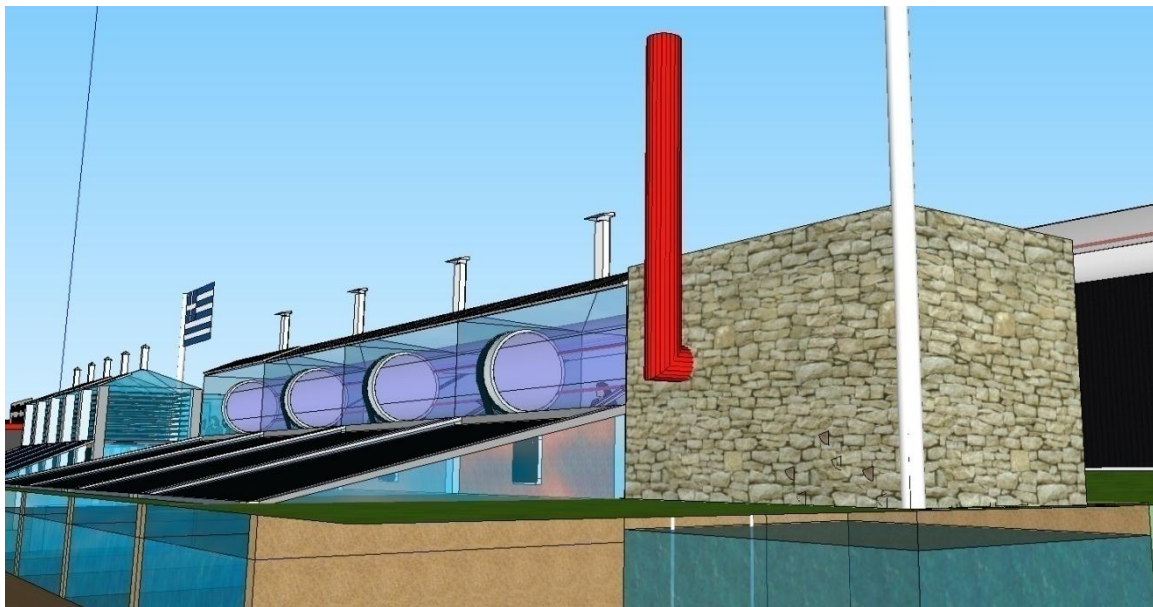
**1<sup>η</sup>** ιδιότητα: θέρμανση του εισερχόμενου αέρα περιβάλλοντος για την ξήρανση.

**2<sup>η</sup>** ιδιότητα: θέρμανση αποθηκευμένου νερού, με στόχο τη χρησιμοποίηση του τις μέρες ή και τις νύχτες που η ενέργεια δεν είναι ικανή για την ξήρανση. Η δεξαμενή νερού δηλαδή, θα παίζει το ρόλο της αποθήκευσης θερμότητας (μπορεί αντί για νερό, να τοποθετηθούν και κροκάλες, πέτρες που έχουν πολύ καλή θερμο-αποθηκευτική ικανότητα)





Ο λέβητας Βιομάζας (για τις αγροτικές περιοχές), μπορεί να δώσει ικανοποιητικά ποσά θερμότητας για τη θέρμανση του νερού, έτσι ώστε το ξηραντήριο να λειτουργεί 24 ώρες το 24ωρο και 365 μέρες το χρόνο (αν απαιτείται). Τα υλικά κατασκευής των ξηραντηρίων έχουν πολύ καλές θερμικές ιδιότητες, έτσι οι απώλειες του συστήματος είναι μειωμένες αισθητά.



Οι δεξαμενές με θερμό νερό είναι αποθηκευμένες κάτω από το έδαφος (μόνωση του εδάφους και σε ορισμένες περιοχές μπορεί να υπάρχει γεωθερμία) και με τη βοήθεια κυκλοφορητών έχουμε ανα-κυκλοφορία του ρευστού από εναλλάκτες θερμότητας. Η ταχύτητα και η θερμοκρασία του αέρα ξήρανσης ρυθμίζεται με ανεμιστήρα.



