




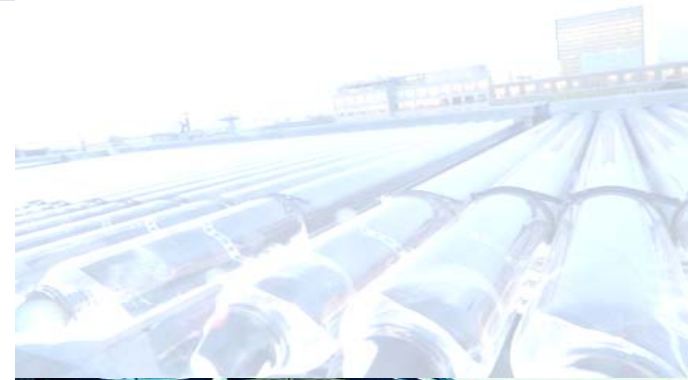
Increasing the Market Implementation of Solar Air-Conditioning Systems for Small and Medium Applications in Residential and Commercial Buildings

Intelligent Energy  Europe

Θεσσαλονίκη / Grand Hotel Palace
Αίθουσα Βούλα Πατουλίδου I
Τετάρτη 11 Φεβρουαρίου 2009

Ηλιακός Κλιματισμός

Χριστοδουλάκη Ρόζα
MSc Environmental design & engineering
Φυσικός Παν. Αθηνών



1. Εισαγωγή

1.1 Ηλιακή Ακτινοβολία

Τα ενεργειακά αποθέματα της Γης εξαντλούνται:

- Πετρέλαιο: 39 χρόνια
- Φυσικό αέριο: 60 χρόνια
- Άνθρακας: 132 χρόνια.
- Ουράνιο: 136 χρόνια.

Όμως, η ηλιακή ενέργεια είναι ανεξάντλητη πηγή:

- Ο ήλιος θα παρέχει ενέργεια επί πέντε δισεκατομμύρια έτη.
- Η ηλιακή ενέργεια υπερβαίνει κατά 2.500 φορές την ποσότητα που καταναλώνουμε ετησίως!

Oil (in barrels)

Total world reserves Jan. 1st 2008: 1237875464626

World usage per second: 986

Estimated date of exhaustion: 16:36 Oct 22, 2047

Natural Gas (in cubic meters)

Total world reserves Jan. 1st 2008: 177358076558404

World usage per second: 92653

Estimated date of exhaustion: 07:19 Sep 12, 2068

Coal (in metric tonnes)

Total world reserves Jan. 1st 2008: 847488000000

World usage per second: 203

Estimated date of exhaustion: 15:35 May 19, 2140

Uranium (in metric tonnes U-235)

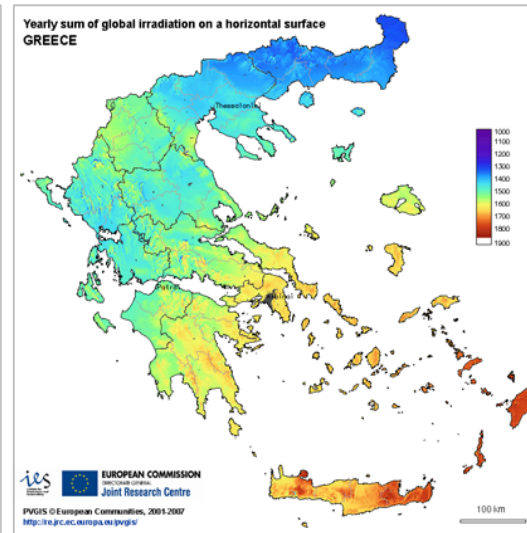
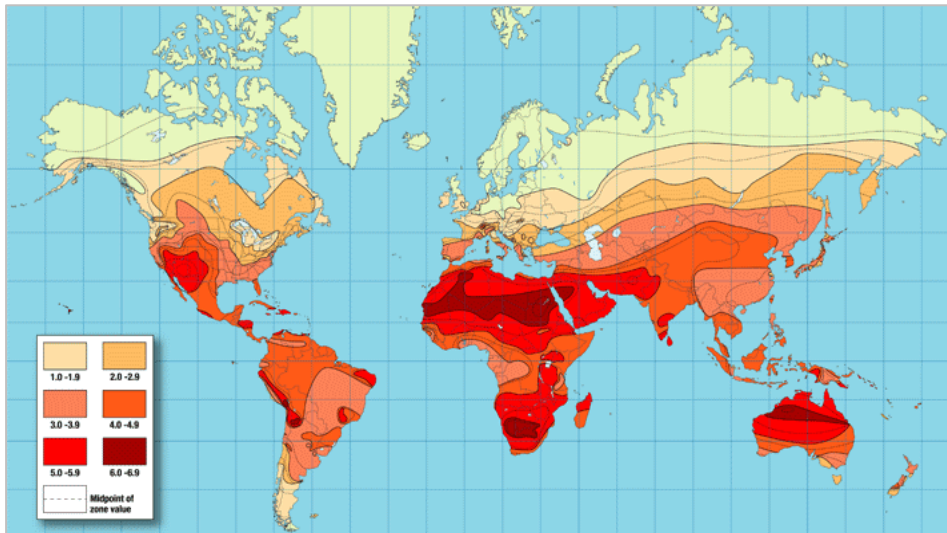
Total world reserves Jan. 1st 2008: 18230

