

Εφαρμογές Θερμικών Ηλιακών Συστημάτων

Δημήτρης Χασάπης
Μηχ. Τεχνολογίας Α.Π.Ε.
Τμήμα Θερμικών Ηλιακών Συστημάτων



Ηλιακή Ενέργεια

Τα ενεργειακά αποθέματα της Γης εξαντλούνται.

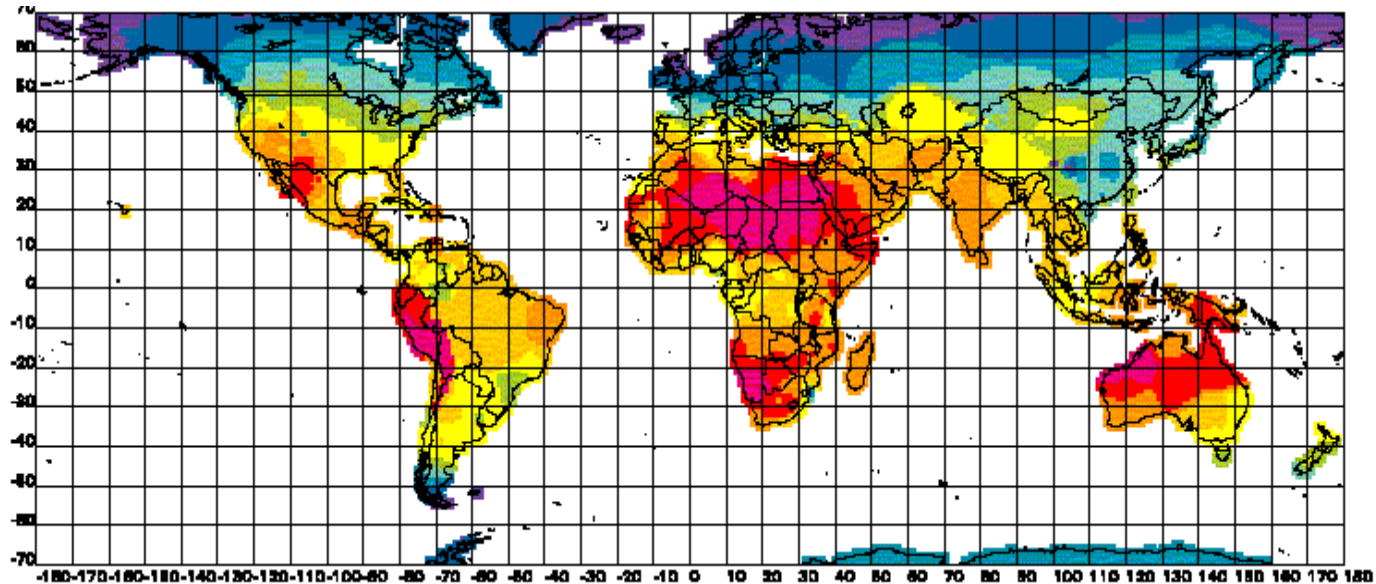
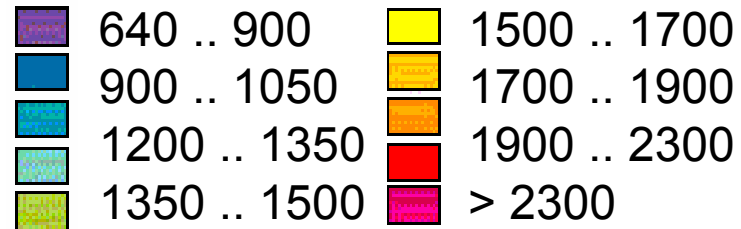
- Τα αποθέματα άνθρακα εκτιμάται ότι επαρκούν για περίπου 150 έτη.
- Τα αποθέματα πετρελαίου, φυσικού αερίου και ουρανίου θα έχουν εξαντληθεί σε περίπου 40 έτη.
- Ο ήλιος θα παρέχει ενέργεια επί πέντε δισεκατομμύρια έτη.
- Ενέργεια που υπερβαίνει κατά 2.500 φορές την ποσότητα που καταναλώνουμε ετησίως!

Ουράνιο
 Φυσικό αέριο
 Πετρέλαιο
 Άνθρακας



Ηλιακή ακτινοβολία

Ετήσια έκθεση στην ηλιακή ακτινοβολία σε kWh/m²



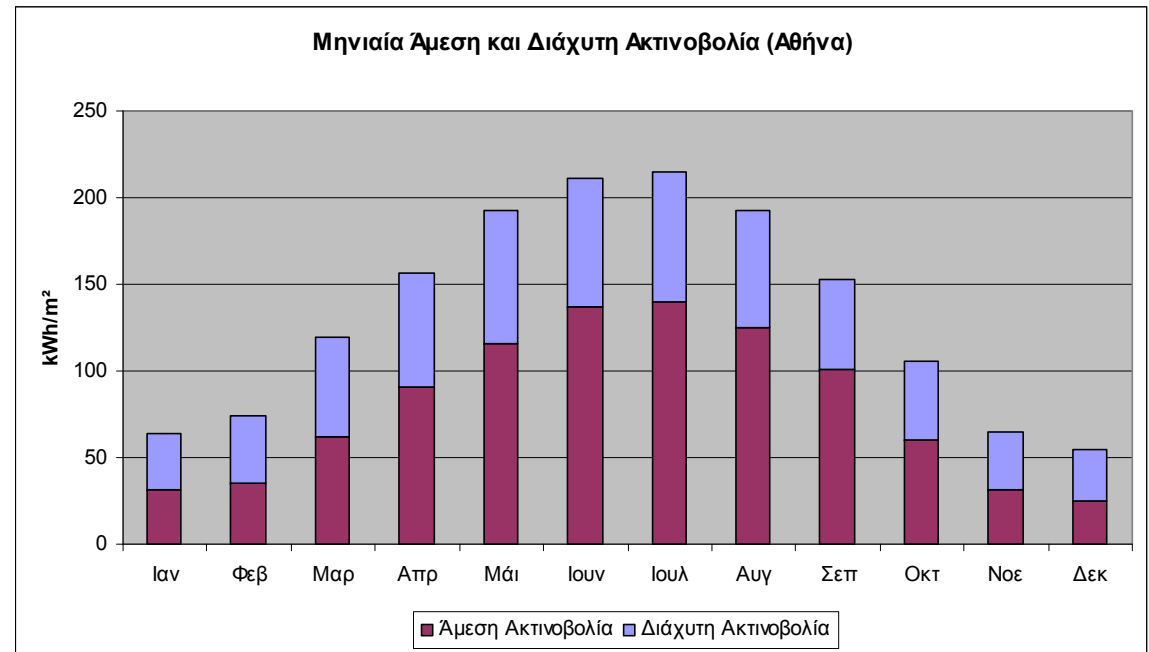
Ηλιακή ακτινοβολία στην Ελλάδα



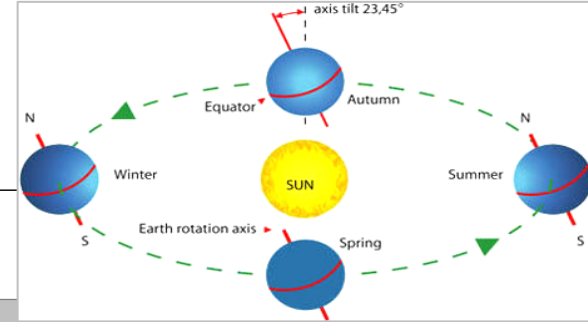
Ηλιακή ενέργεια στην Ελλάδα

Το άθροισμα της ολικής ακτινοβολίας κατά τη διάρκεια ενός έτους στο δικό μας γεωγραφικό πλάτος είναι περίπου **1.600 kWh/(m²a)**

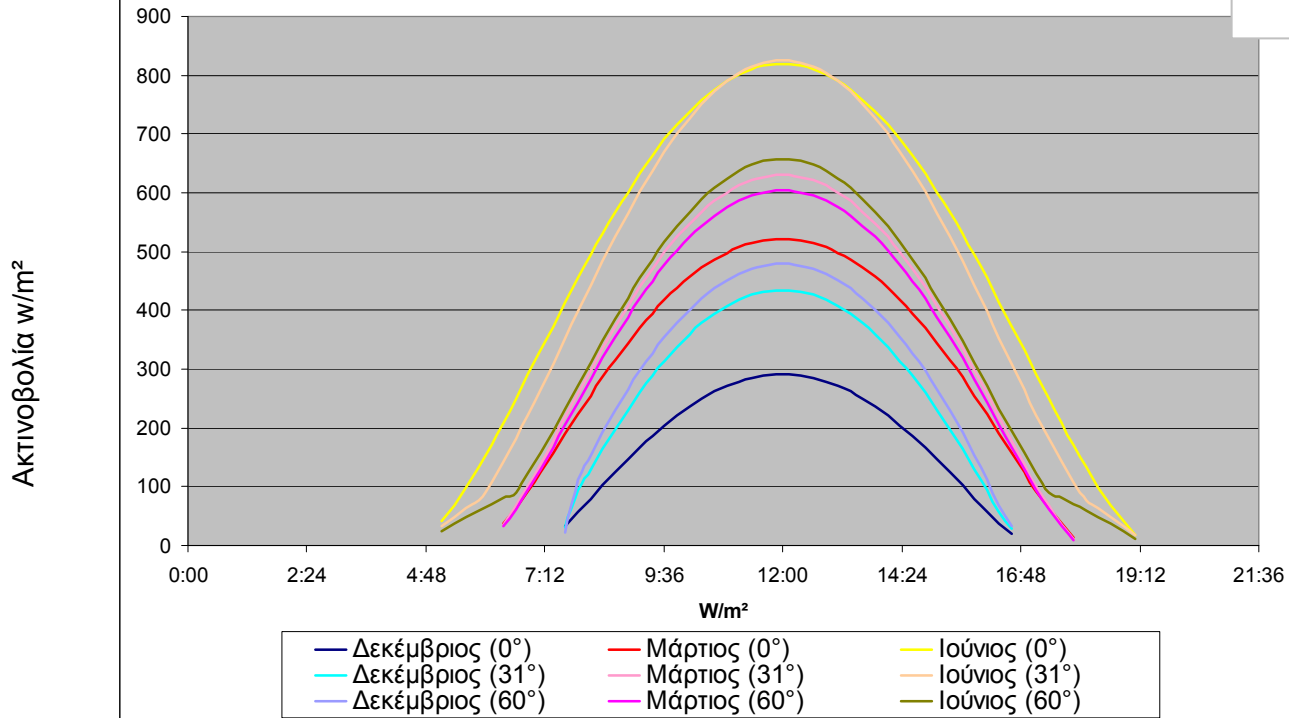
Αυτή η ποσότητα ενέργειας, την οποία μας παρέχει ετησίως ο ήλιος ανά μ² διατίθεται δωρεάν και υπολογίζεται ότι αντιστοιχεί σε **160 λίτρα πετρελαίου θέρμανσης**



Μεταβολές ηλιακής ενέργειας στην Ελλάδα



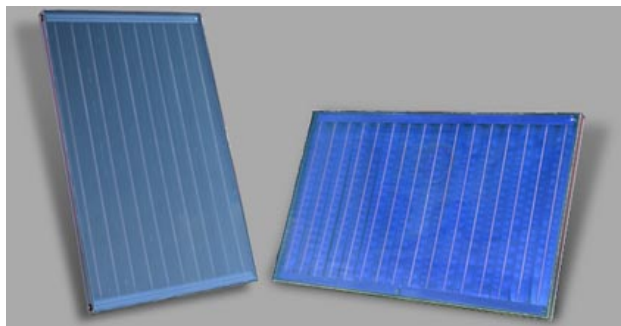
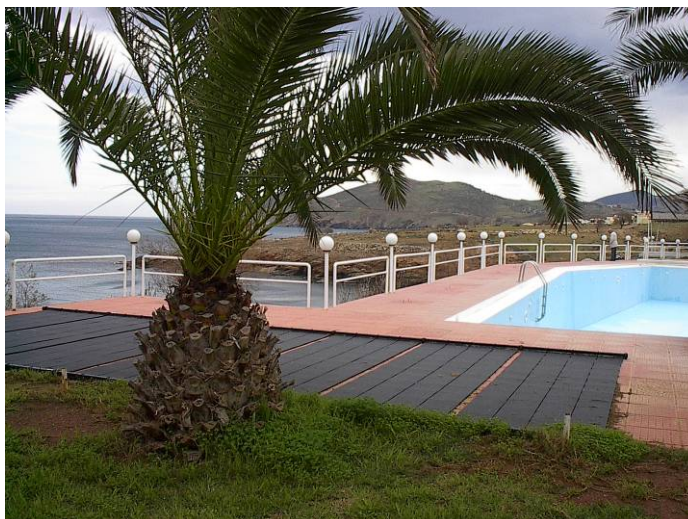
Όλική Ημερήσια Οριζόντια Ακτινοβολία (Αθήνα)