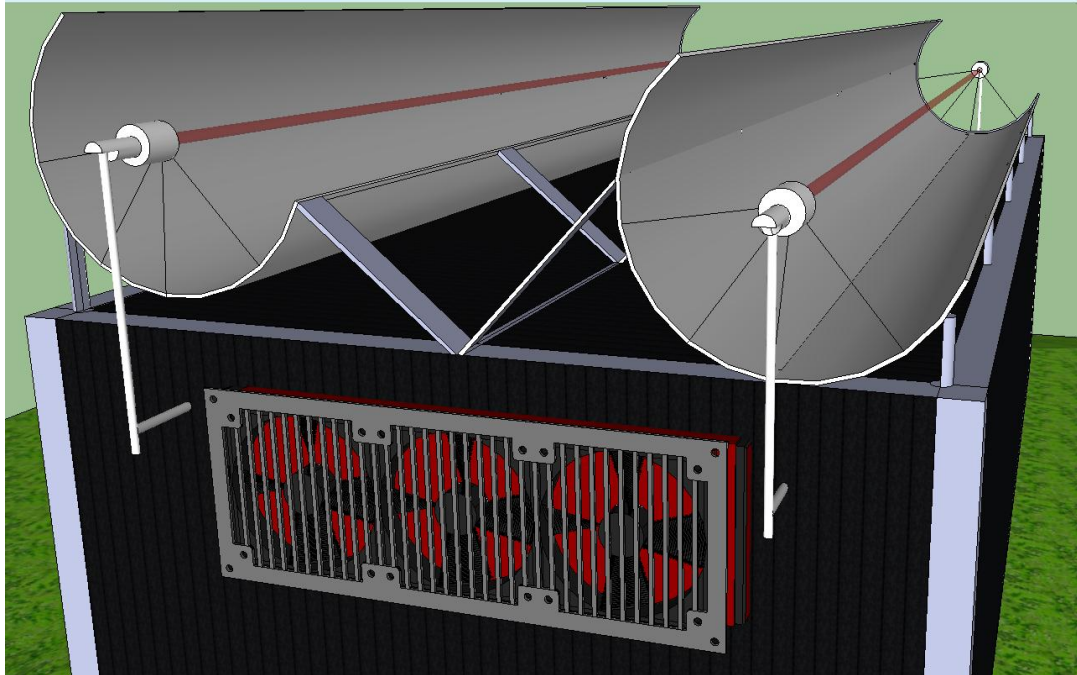
Ξήρανση με Ηλιακό Τοίχο και υποβοήθηση με παραβολικά ηλιακά συστήματα υψηλής ενθαλπίας.

Μεγάλοι αποθηκευτικοί χώροι με βιοκλιματικό σχεδιασμό (σχεδιασμό μεγάλων απορροφητικών επιφανειών στο Νότο και μεγάλη μόνωση στη Βορινή πλευρά, με στόχο το κέρδος της μέγιστης ηλιακής ακτινοβολίας) και παραβολικά ηλιακά συστήματα θερμοκρασίας 700-1100°C για βεβαιωμένη κυκλοφορία θερμού ρευστού.



Στο εσωτερικό υπάρχουν συστήματα εξαερισμού για την εισαγωγή του ξηρού θερμού ρευστού και την εξαγωγή του υγρού ρευστού. Η παραγωγή ξηραϊνόμενων προϊόντων ποικίλλει με το μέγεθος του ξηραντήριου. Με πρόχειρους υπολογισμούς το ξηραντήριο αυτού του τύπου μπορεί να ξηράνει

από 7 τόνους (το παρόν) σταφίδα σε 3 μέρες. Οι διαστάσεις του ξηραντηρίου είναι 20μ x 8μ x 3μ, με 5cm πάχος στρώματος εναπόθεσης προϊόντος.



