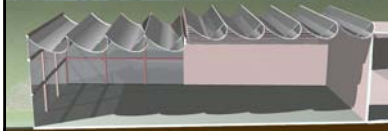


## Ηλιακοί Θερμικοί Συλλέκτες για Βιομηχανικές Εφαρμογές

Γιάννης Τρυπαναγνώστου

Αναπλ. Καθηγητής Τμ. Φυσικής Παν/μιου Πατρών



## Ενέργεια ανά τομέα

Ενέργεια τελικής χρήσης στην βιομηχανία της ΕΕ

Κτήρια.....40%  
Βιομηχανία.....30%  
Μεταφορές.....30%



Η βιομηχανική θερμότητα στην Ε.Ε. για θερμοκρασίες μικρότερες των 250 °C είναι 300 TWh, ή το 8% της συνολικής καταναλισκόμενης ενέργειας, άρα υπάρχει μεγάλο δυναμικό ως προς τους στόχους για το 2020 και 2030.

Το μεγαλύτερο ποσοστό των ενεργειακών αναγκών αφορούν τις διεργασίες τροφίμων, χαρτί, κλωστοϋφαντουργίας και χημικών προϊόντων.

Στις βιομηχανικές διεργασίες η απαίτηση για ενέργεια είναι συνεχής όλο το έτος και για πολλές ώρες την ημέρα.

**Χαρακτηριστικές περιπτώσεις βιομηχανικής θερμότητας είναι:**

Θέρμανση νερού για διεργασίες πλυσίματος, βαφής, χημικών διεργασιών, θέρμανση αέρα για αφύγρανση προϊόντων, για ψύξη και για παραγωγή ατμού για διάφορες διεργασίες.

Η ενέργεια για βιομηχανικές διεργασίες καλύπτεται με πετρέλαιο, φυσικό αέριο, ηλεκτρισμό. Η χρήση της ηλιακής ενέργειας γίνεται σταδιακά πιο οικονομικά αποδοτική, όσο αυξάνεται το κόστος των καυσίμων.

Σήμερα, η χρήση συστημάτων ηλιακής ενέργειας **δεν είναι ακόμη οικονομικά αποδοτικά** χωρίς επιδότηση.

Για καύσιμα με κόστος **0.6 €/kg** και χωρίς επιδότηση, ο χρόνος αποπληρωμής μιας ηλιακής εγκατάστασης είναι περί τα **4 έτη**.

Για κόστος **0.2 €/kg** ο χρόνος αποπληρωμής είναι περί τα **8 έτη**.

Για κόστος **0.02 €/kWh** ο χρόνος αποπληρωμής είναι περί τα **12 έτη**.

**Η επιδότηση μειώνει τους χρόνους αποπληρωμής στο μισό.**

[Karagiorgas M, Botzios A, Tsoutsos T, "Industrial solar thermal applications in Greece, Economic evaluation, quality requirements and case studies, Renewable & Sustainable Energy Reviews 5, 157-173, (2001)]

## Παραγωγικοί τομείς για εφαρμογή συστημάτων ηλιακής ενέργειας:

Τρόφιμα, ποτά, κλωστοϋφαντουργία, χημικά, κτηριακά, φαρμακευτικά, χαρτοβιομηχανία, αγροτοβιομηχανία.

Ειδικά για αγροτοβιομηχανία:

Ξήρανση προϊόντων, θερμοκηπιακές καλλιέργειες, καπνός, επεξεργασία κρέατος, γαλακτοβιομηχανία, κονσερβοποίηση, αποστακτήρια, καθαρισμός νερού, αφαλάτωση.

## ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑΚΕΣ ΠΕΡΙΟΧΕΣ ΔΙΕΡΓΑΣΙΩΝ ΣΤΗ ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΑ

Industrial sector	Processes	Temperature level (°C)
Food and beverages	drying	30 – 90
	washing	40 – 80
	pasteurizing	80 – 110
	boiling	95 – 105
	sterilizing	140 – 150
Textile industry	heat treatment	40 – 60
	washing	40 – 80
	bleaching	80 – 100
Chemical industry	dyeing	100 – 160
	boiling	95 – 105
	distilling	110 – 300
All sectors	various chemical processes	120 – 180
	pre-heating of boiler feed water	30 – 100
	heating of production halls	30 – 80

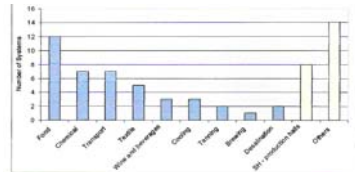
**Οι περισσότερες βιομηχανικές διεργασίες γίνονται σε θερμοκρασίες < 250 °C**

Οι διεργασίες < 80 °C μπορούν να καλυφθούν με συνήθεις επιπέδους θερμικών ηλιακών συλλέκτες.

Οι διεργασίες μεταξύ 80 °C και 250 °C μπορούν να καλυφθούν με αποδοτικούς θερμικούς συλλέκτες, συλλέκτες κενού, CPC και παραβολικούς συλλέκτες

[ESTIF, Solar Industrial Process Heat – State of the Art -]

## ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΗΛΙΑΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΣΤΗ ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΑ



Τα ηλιακά συστήματα που έχουν εφαρμοστεί στον βιομηχανικό τομέα της ΕΕ είναι περισσότερα από 60 και συνιστούν σε θερμική ισχύ 42 MW<sub>th</sub>, ή 60.000 m<sup>2</sup> 50% της ενέργειας των βιομηχανικών διεργασιών γίνονται σε <250 °C και η ενέργεια αυτή είναι 300 TWh

[ESTIF, Solar Industrial Process Heat – State of the Art -]



Παραδείγματα βιομηχανιών με συστήματα ηλιακής ενέργειας

## Βιομηχανικές μονάδες με εγκαταστάσεις ηλιακής ενέργειας στην Ελλάδα

ACHAIA-CLAUSS (Πάτρα, ποτά), 308 m<sup>2</sup> επίπεδοι συλλέκτες

ALLEGRO (Αθήνα, ρούχα), 55 m<sup>2</sup> επίπεδοι συλλέκτες

ALPINO (Θεσσαλονίκη, γαλακτοκομικά), 324 m<sup>2</sup> επίπεδοι συλλέκτες

MEBΓΑΛ (Θεσσαλονίκη, γαλακτοκομικά), 216 m<sup>2</sup> επ. συλ. και 111 m<sup>2</sup> CPC συλ.

MANDREKAS (Κόρινθος, γαλακτοκομικά), 170 m<sup>2</sup> επίπεδοι συλλέκτες

SARANTIS (Οινόφυτα, καλλυντικά), 2700 m<sup>2</sup> επίπεδοι συλλέκτες

PLEKTOEMBORIKI (Ηράκλειο, ελαιουργία), 50 m<sup>2</sup> επίπεδοι συλλέκτες

ΘΕΡΜΟΚΗΠΙΑ ΚΟΖΑΝΗΣ (Κοζάνη, ανθοκομία), 80 m<sup>2</sup> επίπεδοι συλλέκτες

ΚΑΣΤΡΙΝΟΓΙΑΝΝΗΣ (Ηράκλειο, κλωστήγία), 180 m<sup>2</sup> επίπεδοι συλλέκτες

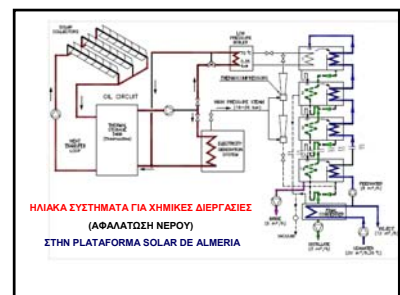
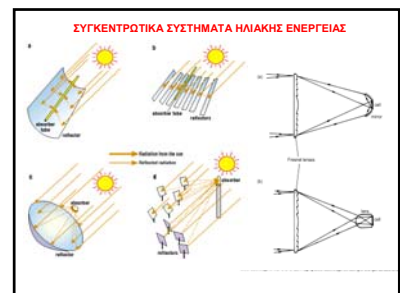
[Karagiorgas M, Botzios A, Tsoutsos T, "Industrial solar thermal applications in Greece, Economic evaluation, quality requirements and case studies, Renewable & Sustainable Energy Reviews 5, 157-173, (2001)]