World usage per second: 0.0000042222017

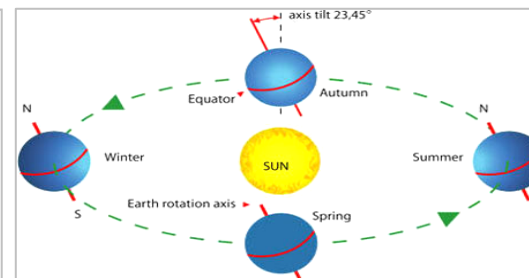
Estimated date of exhaustion: 19:56 Nov 28, 2144

Source: <http://www.energy.eu/#non-renewable>

Η ενέργεια που παρέχεται από τον ήλιο σε ετήσια βάση διαφέρει από περιοχή σε περιοχή, π.χ. στη Σαχάρα είναι 2,2 φορές υψηλότερη σε σύγκριση με την Ευρώπη.

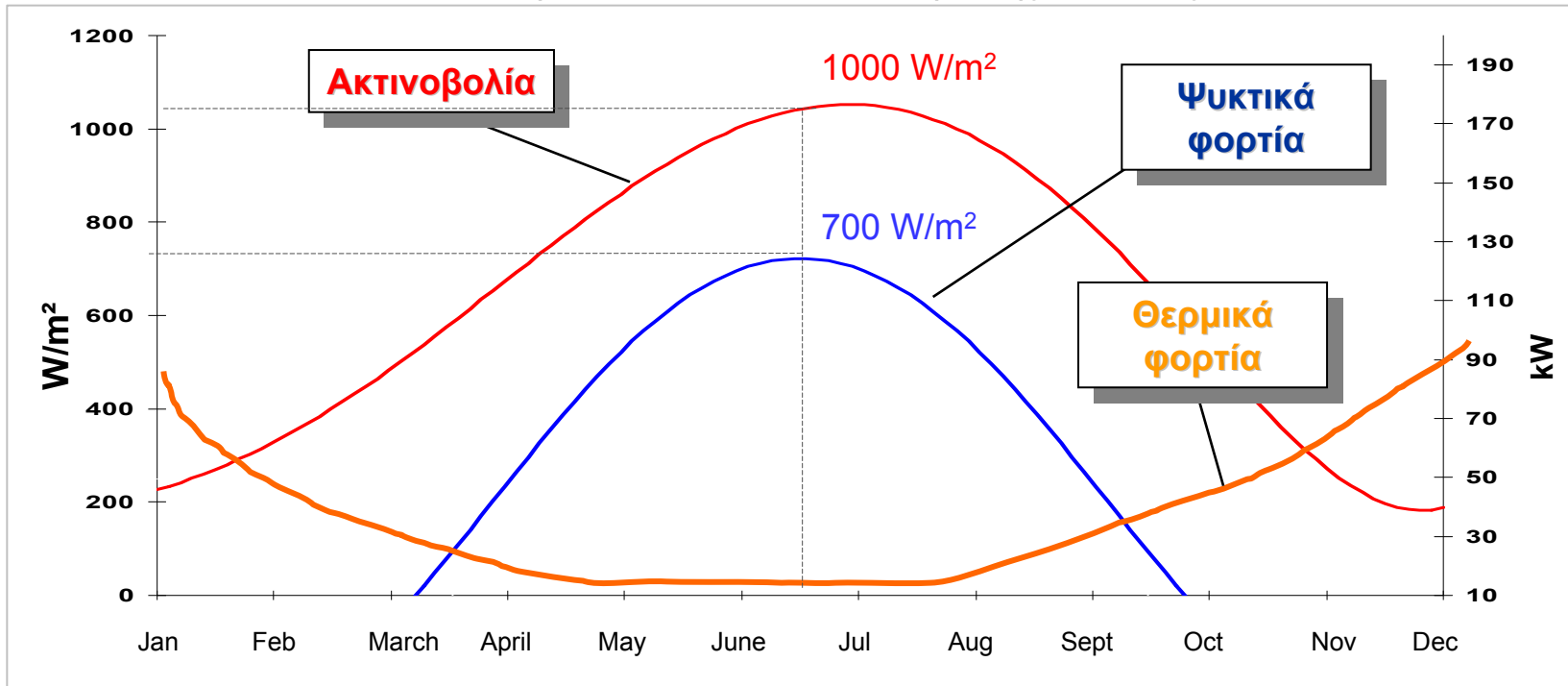


Η μεγαλύτερη ένταση της ακτινοβολίας δεν παρατηρείται στον ισημερινό, αλλά