Ηλιακά παραβολικά συστήματα και συστήματα αερισμού , με στόχο την εκμετάλλευση και αξιοποίηση της ηλιακής ακτινοβολίας σε θερμότητα υψηλής ενθαλπίας και χρησιμοποίηση της σε βεβιασμένη κυκλοφορία θερμού ρευστού.

## 7. Συμπεράσματα.

Τα συμπεράσματα που προκύπτουν από την παρούσα Πτυχιακή Εργασία, μας δείχνουν ότι μπορεί να υπάρχει μια πολύ μεγάλη αξιοποίηση των ηλιακών ξηραντήριων (η κατασκευή χρησιμοποιεί τη έμμεση ηλιακή ξήρανση), τόσο σε ξήρανση αγροτικών προϊόντων και τροφών, όσο και σε ξήρανση προϊόντων και υλικών που χρησιμοποιούμε στην καθημερινότητά μας, όπως καπνά και ξυλεία. Είναι πολύ φιλικά προς το περιβάλλον, αφού χρησιμοποιούν Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας, τόσο για την παραγωγή ρευστού υψηλής ενθαλπίας για την μείωση του επιπέδου της υγρασίας στα προϊόντα, όσο και για την κάλυψη ηλεκτρικών αναγκών του ξηραντήριου, μέσω του φωτοβολταϊκού συστήματος.

### Το ξηραντήριο αποτελείται από 4 μέρη.

Τον ηλιακό συλλέκτη αέρος που κατασκευάστηκε από γαλβανισμένη λαμαρίνα (το πλαίσιο), αλουμίνιο (η επιλεκτική επιφάνεια), υαλοπίνακας 6mm και μονωτικά υλικά. Ο βαθμός απόδοσης φθάνει το 60% τους καλοκαιρινούς μήνες (Ιούνιο- Ιούλιο- Αύγουστο), ενώ τους υπόλοιπους μήνες υποχωρεί, όπως και η ηλιακή ακτινοβολία ( $I_T$ ). Η επιφάνεια του συλλέκτη είναι μεγαλύτερη κατά 20% (περίπου) από την απαιτούμενη. Αυτό σημαίνει ότι η ξήρανση θα γίνει γρηγορότερα από 4 μέρες, βάσει των υπολογισμών.

Το θάλαμο ξήρανσης που κατασκευάστηκε από θερμομονωτικό πάνελ πολυουρεθάνης 4cm και μονωτικά υλικά. Παρουσιάζουν πολύ μικρές απώλειες θερμότητας, πράγμα που μας επιτρέπει την εξοικονόμηση ενέργειας (δεν αποβάλλουμε την θερμότητα στο περιβάλλον, αλλά την διατηρούμε εντός του θαλάμου και την επαναξιοποιούμε). Στο θάλαμο μπορούμε να τοποθετήσουμε περισσότερο από 30 κιλά προϊόντων, αφού η χωρητικότητά του ξεπερνά τα 130 lt. Ωστόσο έγιναν υπολογισμοί για 15 κιλά σταφίδα.

Τα ηλεκτρομηχανολογικά υλικά (ανεμιστήρες παροχής αέρα, ανεμιστήρες επανακυκλοφορίας, αισθητήρες θερμοκρασίας - υγρασίας, εγκατάσταση φωτοβολταϊκού πλαισίου, ρυθμιστής φόρτισης, μπαταρία, βοηθητικό ρελέ, μεταβλητές αντιστάσεις, τερματικό διακόπτη και αισθητήρας φωτός) που μας επιτρέπουν την άμεση επίβλεψη και παρέμβαση στη διεργασία της ξήρανσης.

Η ηλιακή καμινάδα έχει σχεδιαστεί και κατασκευαστεί σύμφωνα με τη διάταξη όλης της κατασκευής και εμφανίζει ταχύτητα στην έξοδο ίση με 2,01m/sec (χωρίς τον υπολογισμό των απωλειών που οφείλονται τριβές). Η τιμή αυτή προσεγγίζει την ιδανική τιμή που είναι ίση με 2 m/sec.