Ηλιακοί συλλέκτες

Θερμικοί ηλιακοί συλλέκτες

Χωρίς κάλυμμα



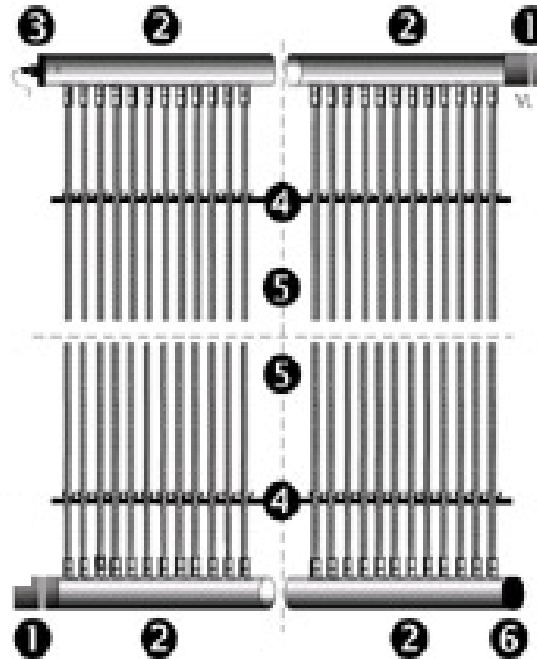
Επίπεδοι

Κενού

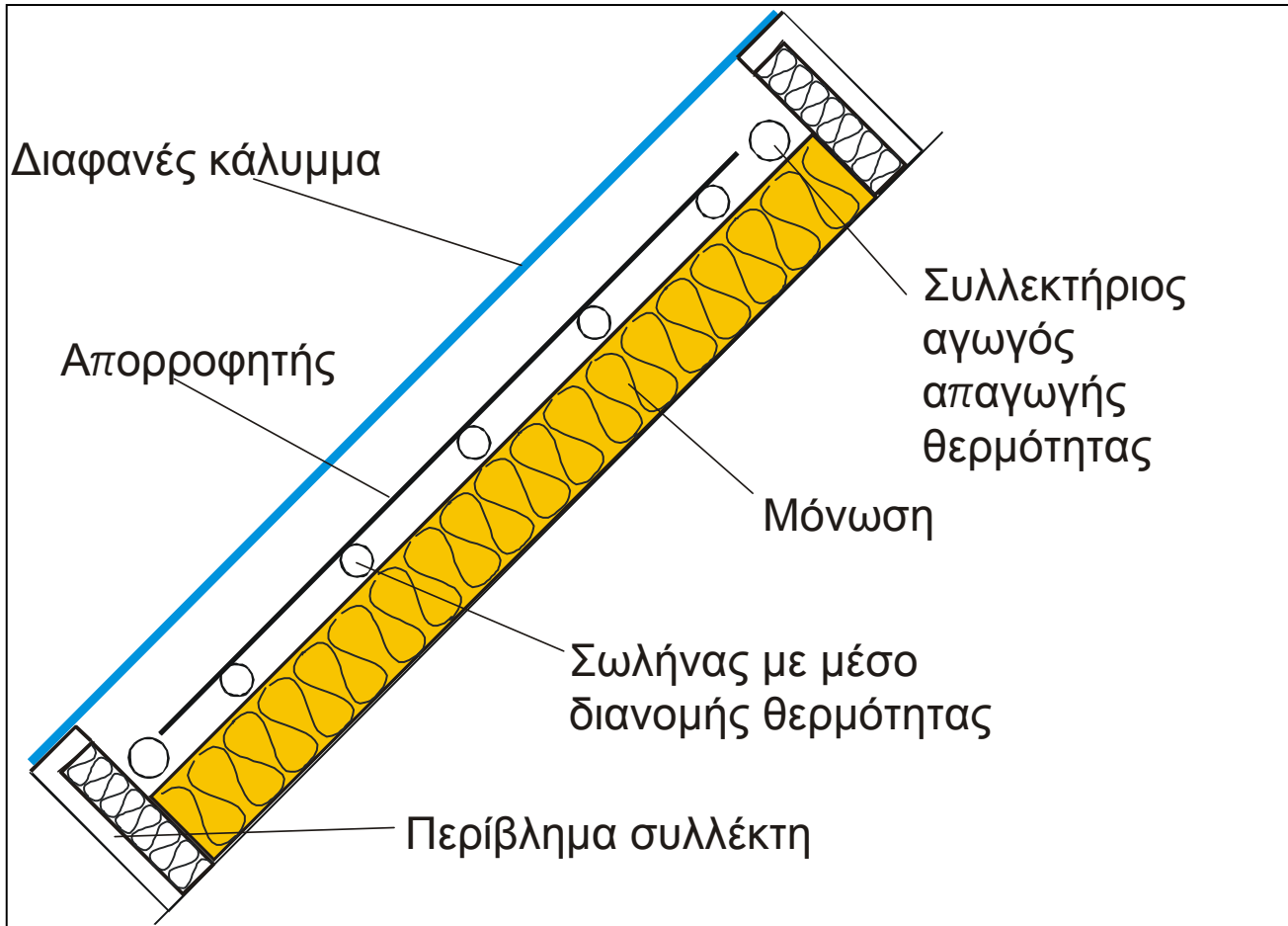


Πλαστικός απορροφητής

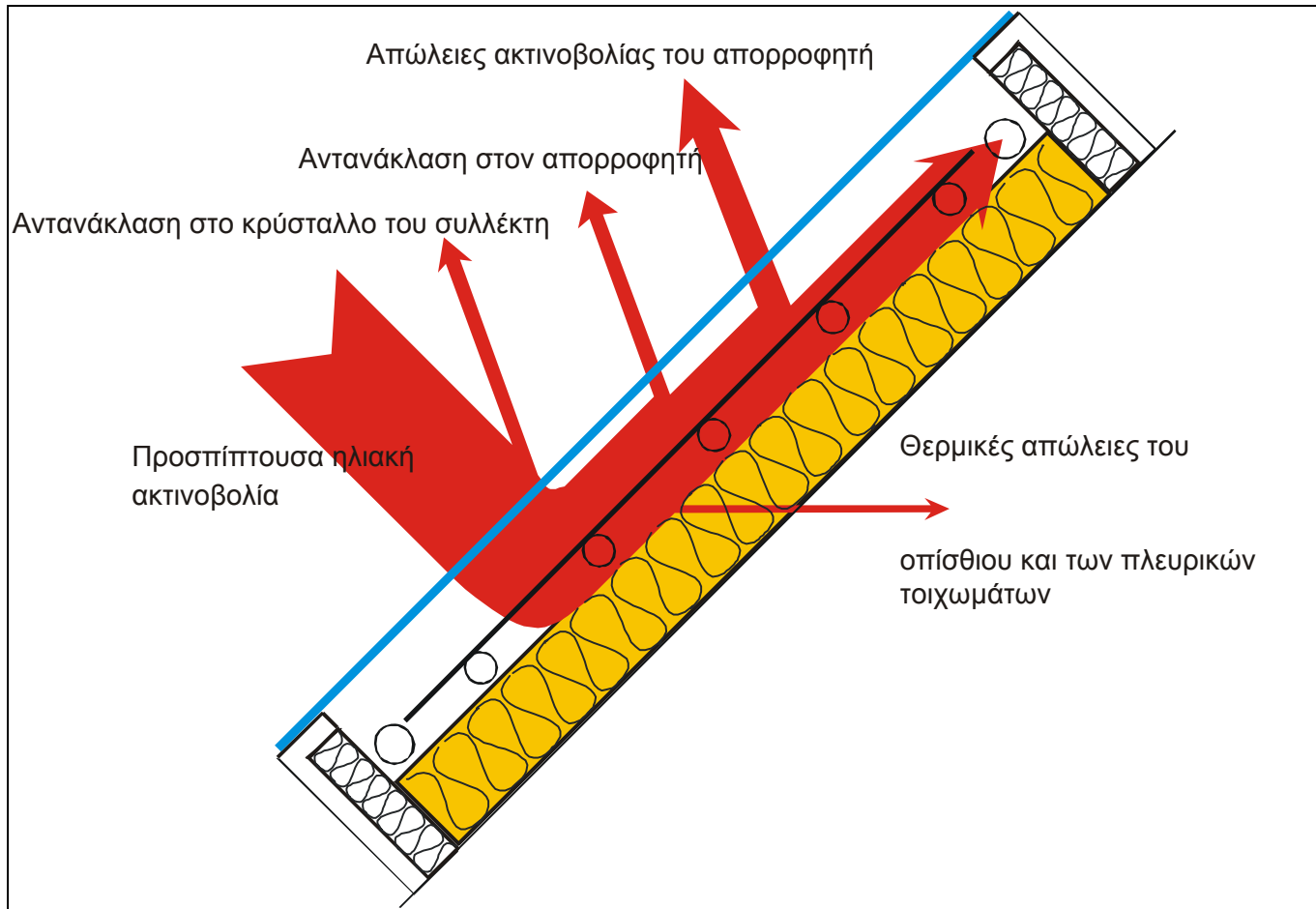
- 1 Χιτώνιο ελαστικού σωλήνα
- 2 Σωλήνας διανομής
- 3 Αισθητήρας θερμοκρασίας
- 4 Αποστάτης
- 5 Σπειροειδής σωλήνας
- 6 Πώμα/εξάρτημα άκρου