**Ενδεικτικές θερμοκρασίες αποδοτικής λειτουργίας θερμικών συλλεκτών**

ΗΛΙΑΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ	Θερμοκρασιακό εύρος (°C)
<b>ΣΤΑΘΕΡΑ</b>	
Επίπεδοι θερμικοί ηλιακοί συλλέκτες	1 X 30-80
Ηλιακοί συλλέκτες κενού (σωλήνα ή επίπεδοι)	1 X 50-200
Συλλέκτες με σύνθετα παραβολικά κάτοπτρα (CPC)	1- 5 X 60-240
<b>ΕΝΟΣ ΑΞΟΝΑ ΠΡΟΣΑΝΑΤΟΛΙΣΜΟΥ</b>	
Συλλέκτες με φακούς Fresnel	10-40 X 60-250
Συλλέκτες με κυλινδρο-παραβολικά κάτοπτρα	10-50 X 60-300
<b>ΔΥΟ ΑΞΟΝΕΣ ΠΡΟΣΑΝΑΤΟΛΙΣΜΟΥ</b>	
Παραβολικοί δίσκοι	100-1000 100-500
Σύστημα ηλιοστασίων-πύργου	100-1500 150-2000

[S. Kalogirou, "The potential of solar industrial process heat applications" Applied Energy 76, 337-361, (2003)]

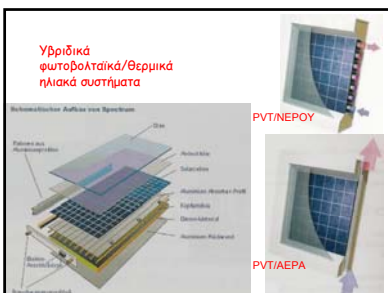




PLATAFORMA SOLAR DE ALMERIA



ΗΛΙΑΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΚΑΤΟΠΤΡΩΝ FRESNEL  
ΓΙΑ ΧΡΗΣΗ ΣΤΟΝ ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΚΟ ΤΟΜΕΑ



Υβριδικά  
φωτοβολταϊκά/θερμικά  
ηλιακά συστήματα

PVT/NEPOY

PVT/ΑΕΡΑ



Υβριδικά φωτοβολταϊκά/θερμικά ηλιακά συστήματα



Υβριδικά φωτοβολταϊκά/θερμικά ηλιακά συστήματα



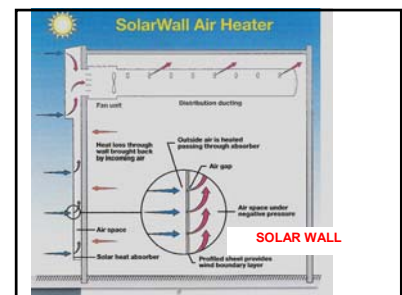
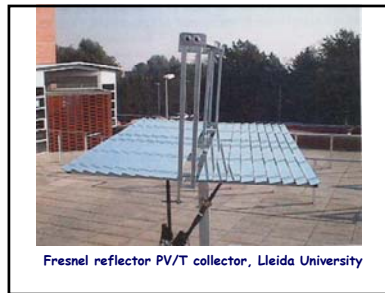
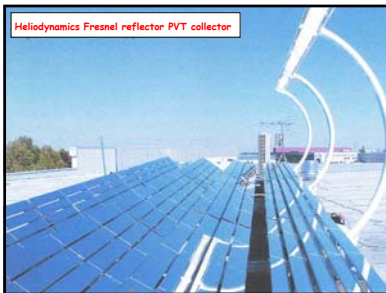
Φωτοβολταϊκό/θερμικό σύστημα  
με προσανατολιζόμενο παραβολικό  
κάτοπτρο (για αφαλάτωση)