Τα ηλιακά ξηραντήρια παρουσιάζουν μεγάλη υστέρηση (μη αποδοτικά και παραγωγικά) κατά τους χειμερινούς μήνες (μέσα Νοεμβρίου έως μέσα Μαρτίου). *Ο λόγος αυτός άλλωστε ήταν και ο μόνος που δεν κατάφερα να πάρω*

μετρήσεις σε προϊόντα. Ωστόσο, στις κατασκευές αυτές, μπορούμε να συνδέσουμε εφεδρικά συστήματα (είτε ηλιοθερμικά είτε λέβητα βιομάζας), ώστε να πετύχουμε τη μέγιστη δυνατή παραγωγικότητα καθ' όλη τη διάρκεια του χρόνου.

Αξίζει να σημειωθεί ότι από την δεκαετία του 50 και μετά, ο κορμός της οικονομίας της Ελλάδος, ήταν αποκλειστικά η μαύρη κορινθιακή σταφίδα και η σουλτανίνα.

#### Κορινθιακή σταφίδα

Εμπορική Περίοδος	Έκταση σε στρέμματα	Παραγωγή σε τόνους
1999-2000	175.986	38.074
2000-2001	170.120	39.450
2001-2002	166.780	35.628
2002-2003	163.764	23.935(*)
2003-2004	158.049	36.770
2004-2005	155.507	39.977
2005-2006	154.620	27.112
2006-2007	151.154	25.000
2010-2011	146.500	22.000
2011-2012	149.000	20.000

(\*)Μεγάλη φυσική καταστροφή λόγω εκτεταμένων βροχοπτώσεων κατά τη συγκομιδή

**Πίνακας 7.1:** Στατιστικά στοιχεία Κορινθιακής σταφίδας.

Πηγή: Υπουργείο Αγροτικής Ανάπτυξης.

#### Στοιχεία έκτασης και παραγωγής σταφίδας σουλτανίνας

Εμπορική Περίοδος	Έκταση σε στρέμματα	Παραγωγή σε τόνους
1999-2000	176.952	28.028
2000-2001	162.123	37.624
2001-2002	161.218	36.490
2002-2003	138.581	10.123
2003-2004	147.540	20.097
2004-2005	159.357	36.425
2005-2006	173.087	29.000
2006-2007	172.998	26.751
2010-2011	150.000	3.000
2011-2012	120.000	1.500

**Πίνακας 7.2:** Στατιστικά στοιχεία σταφίδας σουλτανίνας.

Πηγή: Υπουργείο Αγροτικής Ανάπτυξης.

Όπως δείχνουν, όμως τα οικονομικά στοιχεία από το Υπουργείο Αγροτικής Ανάπτυξης, η παραγωγή έχει πέσει σχεδόν κατά 50% στη μαύρη Κορινθιακή σταφίδα και κατά 95% για την σταφίδα σουλτανίνα, τα τελευταία 12 χρόνια. Προφανώς, η αύξηση της τιμής των ενεργειακών πόρων (πετρέλαιο και ρεύμα), αποσπούσε μεγάλα ποσά από τα κέρδη, έτσι ώστε σήμερα η επένδυση για τα προϊόντα αυτά, να είναι ζημιογόνα.

Τα ηλιακά ξηραντήρια μπορούν να προσελκύσουν, επενδυτές και παραγωγούς (ιδίως νέους), για την καλλιέργεια και την επεξεργασία των προϊόντων με πολύ μικρό οικονομικό κόστος και δυνατότητα κερδοφορίας. Τα προϊόντα που έχουν επεξεργαστεί σε ηλιακά ξηραντήρια, αναγνωρίζονται ως ποιοτικά αναγνωρισμένα προϊόντα (καλύτερα σε σχέση με τα βιομηχανικά ξηραντήρια), καθώς πραγματοποιείται μείωση της περιεκτικότητας της υγρασίας στα επιθυμητά επίπεδα, χωρίς καμία αλλοίωση των ιδιοτήτων του υλικού. Επίσης, καθιστούν πολύ πιο ασφαλές το προϊόν, έναντι της ξήρανσης στην ύπαιθρο, λόγω του ότι γίνεται σε κλειστό σύστημα, χωρίς την προσβολή από τρωκτικά και φυσικά φαινόμενα.