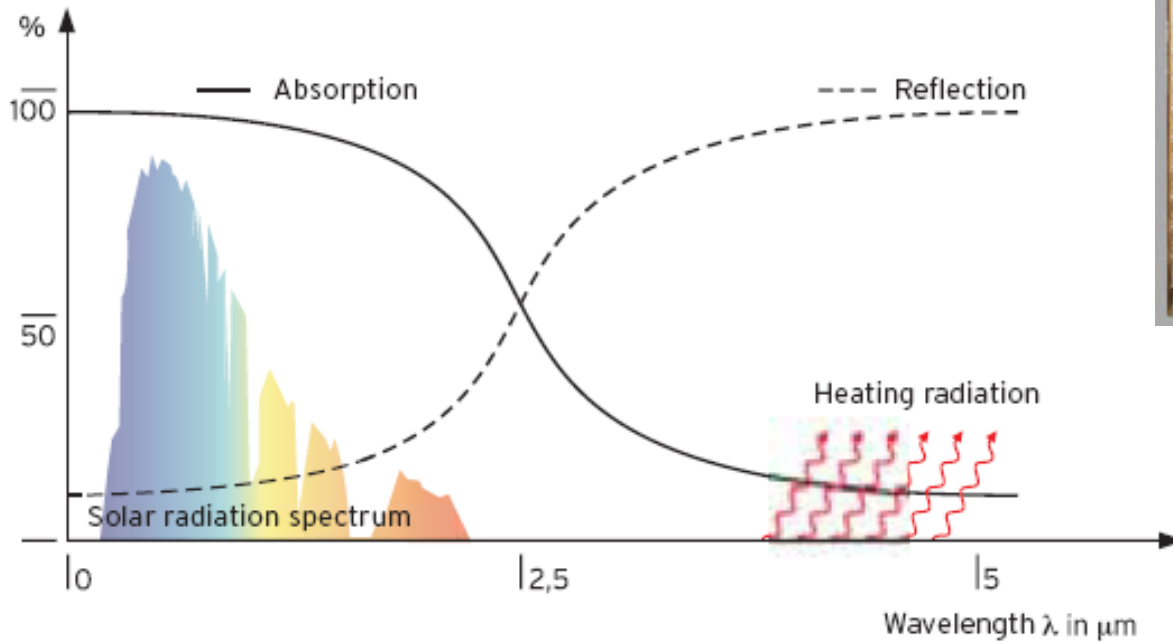
Επίπεδος συλλέκτης



Επίπεδος συλλέκτης – θερμικές απώλειες



Επίπεδος συλλέκτης – επιλεκτική επιφάνεια

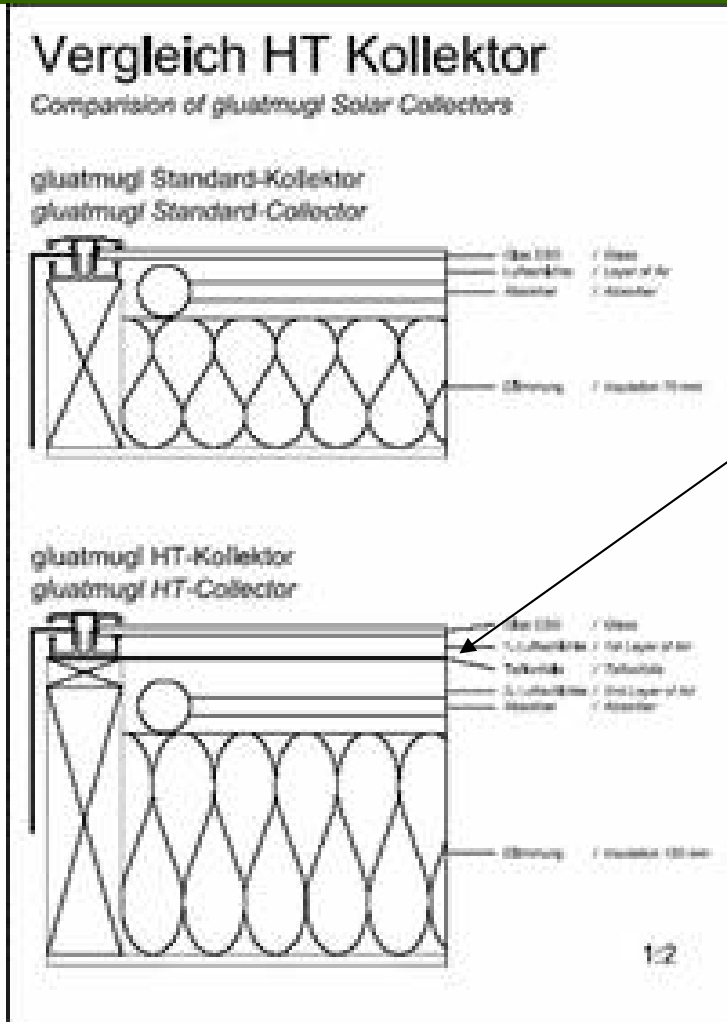


Πηγή: Vaillant



Πηγή: Dimas Solar

Επίπεδος συλλέκτης – διπλό κάλυμμα

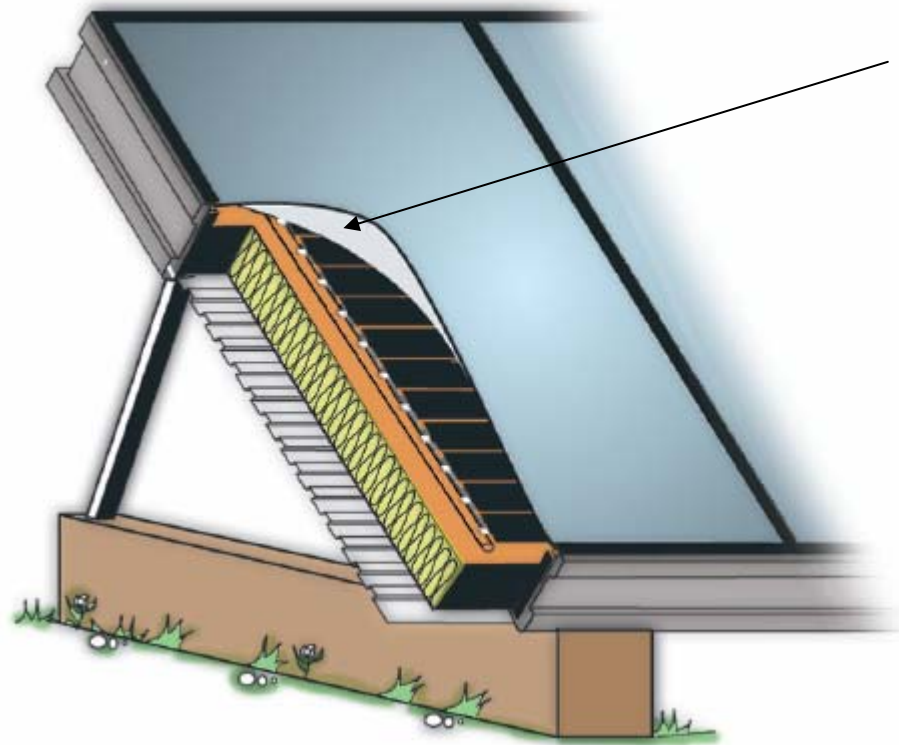


Διπλό τζάμι με ενδιάμεσο κενό

-Περίπου 10-25% αύξηση απόδοσης

Προβλήματα διαστολών – ρωγμές και σπάσιμο τζαμιών

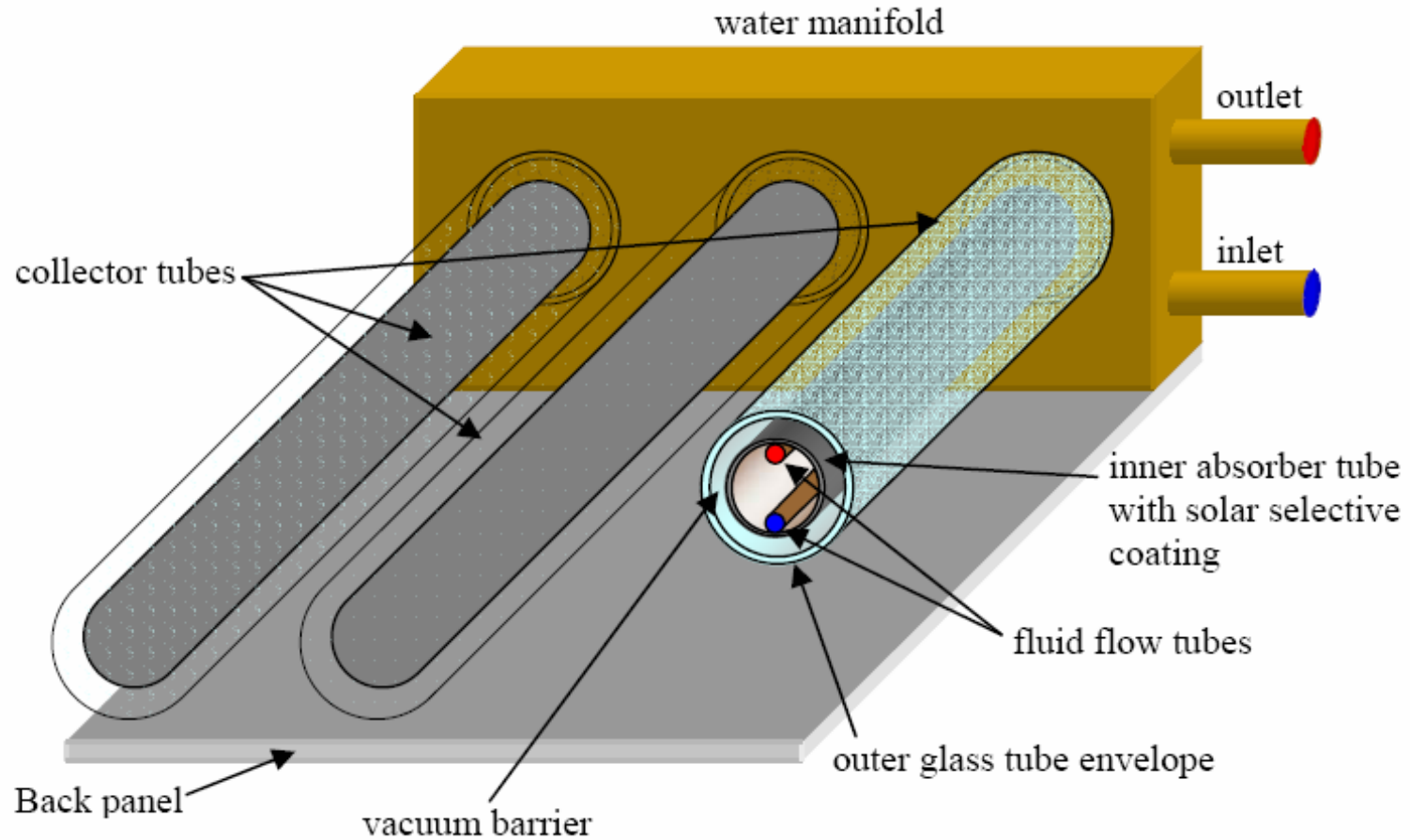
Επίπεδος συλλέκτης – συλλέκτης με teflon



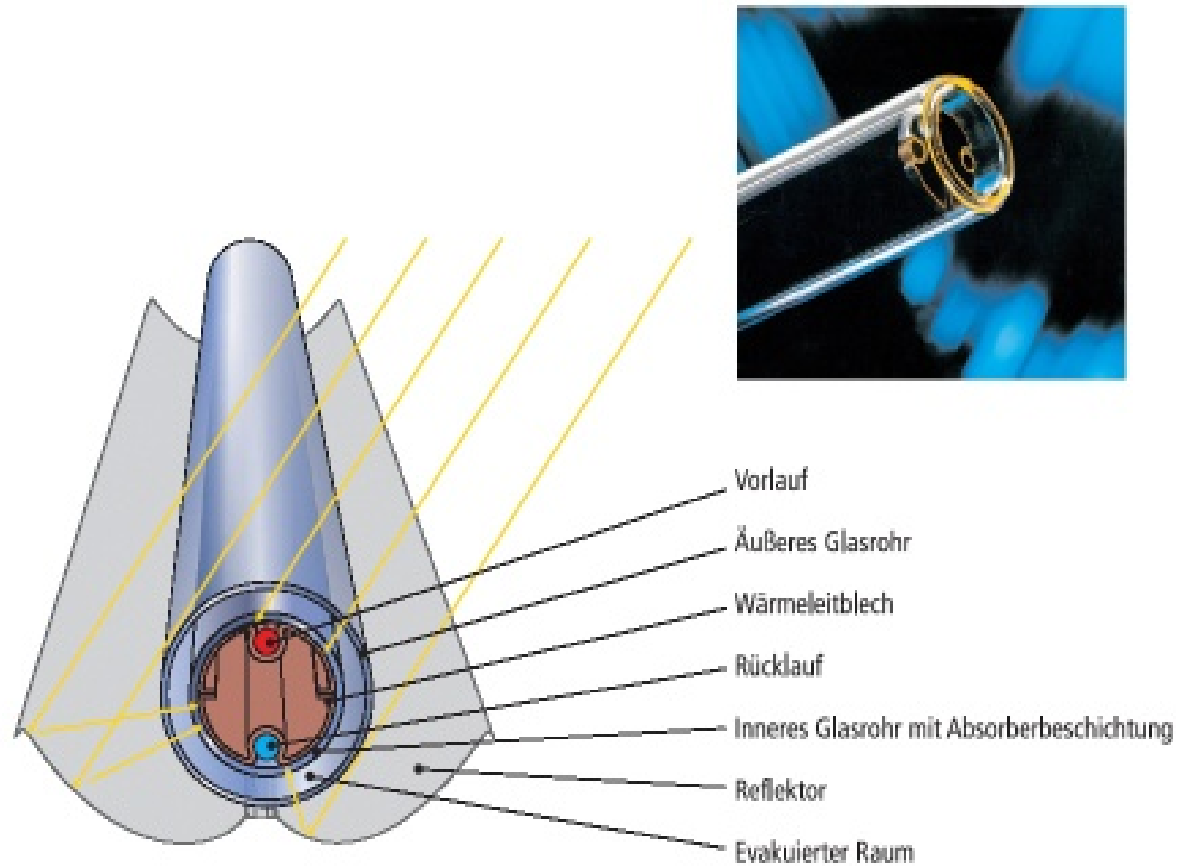
Φύλο teflon μεταξύ
απορροφητή και τζαμιού