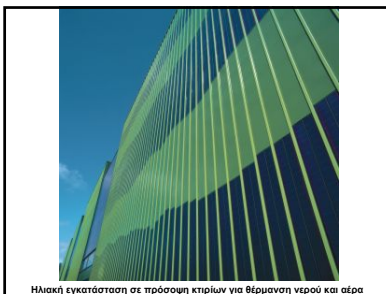
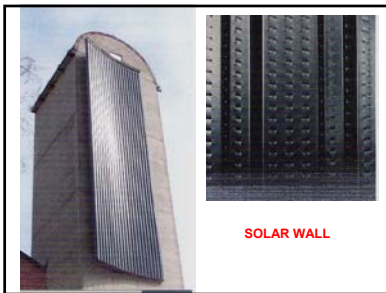
Φωτοβολταϊκό/θερμικό  
σύστημα με συμμετρικό  
κάτοπτρο CPC για θέρμανση  
νερού μέχρι 60 °C  
ARONTIS



Φωτοβολταϊκό/θερμικό σύστημα με  
προσανατολιζόμενο κυλινδρο-παραβολικό κάτοπτρο για  
θέρμανση νερού στους 60 °C







**Ηλιακά συστήματα για αφαλάτωση**

Τα κυριότερα συστήματα αφαλάτωσης βασίζονται στις:

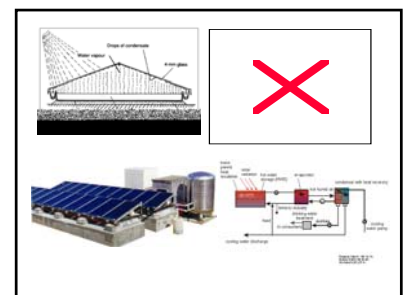
Μεθόδους εξάτμισης:

- μονοβάθμια και πολυβάθμια εξάτμιση (Multiple Effect Distillation – MED),
- πολυβάθμια εκτόνωση (Multi-Stage Flash Distillation - MSF),
- εξάτμιση με επανασυμπίεση ατμών (Vapor Compression - VC)

Μεθόδους μεμβρανών:

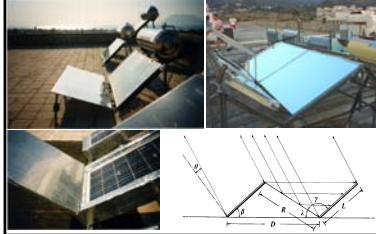
- αντίστροφη ώσμωση (Reverse Osmosis - RO) Απόσταξη με ηλεκτροδιάλυση (Electrodialysis - ED ή Electrodialysis Reversal - EDR).

Πιο συνήθης είναι η τεχνολογία της αντίστροφης ώσμωσης (RO) με χρήση φωτοβολταϊκών ή ανεμογεννητριών και η εφαρμογή ηλιακών θερμικών συστημάτων με τεχνολογίες εξάτμισης και κυρίως πολλαπλή εξάτμιση ατμών (MED). Ενδιαφέρον παρουσιάζει και η χρήση ηλιακών θερμικών συλλεκτών για λειτουργία Organic Rankine engine – Reverse Osmosis

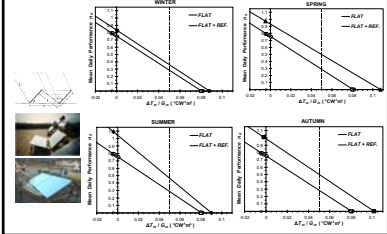


Ηλιακά συστήματα που αναπτύχθηκαν στο  
Εργαστήριο Ηλιακής Ενέργειας του Παν/μίου Πατρών