## 8. Παράρτημα

### 8.1 Εικόνες κατασκευής



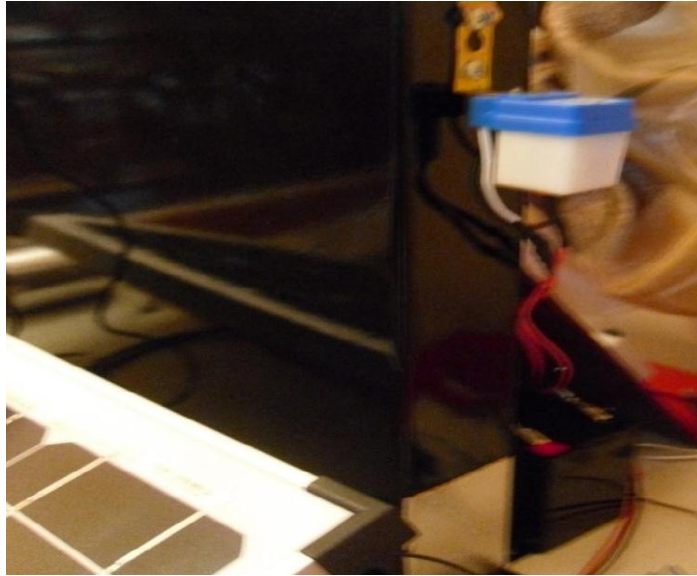
#### Περιγραφή

Η φωτογραφία απεικονίζει το θάλαμο ξήρανσης, το φωτοβολταϊκό πλαίσιο, την ηλιακή καμινάδα και τους αεραγωγούς για την ανακυκλοφορία του ρευστού.



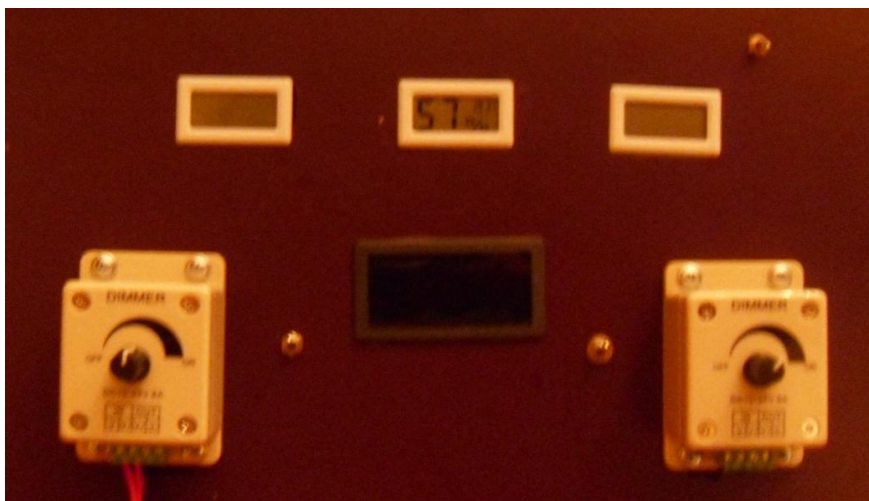
#### Περιγραφή

Η φωτογραφία απεικονίζει το ρυθμιστή φόρτισης που συνδεει το φωτοβολταϊκό πλαίσιο με τη μπαταρία, ώστε να καλύπτονται οι ηλεκτρικές ανάγκες του συστήματος.



### Περιγραφή

Η φωτογραφία απεικονίζει την ηλιακή καμινάδα, στην οποία έχουμε τοποθετήσει το αισθητήριο όργανο αυτόματου ανιχνευτεί φωτός-νύκτας, ώστε να υπάρχει αυτοματοποιημένη διαδικασία έναρξης και τερματισμού της διεργασίας της ξήρανσης (λειτουργία την ημέρα-τερματισμός ηλεκτρικών αναγκών το βράδυ).