-Περίπου 8-15% αύξηση
απόδοσης

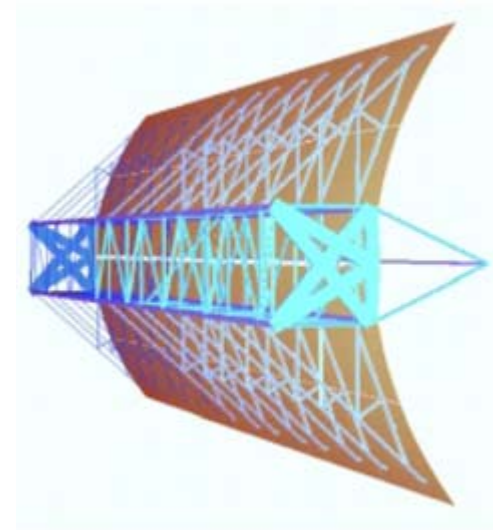
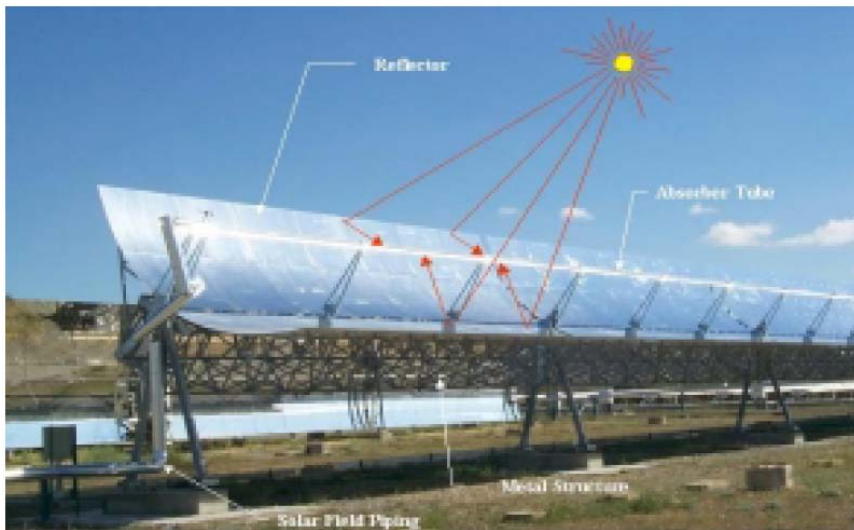
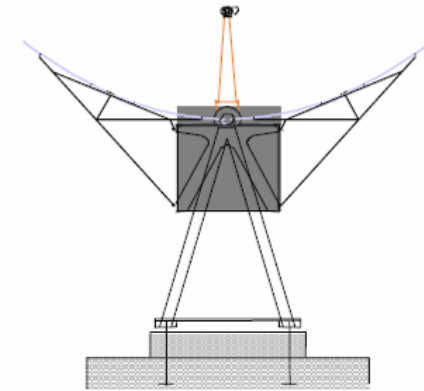
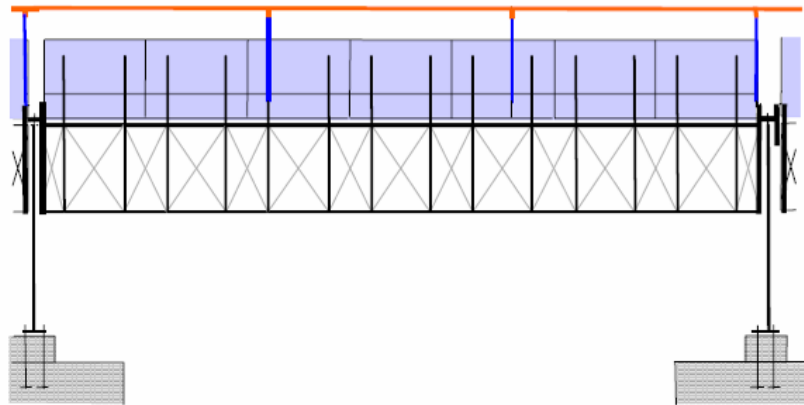
ΣΥΛΛΕΚΤΗΣ ΚΕΝΟΥ



Συγκεντρωτικός συλλέκτης



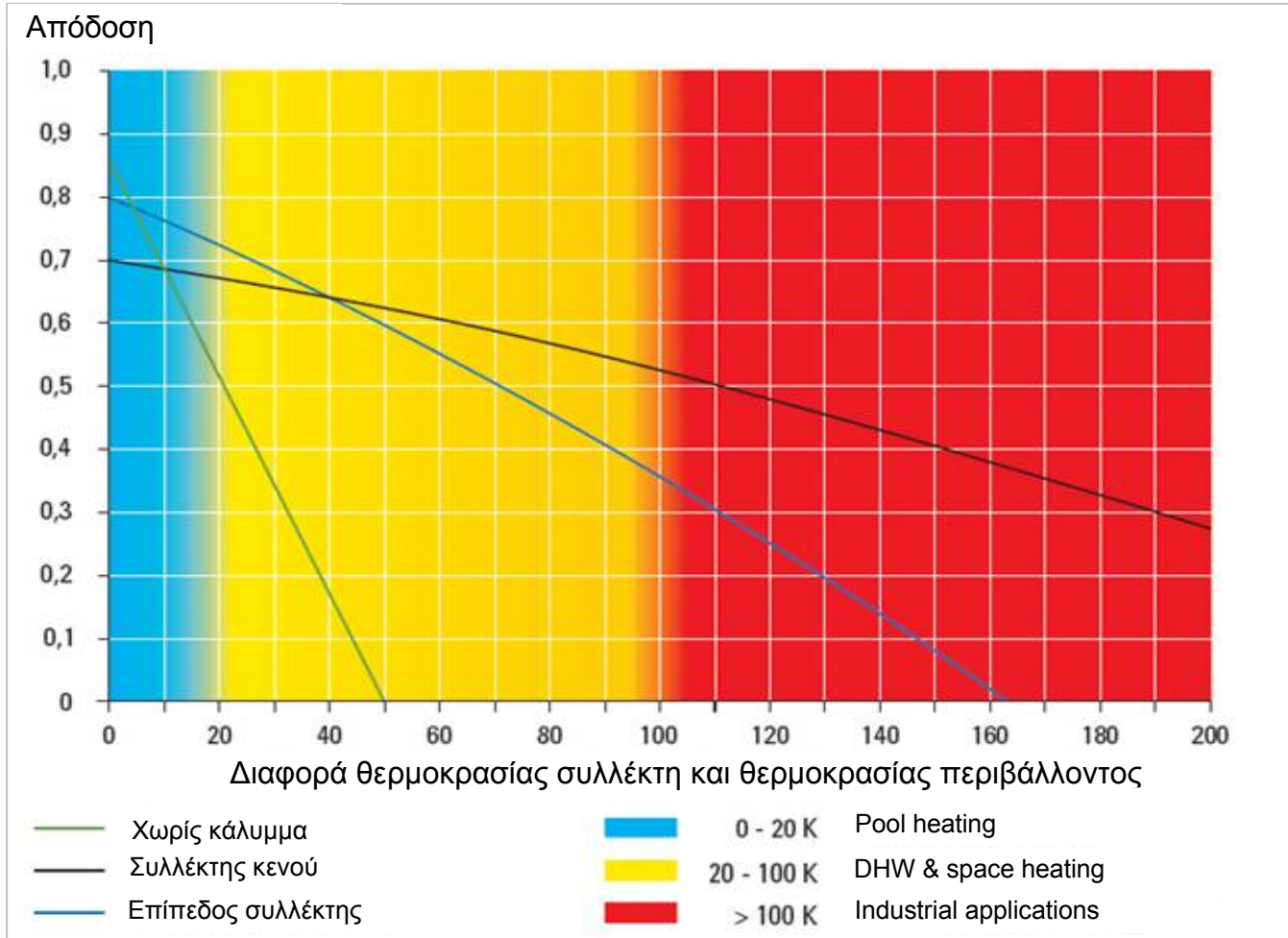
Συγκεντρωτικός συλλέκτης τύπου σκάφης (Parabolic Trough)



Συγκεντρωτικός συλλέκτης τύπου σκάφης (Parabolic Trough)



Σύγκριση ηλιακών συλλεκτών

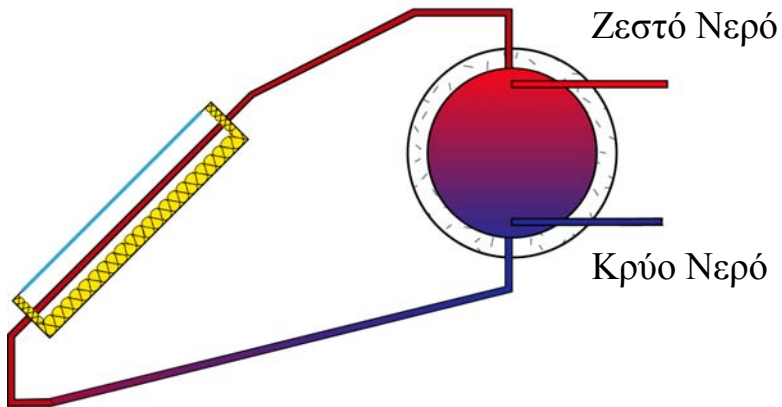


Σύγκριση ηλιακών συλλεκτών

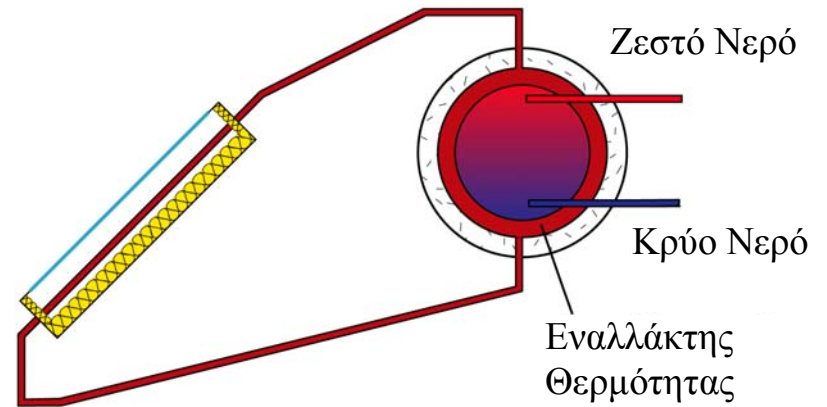
Τεχνολογία Συλλέκτη	Κόστος	Απόδοση (kWh/m ² /χρόνο)	Τυπική Χρήση
Χωρίς κάλυμμα	Χαμηλό	300	Θέρμανση Πισίνας
Επίπεδος Συλλέκτης (Μαύρη μπογιά)	Μεσαίο	650	Θέρμανση Πισίνας, ZNX
Επίπεδος Συλλέκτης (Επιλεκτικός Απορροφητής)	Μεσαίο	700	ZNX, Θέρμανση Χώρου, Ηλιακός Κλιματισμός, Αφαλάτωση
Συλλέκτες Κενού	Υψηλό	850	Θέρμανση Χώρου, Ηλιακός Κλιματισμός, Αφαλάτωση
Συγκεντρωτικοί Συλλέκτες	Πολύ Υψηλό	Ανάλογα με τη συγκέντρωση	Ηλιακός Κλιματισμός, Παραγωγικές Διαδικασίες, Ηλεκτρική Ενέργεια, Αφαλάτωση