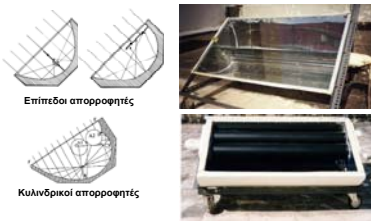
Αποδοτικοί ηλιακοί συλλέκτες και διατάξεις  
με ενισχυτικά κάτοπτρα



Αποδοτικοί ηλιακοί συλλέκτες και διατάξεις  
με ενισχυτικά κάτοπτρα



Αποδοτικοί ηλιακοί συλλέκτες και διατάξεις  
Συλλέκτες CPC (Compound Parabolic Concentrators)



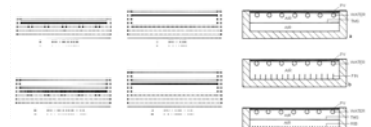
Η ηλιακή ακτινοβολία που απορροφάται από τα φωτοβολταϊκά  
μετατρέπεται κατά 5-15% σε ηλεκτρισμό και το υπόλοιπο  
ποσοστό 60-70% μετατρέπεται σε θερμότητα.

Υβριδικά φωτοβολταϊκά/θερμικά ηλιακά συστήματα είναι οι  
διατάξεις που παρέχουν ταυτόχρονα ηλεκτρισμό και θερμότητα

Υβριδικά φωτοβολταϊκά/θερμικά (ΦΒ/Θ) Ηλιακά Συστήματα

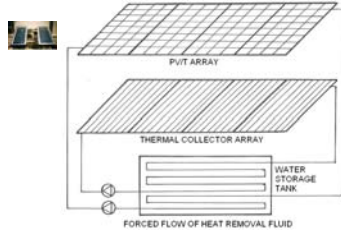
ΤΥΠΙΚΟΙ ΦΒ/Θ ΣΥΛΛΕΚΤΕΣ

ΦΒ/Θ ΣΥΛΛΕΚΤΕΣ ΝΕΡΟΥ ΚΑΙ ΑΕΡΑ

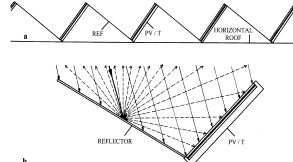


Τα υβριδικά Φωτοβολταϊκά/Θερμικά (ΦΒ/Θ) ηλιακά συστήματα είναι  
αποδοτικά κυρίως όταν η λειτουργία τους είναι σε χαμηλές θερμοκρασίες

Τα υβριδικά Φωτοβολταϊκά/Θερμικά (ΦΒ/Θ) ηλιακά συστήματα μπορούν  
να συνδυαστούν αποδοτικά με θερμικούς ηλιακούς συλλέκτες



Ηλιακά συστήματα που αναπτύχθηκαν στο  
Εργαστήριο Ηλιακής Ενέργειας του Παν/μίου Πατρών



Οι ενισχυτικοί διάχυτοι ανακλαστήρες μπορούν να τοποθετηθούν  
μπροστά από τους ΦΒ/Θ συλλέκτες, οι οποίοι βρίσκονται σε παράλληλες  
σειρές σε εγκαταστάσεις οριζόντιας οροφής αυξάνουν σημαντικά την  
αποδιδόμενη ηλεκτρική και θερμική ενέργεια

Παράδειγμα υπολογισμού βιομηχανικής εφαρμογής συλλεκτών PV/T

Parameter	Value/Type
Load temperature	60 or 80 °C
Load flow rate	1000 kg/hr
Use pattern	5 days a week, 8.00-16.00 hours each day, load used for the first ¼ of each hour
Collector to storage distance	30m
Piping UA value	20 W/°C
Relief valve set temperature	100°C
Storage tank capacity	10m³
Collector area	300m²
Collector inclination	Latitude + 5°
Type of thermal unit	Serpentine type

[S. Kalogirou, Y. Tripanagnostopoulos, "Industrial application of PV/T solar energy systems" Applied Thermal Engineering 27, 1259-1270 (2007)]