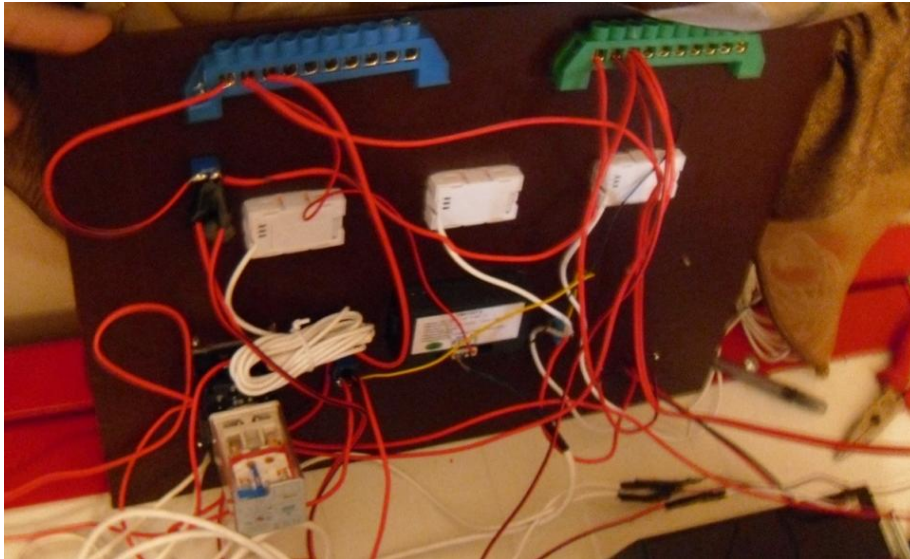


### Περιγραφή

Η φωτογραφία απεικονίζει τον πίνακα ελέγχου (πρόσοψη). Δύο dimmer ( ένα dimmer για το σύστημα εισαγωγής φρέσκου αέρα και άλλο ένα dimmer για το σύστημα επανακυκλοφορίας του ρευστού εντός του θαλάμου ξήρανσης), 4 αισθητήρες θερμοκρασίας-υγρασίας με ψηφιακή οθόνη (θερμοκρασία - υγρασία αέρα περιβάλλοντος, θερμοκρασία - υγρασία αέρα θαλάμου ξήρανσης,



θερμοκρασία - υγρασία αέρα καμινάδας και θερμοκρασία ηλιακού συλλέκτη αέρος), 3 διακόπτες ρεύματος αεροπορικού τύπου.



### Περιγραφή

Η φωτογραφία απεικονίζει τον πίνακα ελέγχου (πίσω οψη). Διακρίνεται το ηλεκτρικό κύκλωμα (γεφύρωμα καλωδίων, διακόπτες, αισθητήρες, ρελέ 12 volt για αντιστροφή πολικότητας).



### Περιγραφή

Η φωτογραφία απεικονίζει τον θάλαμο του ηλιακό ξηραντηρίου, τους αεραγωγούς εισαγωγής και επανακυκλοφορίας του αέρα, τους ηλεκτρικούς ανεμιστήρες, το φωτοβολταϊκό πλαίσιο και την ηλιακή καμινάδα.

Πλήρως συναρμολογημένη η κατασκευή.