Ηλιακά Συστήματα

Θέρμανση ΖΝΧ – θερμοσιφωνικά συστήματα



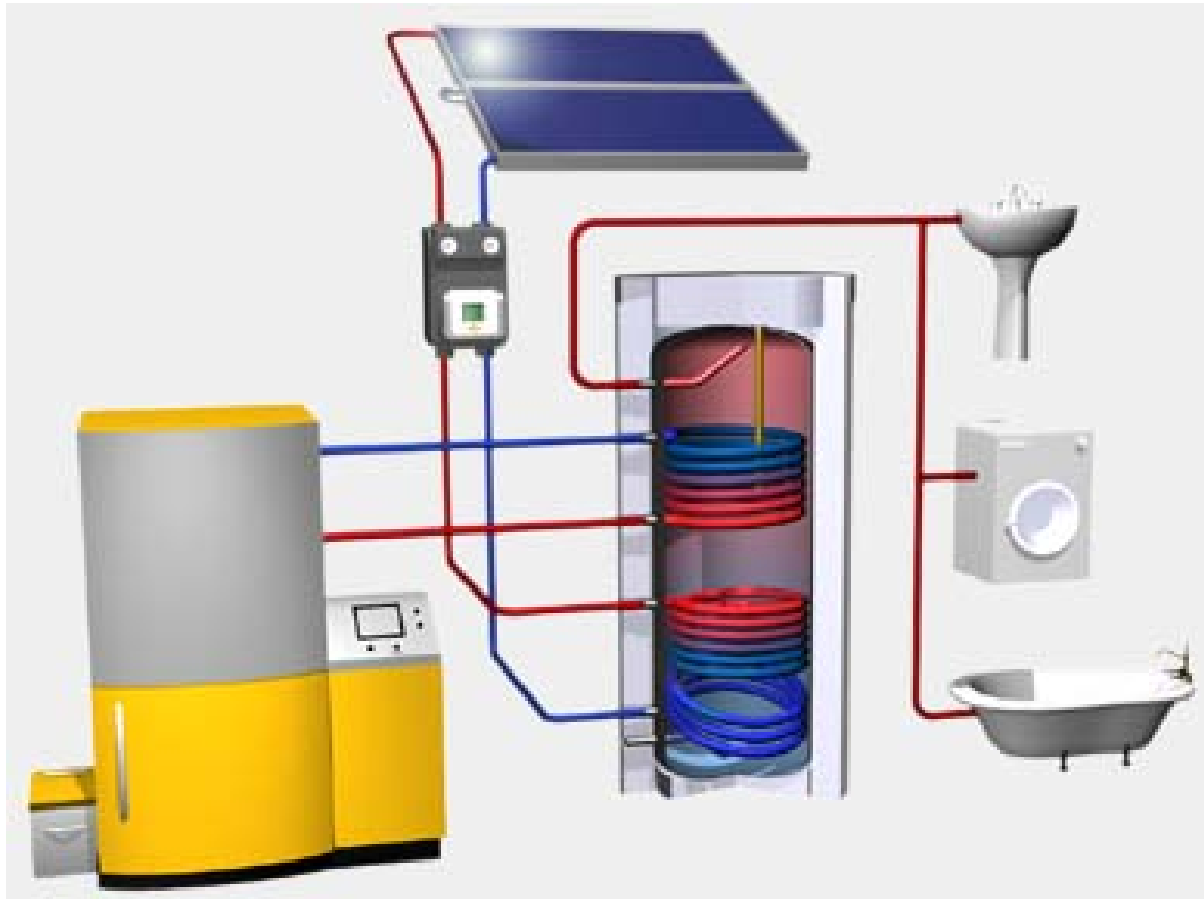
Ανοιχτού κυκλώματος



Κλειστού κυκλώματος

Πηγή: Target/DGS

Θέρμανση ΖΝΧ – εξαναγκασμένης κυκλοφορίας



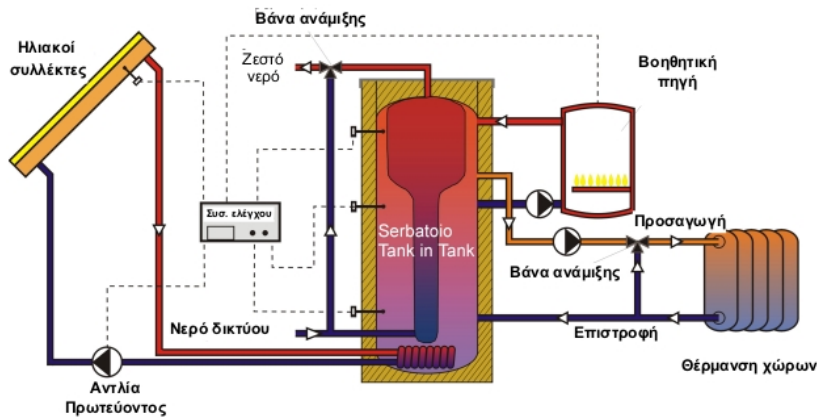
Συστήματα combi – υποστήριξη θέρμανσης χώρου



“Solar combisystems” ή απλά “combi”: ηλιακά θερμικά συστήματα που χρησιμοποιούνται για θέρμανση χώρου και νερού χρήσης.

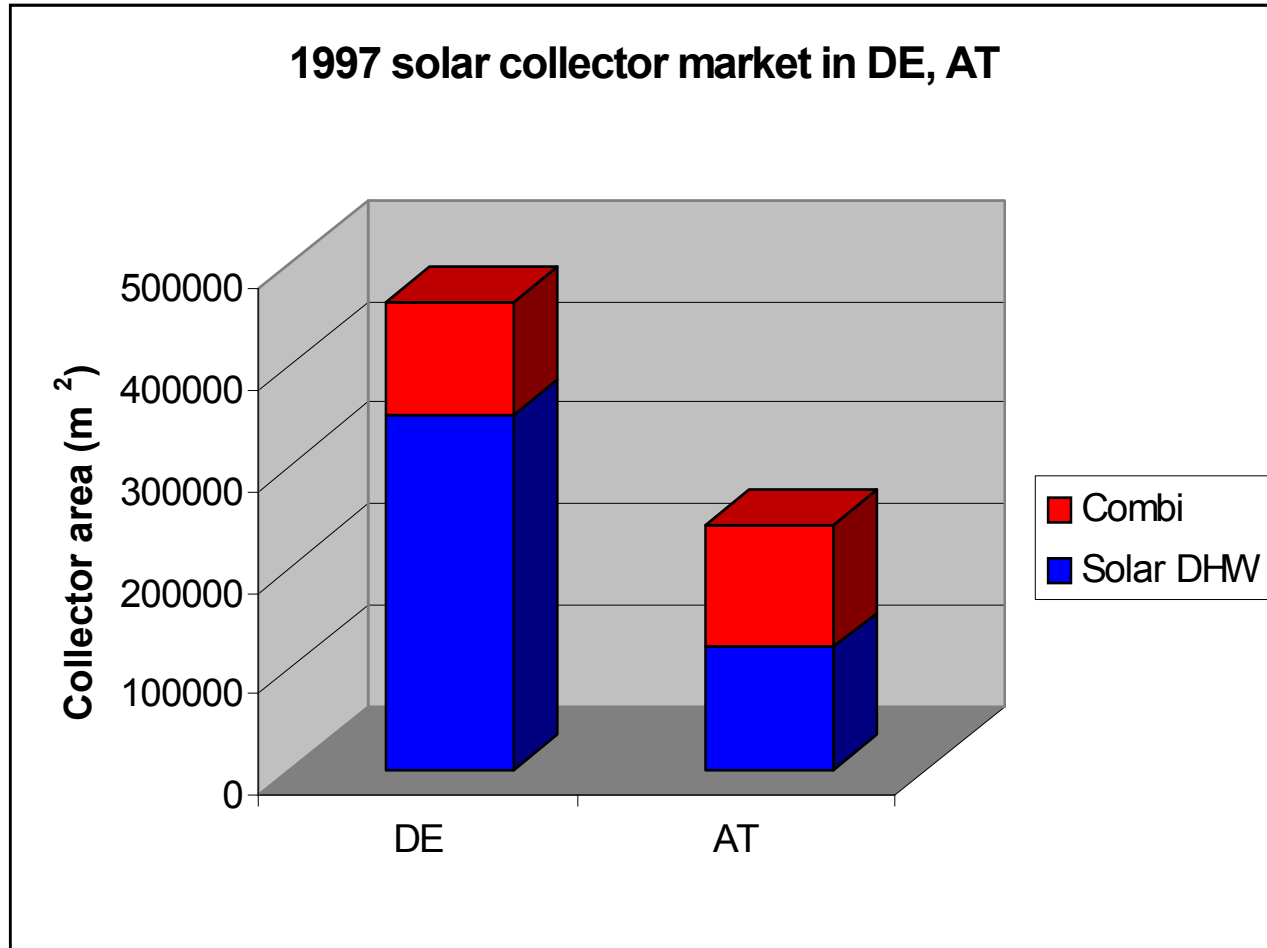
10 βασικές παραλλαγές (International Energy Agency –IEA, Solar Combisystems, Solar Heating & Cooling Programme, Task 26).

Συστήματα combi – υποστήριξη θέρμανσης χώρου

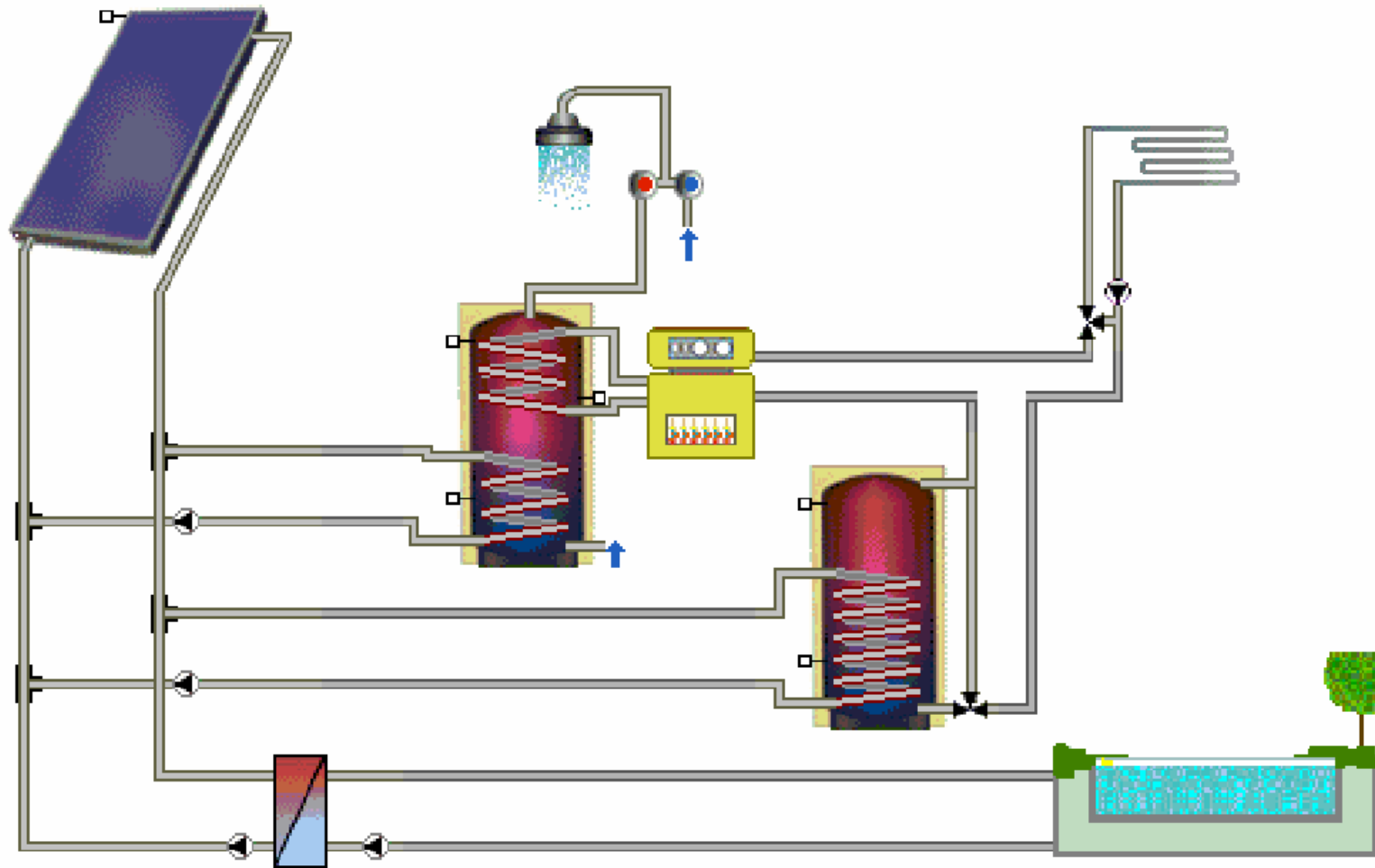


- Χρήση σε:
 - Κατοικίες
 - Ξενοδοχεία, Νοσοκομεία κλπ.
 - Βιομηχανία
- Πολύ ευνοϊκές συνθήκες για την εφαρμογή τους στην Ελλάδα.
Δυνατότητα κάλυψης φορτίου:
 - 30-50% μόνο με ηλιακά
 - 100% (συνδυασμός με βιομάζα)
- Έχουν ήδη εισχωρήσει στην Ευρωπαϊκή αγορά

Συστήματα combi - υποστήριξη θέρμανσης χώρου



Συστήματα combi - υποστήριξη θέρμανσης χώρου



Συστήματα combi – υποστήριξη θέρμανσης χώρου

Τα συστήματα θέρμανσης με ηλιακά/βιομάζα μπορούν να [συνδυαστούν με συμβατικά θερμομαντικά σώματα](#) - ενσωμάτωση σε ήδη εγκατεστημένα σύστημα.

Μπορούν να [συνδυαστούν με ηλιακούς ψύκτες](#) για κάλυψη των ψυκτικών αναγκών (χρήση περισσias ενέργειας).

Κόστος : $\approx 400\text{€}/\text{m}^2$

Απαιτούμενο συλλεκτικό πεδίο: 20% του χώρου για 40%-50% κάλυψη με περίπου 10lt/m² όγκου αποθήκευσης (π.χ. για 100m² οικία: 20m² επίπεδοι επιλεκτικοί συλλέκτες, 1000lt δοχείο αποθήκευσης)

Πρέπει να δοθεί ιδιαίτερη προσοχή στο σχεδιασμό.

π.χ διαστασιολόγηση του δοχείου διαστολής του ηλιακού κυκλώματος (φαινόμενο στασιμότητας).

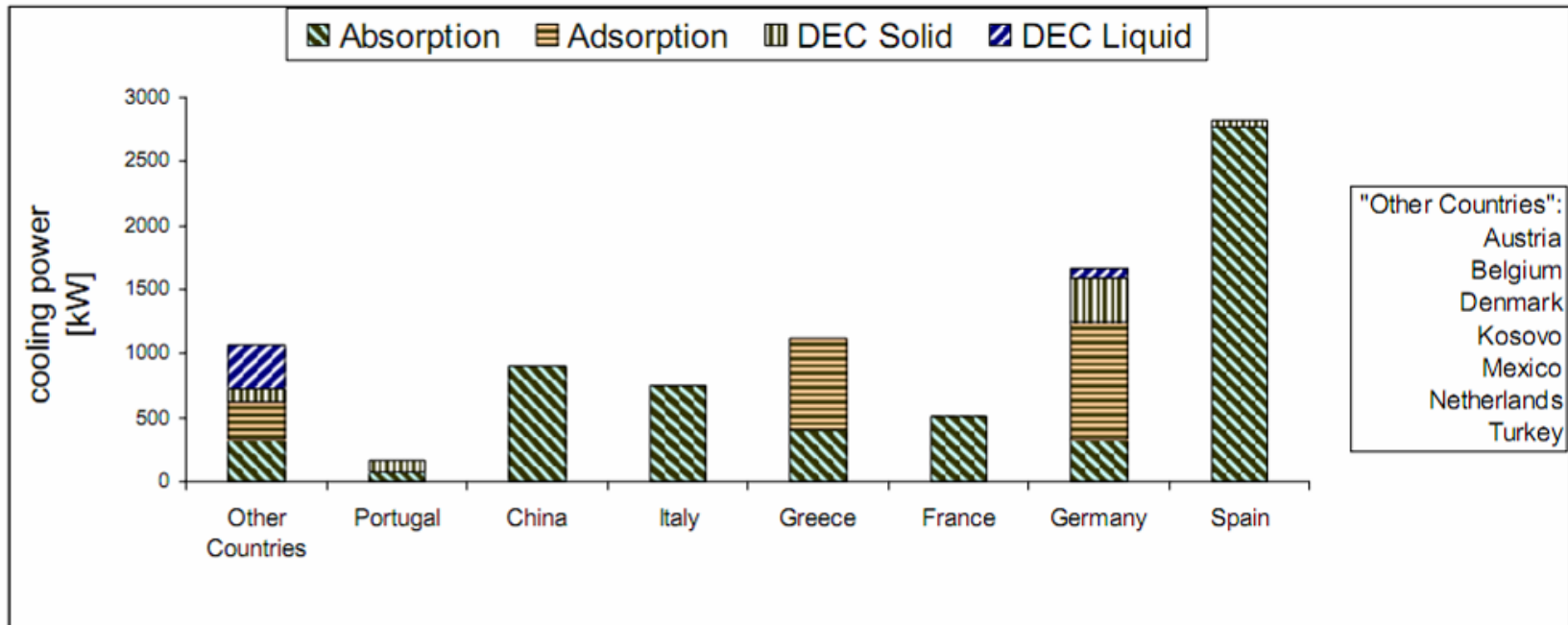
Ηλιακός Κλιματισμός

Ηλιακός κλιματισμός ή “solar combi+”:
συστήματα που χρησιμοποιούν την ηλιακή ενέργεια για
Θέρμανση, κλιματισμό χώρου καθώς και παραγωγή ΖΝΧ.

Χρήση ψυκτικών μηχανημάτων που χρησιμοποιούν ζεστό νερό
ως κύρια πηγή ενεργείας.

- Κλειστά κυκλώματα για ψύξη νερού
- Ανοιχτά κυκλώματα για κλιματισμό αέρα

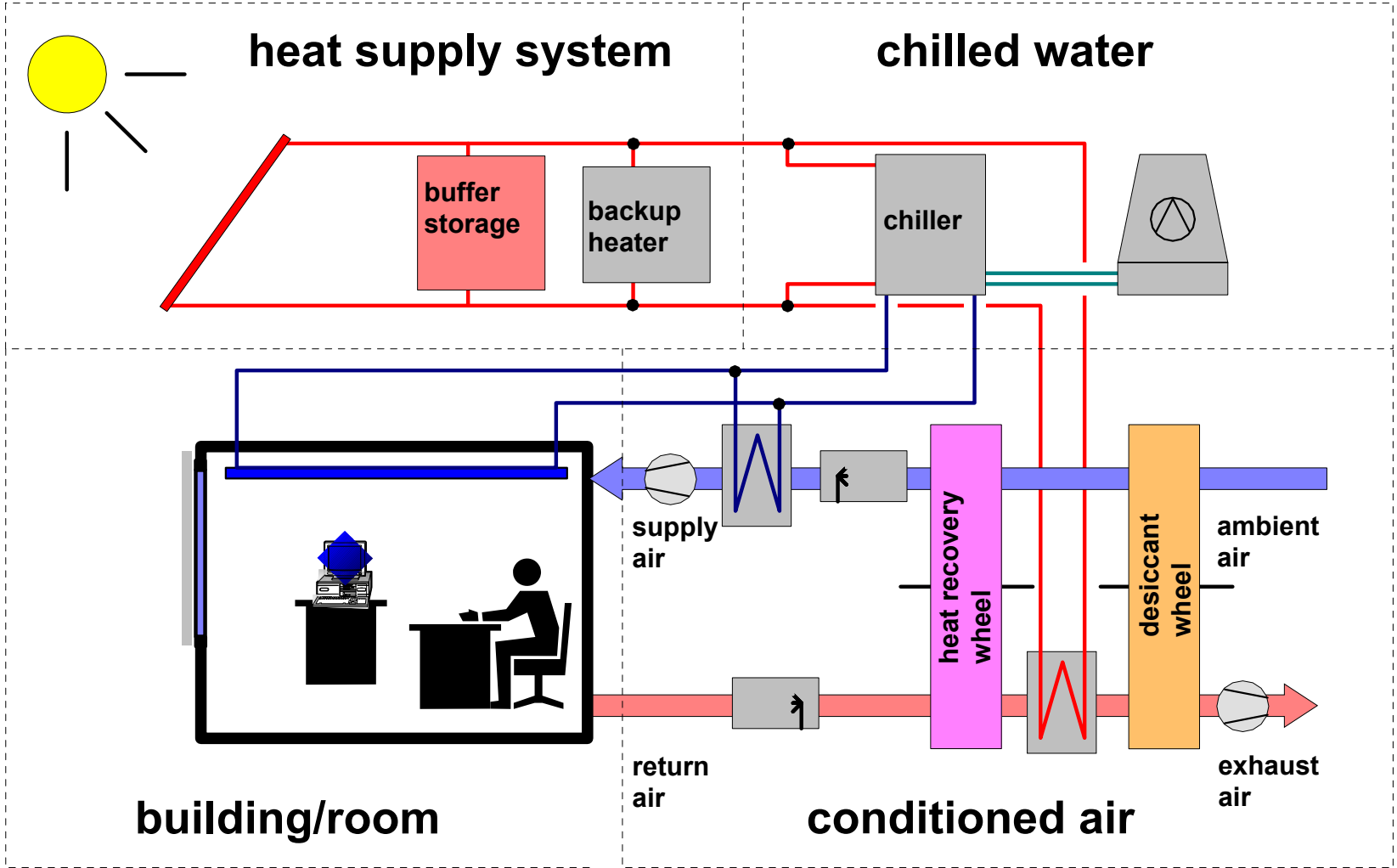
Ηλιακός κλιματισμός - εγκαταστάσεις



Συνολική εγκατεστημένη ισχύς το 2007: 9MW





- ① Ισπανία :31%
- ② Γερμανία: 18%
- ③ Ελλάδα: 12%

Ηλιακός κλιματισμός - ενσωμάτωση στα κτίρια



Source: Fraunhofer -ISE

Ηλιακός κλιματισμός - τεχνολογίες

Method	Closed cycle		Open cycle	
Refrigerant cycle	Closed refrigerant cycle		Refrigerant (water) is in contact with the atmosphere	
Principle	Chilled water		Dehumidification of air and evaporative cooling	
Phase of sorbent	solid	liquid	solid	liquid
				
Typical material pairs	water - silica gel	water - lithium bromide ammonia - water	water - silica gel, water - lithium chloride	water - calcium chloride, water - lithium chloride
Market available technology	Adsorption chiller	Absorption chiller	Desiccant cooling	Close to market introduction
Typical cooling capacity (kW cold)	50 – 430 kW	15 kW – 5 MW	20 kW – 350 kW (per module)	
Typical COP	0.5 – 0.7	0.6 – 0.75 (single effect)	0.5 – >1	> 1
Driving temperature	60 – 90 °C	80 – 110 °C	45 – 95 °C	45 – 70 °C
Solar collectors	Vacuum tubes, flat plate collectors	Vacuum tubes	Flat plate collectors, solar air collectors	Flat plate collectors, solar air collectors

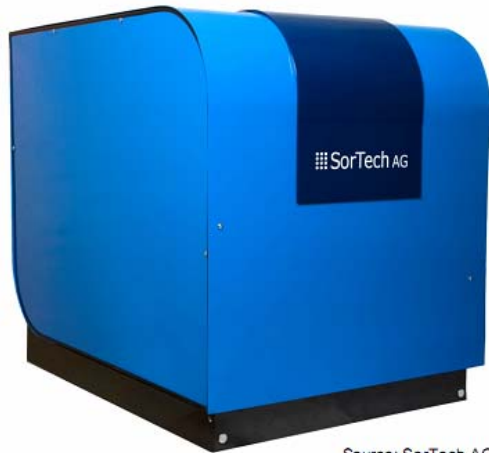
Ηλιακός κλιματισμός – ψύκτες απορρόφησης



- Τα διαθέσιμα προϊόντα στην αγορά είναι κυρίως υψηλής ψυκτικής ισχύος (> 200 kW)
- 13 διαθέσιμα προϊόντα χαμηλής ισχύος στην αγορά (<100 kW)
- 3 Ελληνικής εταιρίας
- Το παραγόμενο ψυχρό νερό μπορεί να χρησιμοποιηθεί για κλιματισμό του αέρα (αφύγρανση, ρύθμιση θερμοκρασίας) ή για ψύξη/δροσισμό χώρων (fan coils, chilled ceilings,...)
- Μικρότερος ψύκτης 4.5 kW
- Θερμοκρασία προσαγωγής 75°C - 100°C
- Θερμοκρασία προσαγωγής σε διβάθμιες διατάξεις > 150°C με COP 1.2
- COP 0.68-0.78