## 9. Βιβλιογραφία.

1. Π. Χαρώνης. «Ηλιακά Ξηραντήρια», εκδόσεις ΙΩΝ, Αθήνα 1989.
2. Θερμικά – ηλιακά συστήματα μέρος 1<sup>ο</sup> , Κίμωνας Α. Αντωνόπουλος, Καθηγητής ΕΜΠ, Αθήνα 2004.
3. Ηλιακή μηχανική τόμος 2<sup>ος</sup> ,Σ. Ν. Καπλάνης, εκδόσεις ΙΩΝ.
4. Εφαρμογή Αρχών μεταφοράς μάζας και θερμότητας στην ξήρανση τροφών, Διδακτορική διατριβή Γ.Κ. Βαγενά, 1988.
5. Σ. Φαλάγκα, «Ξήρανση αγροτικών προϊόντων», εκδ ΕΛΚΕΠΑ, Αθήνα 1985.
6. Γ. Δ. Σαραβάκος, «Τεχνική θερμικών διεργασιών», εκδ. ΕΜΠ, Αθήνα 1979.
7. Πάνος Κοσμόπουλος, «Περιβαλλοντικός Σχεδιασμός», Δεύτερη βελτιωμένη έκδοση, University Studio Press, 2007.
8. Άγις Μ. Παπαδόπουλος Αναπληρωτής Καθηγητής Α.Π.Θ., «Προδιαγραφές ιδιοτήτων θερμομονωτικών υλικών», Θεσσαλονίκη, 2004.
9. Κέντρο ανανεώσιμων πηγών ενέργειας, «Οδηγός εξοικονόμησης ενέργειας μέσω θερμομόνωσης», Δεκέμβριος 1999.
10. Διπλωματική Εργασία «Ανάλυση Ηλιακών Ξηραντήρων», Γαλανού Βασιλεία, Ε.Μ.Π, 2009.
11. McCabe W., Smith J. and Harriott P., 2001. Βασικές Φυσικές Διεργασίες Μηχανικής, 6η έκδοση.
12. J. Duffie, W. Beckman «Solar Engineering of Thermal Processes», Wiley N.Y 1980.
13. Mechanical Engineer's Handbook, Third Edition 2006, Myer Kutz.
14. FUNDAMENTAL PRINCIPLES OF DRYING Arun S. Mujumdar and Sakamon Devahastin.
15. Solar drying systems, B. K. Bala.
16. Drying and storage of grains and oilseeds, Donald B. Brooker, Fred W. Bakker-Arkema, Carl W. Hall.
17. Handbook of Photovoltaic Science and Engineering, Antonio Luque, Steven Hegedus, Wiley 2002.
18. L. Imre, Technical and economical evaluation of solar drying, Drying Technology, (1986).
19. Τεχνικό έντυπο & Συστήματα Ενεργειακής Αναβάθμισης Εξοικονόμησης Ενέργειας Κτηρίων, Bio Clima.
20. «Ηλιακοί συλλέκτες», Γιάννης Κατσιγιάνης, ΑΤΕΙ Κρήτης.

21. Drying characteristics of Roselle (1): Mathematical Modeling and Drying Experiments.
22. Santos B., Queiroz M. and Borges T., A Solar Collector Design Procedure for Crop Drying, Brazilian Journal of Chemical Engineering, 2005.
23. Hui Y.H., Clary C., Farid M.M., Fasina O.O., Noomhorm A., Wlti Chanes J.(2008). Food Drying Science and Technology: Microbiology, Chemistry, Application. DEStech Publications, Lancaster Pennsylvania U.S.A.
24. Chen X. D. and Mujumdar A. S., 2008. Freeze and vacuum drying of foods, Drying Technologies in Food Processing.

### **Ιστοσελίδες**

1. <http://portal.tee.gr>
2. <http://www.rpsgroup.com/UK/Sectors/Renewable-Energy/Wave-and-Tidal/Wavegen-Limpet-OWC.aspx>
3. <http://www.earth.columbia.edu>
4. <http://www.ises-online.de>
5. <http://www.cigr.org>
6. <http://www.minagric.gr>
7. <http://el.wikipedia.org>
8. <http://wikipedia.com>
9. <http://www.sdstate.edu>
10. <http://www.epsea.org>
11. <http://www.retscreen.net>
12. [http://paginas.fe.up.pt/~sereno/publ/2001/01DT\\_DryingData.pdf](http://paginas.fe.up.pt/~sereno/publ/2001/01DT_DryingData.pdf)
13. <http://www.process-heating.com>
14. <http://www.cres.gr>