Source: Fraunhofer -ISE

Ηλιακός κλιματισμός – ψυκτες προσρόφησης



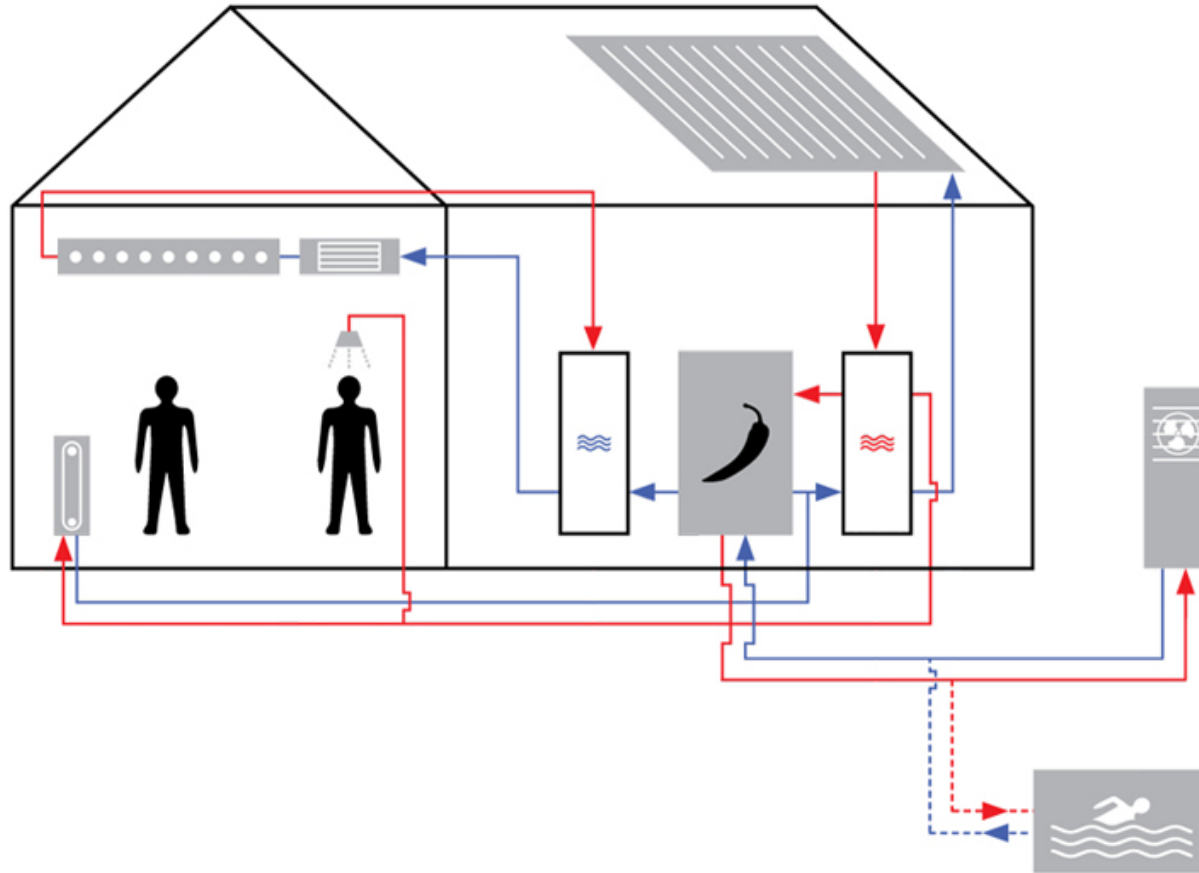
Source: SorTech AG

 SorTech AG

- Το παραγόμενο ψυχρό νερό μπορεί να χρησιμοποιηθεί κλιματισμό του αέρα (αφύγρανση, ρύθμιση θερμοκρασίας) ή για ψύξη/δροσισμό χώρων (fan coils, chilled ceilings,...)
- Εύρος ψυκτικής ισχύος 7.5 kW - 400 kW
- Θερμοκρασία προσαγωγής > 55°C
- COP 0.65

Source: Fraunhofer -ISE

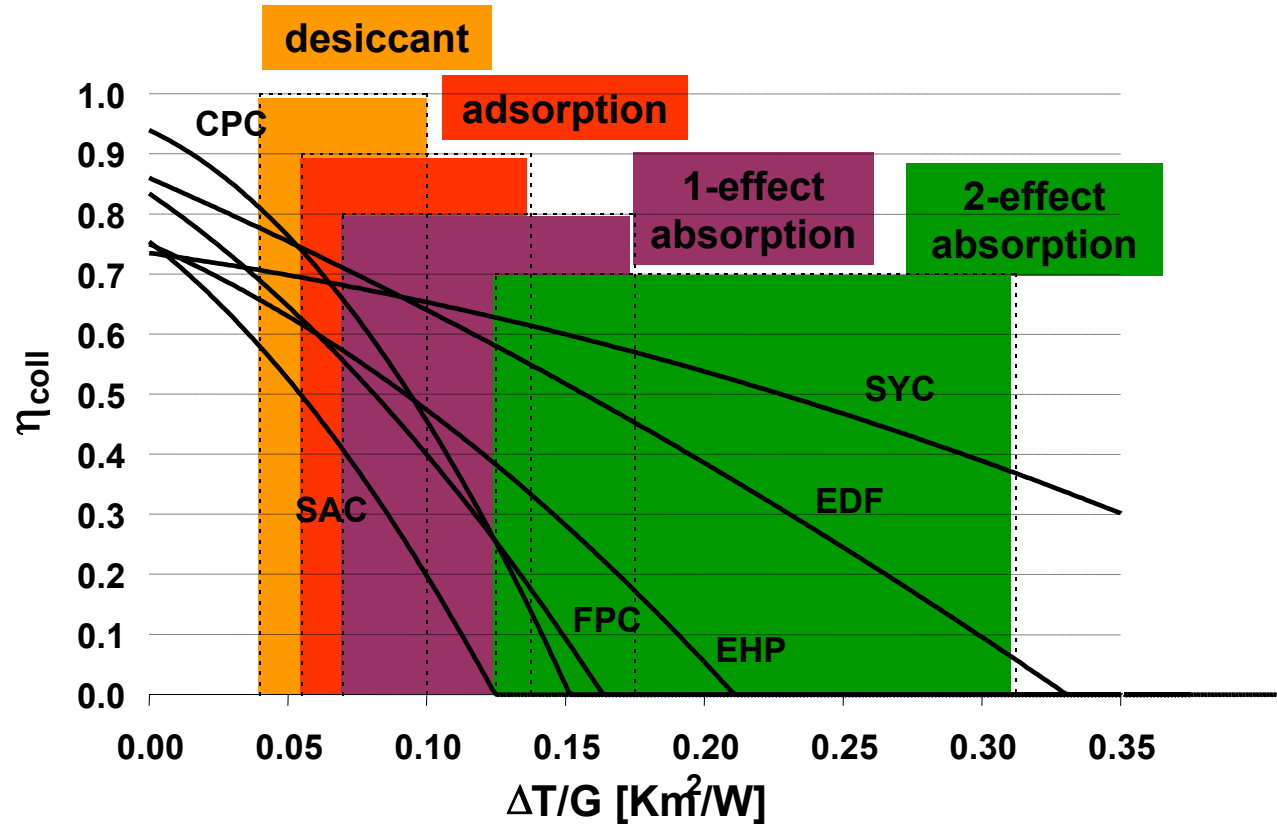
Ηλιακός κλιματισμός – κλιματισμός οικίας



Source: SolarNext

Ηλιακός κλιματισμός – τεχνικά θέματα: συλλέκτες

SAC = solar air coll.
CPC = stationary CPC
FPC = selectively coated flat plate
EHP = evacuated heat-pipe
EDF = evacuated, direct flow
SYC = stationary concentrated, Sydney-type



Source: Fraunhofer -ISE

Ηλιακός κλιματισμός – τεχνικά θέματα: απόδοση

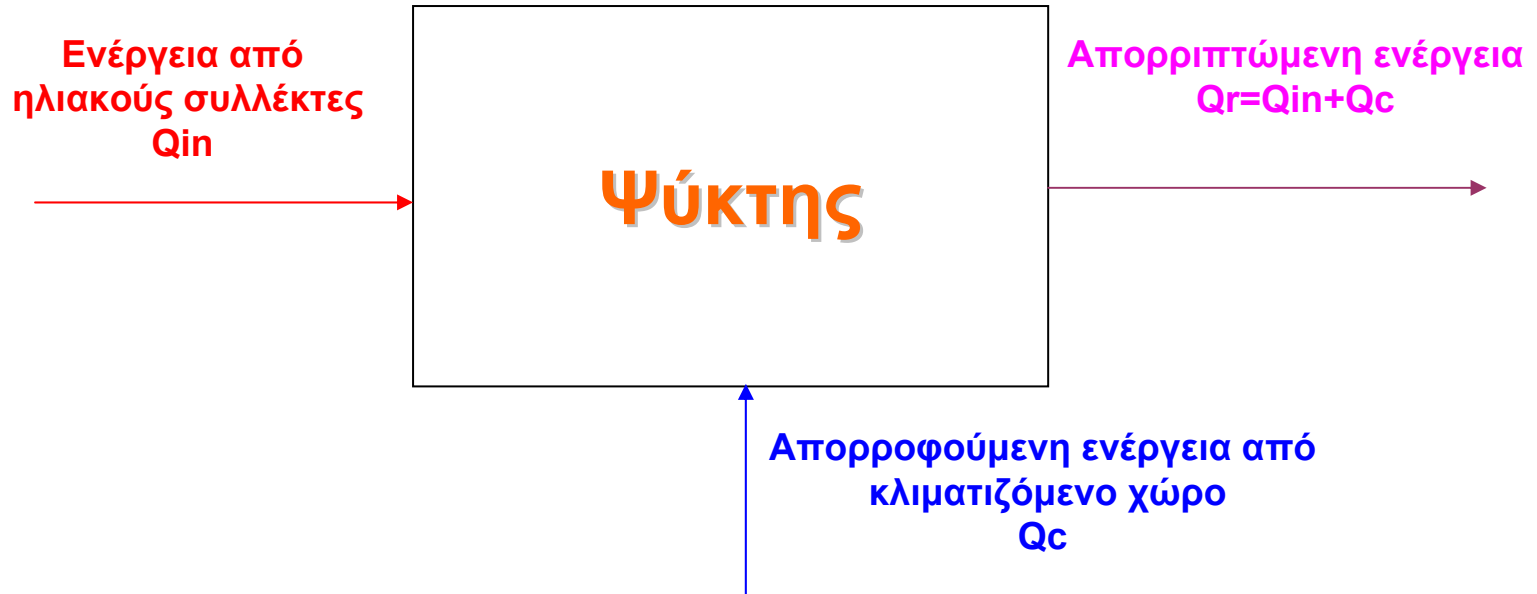
Στους ψύκτες υπάρχουν 2 COP:

$$\text{Θερμικό COP} = Q_c / Q_{in_{th}}$$

$$\text{Ηλεκτρικό COP} = Q_c / Q_{electrical}$$

	Split unit	Geothermal Heat pump	Adsorption	Absorption	DEC
COP_{el}	2-4	4-5	60-80	60-80	4-5
COP_{th}	-	0.2	0.5-0.6	0.6-1	0.3-1

Ηλιακός κλιματισμός – τεχνικά θέματα: απόδοση - κατανάλωση




Για ψύκτη 10kW με $COP_{th}=0.6$ και $COP_{el} = 60$

Θερμικές απαιτήσεις

$Q_c = 10\text{kW}$
 $Q_{in} = 10\text{kW} / 0.6 = 16.67\text{kW}$
 $Q_r = 10 + 16.67 = 26.67\text{kW}$

Ηλεκτρικές απαιτήσεις

$Q_c = 10\text{kW}$
 $Q_{el} = 10.000\text{W} / 60 = 167\text{W} \approx$ 
 Συνολική ενέργεια (με κυκλοφορητές) $Q_{el} \approx 350\text{W}$
 (Ψύκτης συμπίεσης $Q_{el}=3.300\text{W}$)
 (Γεωθερμική αντλία $Q_{el}=2.600\text{W}$)



Ηλιακός κλιματισμός – συμπεράσματα

- ✓ Εποχιακή σύμπτυξη υψηλών κλιματιστικών αναγκών και υψηλής ηλιακής ενεργείας
- ✗ Βιομηχανία κατασκευής μικρών κλιματιστικών υπό ανάπτυξη
- ✗ Υψηλό κόστος για ψύκτες έως 30kW (2000€/kW)
- ✓ Ενσωμάτωση σε υπάρχων συστήματα. (χρήση Fan coils – ενδοδαπέδια θέρμανση κ.λ.π)
- ✗ Πολλές εταιρίες είναι επιφυλακτικές στην εξαγωγή των μονάδων στην Ελλάδα
- ✓ Αναμένονται κλιματιστικά σε μορφή split unit

Αρχή διαστασιολόγησης πεδίου συλλεκτών:

- 3m²/kW (ψυκτικής ισχύος) για συστήματα κλειστού κύκλου
- 10m² ανά 1000m³/h για συστήματα ανοικτού κύκλου

Παραγωγή Ηλεκτρικής Ενέργειας

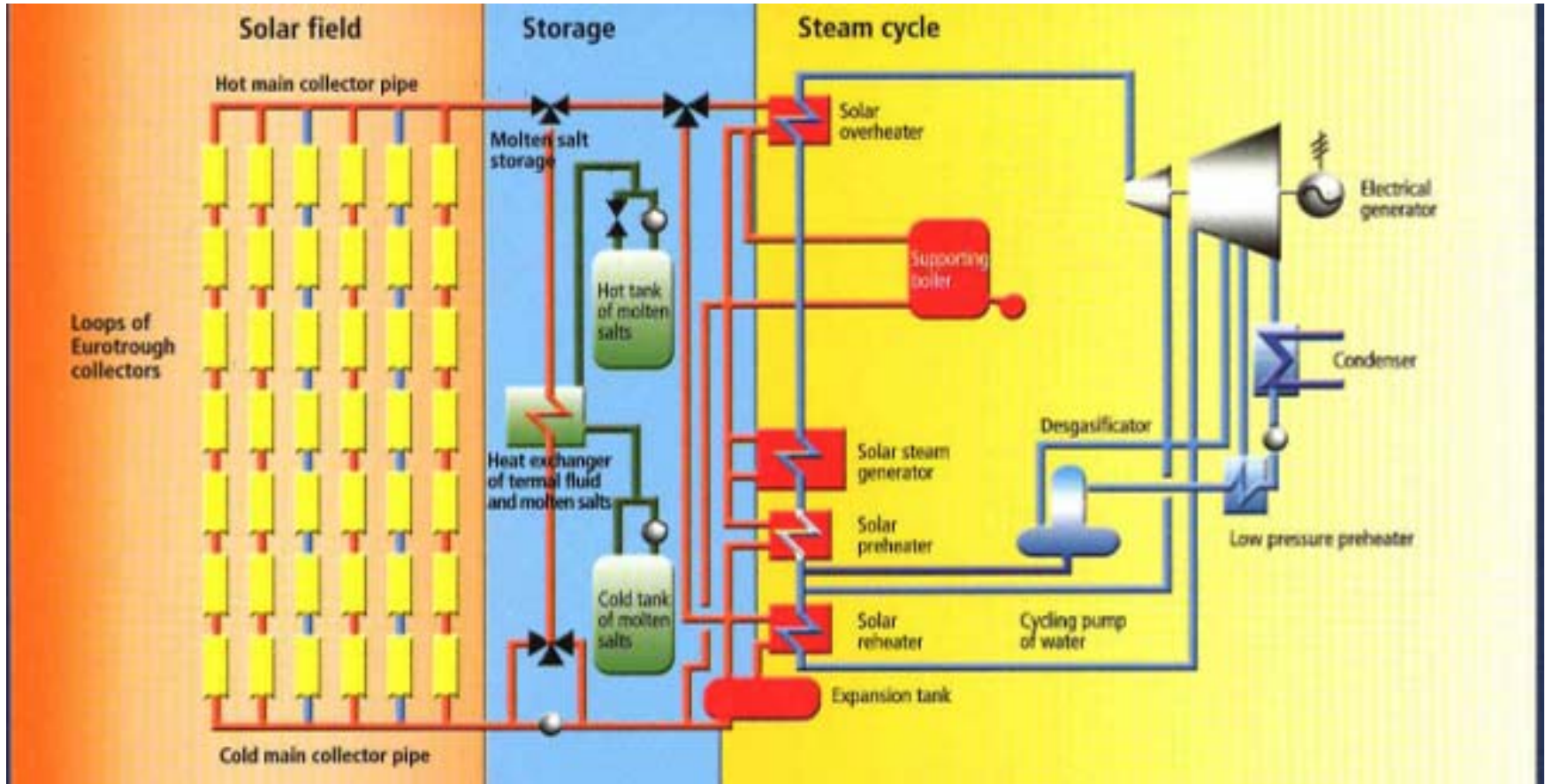
Παραγωγή Ηλεκτρικής Ενέργειας

Οι ηλιακοί συλλέκτες μέσω υψηλών ποσοστών συγκέντρωσης ηλιακής ενέργειας παράγουν ατμό σε υψηλή πίεση και θερμοκρασία

Ο ατμός κινεί αεροστροβίλους συνδεδεμένους σε ηλεκτρογεννήτριες

Η άμεση χρήση της θερμότητας του ήλιου έχει ως αποτέλεσμα υψηλά ποσοστά απόδοσης (>24%)

Παραγωγή Ηλεκτρικής Ενέργειας



Source: Andasol

Αφαλάτωση

Τα ηλιακά συστήματα μπορούν να συνδυαστούν με οποιοδήποτε σύστημα αφαλάτωσης που χρησιμοποιεί **θερμότητα** (μέθοδοι εξάτμισης).

Οι κυριότερες μέθοδοι εξάτμισης είναι οι:

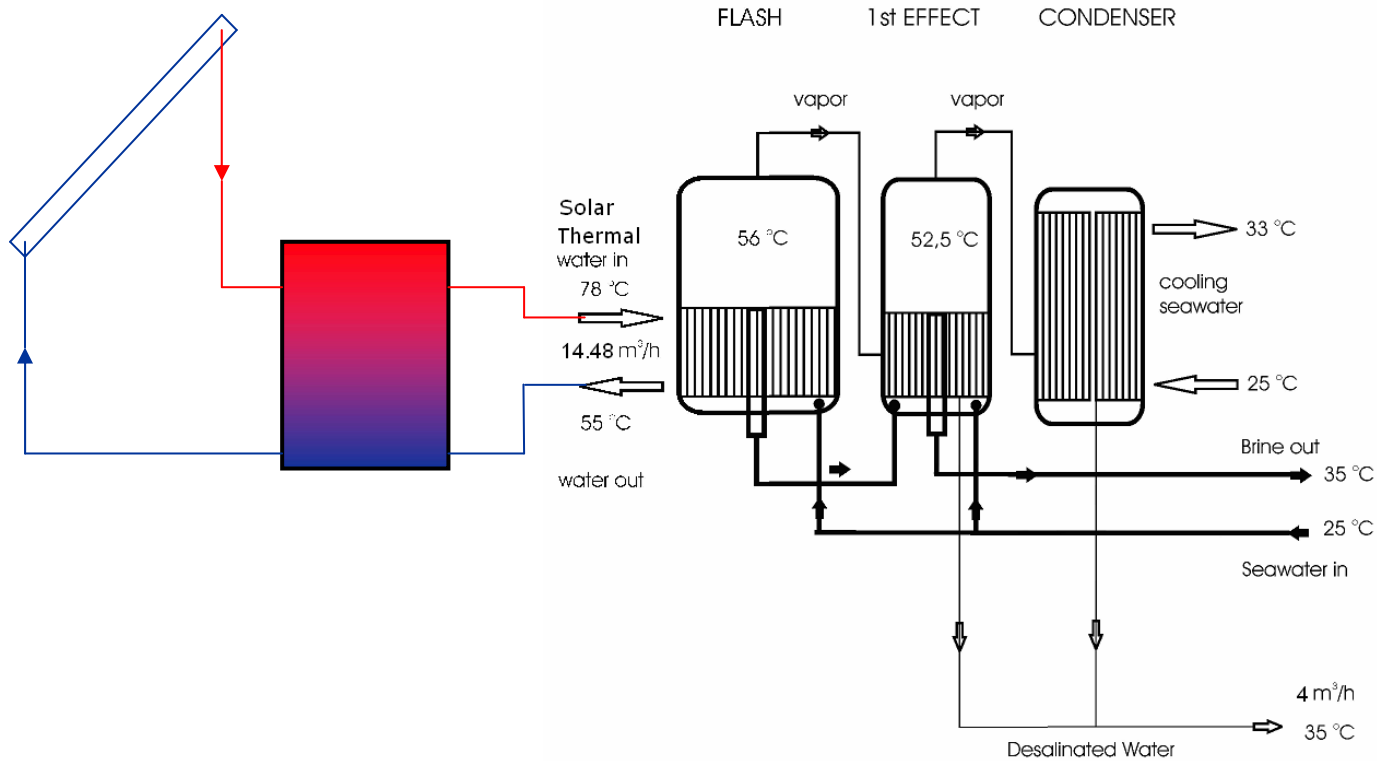
- Πολυβάθμια Εξάτμιση (Multiple Effect Distillation-MED)
- Πολυβάθμια Εκτόνωση (Multi-Stage Flash Distillation – MSF)

Κατά βάση γίνεται χρήση της **πολυβάθμιας εξάτμισης (MED)** που επιτρέπει λειτουργία σε χαμηλές θερμοκρασίες (**$T < 100^{\circ}\text{C}$**).

Οι απαιτήσεις θερμικής ενέργειας είναι **$105 \text{ kWh}_{\text{th}}$** ανά m^3 παραγόμενου νερού που αντιστοιχεί περίπου σε **175 m^2** συλλεκτικού πεδίου (συλλέκτες κενού).

Κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας **$\sim 1 \text{ kWh}$** ανά m^3 παραγόμενου αφαλατωμένου νερού.

FLOW CHART OF MED DESALINATION UNIT



Centre for Renewable Energy Sources

Σύστημα αφαλάτωσης για τη Κύπρο

Τεχνικά στοιχεία:

- Παροχή υφάλμυρου νερού $75\text{m}^3/\text{h}$, 24h/24h
- Χρήση ηλιακών συλλεκτών κενού
- Χρήση τεχνολογίας MED 3 δράσεων
- Παραγωγή αφαλατωμένου νερού 1:5 ($15\text{m}^3/\text{h}$)
- Θερμικές απαιτήσεις $37.800 \text{KWh}_{\text{th}}$ ημερησίως
- Δύο σενάρια
 - 1) χρήση 3.000m^2 συλλεκτικού πεδίου για κάλυψη περίπου 20%
 - 2) χρήση 15.0000m^2 συλλεκτικού πεδίου για κάλυψη περίπου 98%

	3.000 m ² συλλεκτικού πεδίου	15.000 m ² συλλεκτικού πεδίου
Ετήσια παραγόμενη ενέργεια από το ηλιακό σύστημα	2,7 GWh	13,2GWh
Ετήσια ενέργεια από το εφεδρικό σύστημα	11,1 GWh	1,56GWh
Ετήσια απαιτούμενη ενέργεια	13,8 GWh	14.3 GWh
Ετήσια παρασιτική ενέργεια	46 MWh	85 MWh

	3.000 m ² συλλεκτικού πεδίου	15.000 m ² συλλεκτικού πεδίου
Κόστος κατασκευής	2,026,000 €	8,646,000 €
Ετήσιο λειτουργικό κόστος	833,750 €	181,100 €
Εξοικονόμηση	432,100 €	1,084,750 €
Χρόνος απόσβεσης	4 έτη	7 έτη
Εξοικονόμηση CO ₂	858 t/y	4203 t/y

**Κολυμβητήριο δήμου Γεροσκήπου –
Κύπρος**

Ηλιακό σύστημα:

- Αφαλάτωση για γέμισμα πισίνας
- Θέρμανση πισίνας **180m²**

- Tinox MidiSal 1000 (1000lt/ημέρα)
- 110m² επίπεδοι επιλεκτικοί συλλέκτες
(Kafson LTD)

Κόστος συστήματος 50.000 €





Ευχαριστώ για την προσοχή σας!

Κέντρο Ανανεώσιμων Πηγών και Εξοικονόμησης Ενέργειας

Τμήμα Θερμικών Ηλιακών Συστημάτων

19χλμ. Λ. Μαραθώνος, 19009, Πικέρμι
τηλ. 00302106603300, φαξ. 00302106603301

www.cres.gr

Δ. Χασάπης

Μηχ. Τεχνολογίας Α.Π.Ε. (MScDic)

chasapis@cres.gr