σε μεγαλύτερα γεωγραφικά πλάτη, καθώς ο άξονας περιστροφής της Γης βρίσκεται υπό γωνία 23.45° με την κατακόρυφο.



Γιατί ηλιακός κλιματισμός;

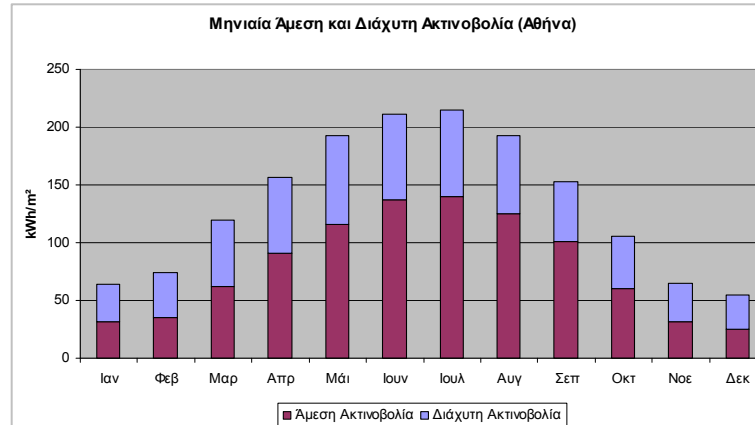
Σύμπτωση ψυκτικών αναγκών και ηλιακής ενέργειας



Source : TECSOL for SOLAIR project

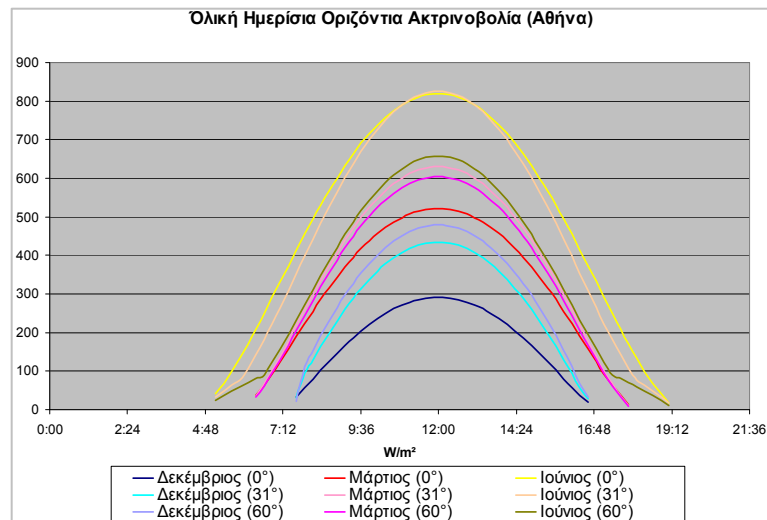
Η **ολική ακτινοβολία** (άμεση και διάχυτη) κατά τη διάρκεια ενός έτους στο δικό μας γεωγραφικό πλάτος είναι περίπου **1,600 kWh/m²**.

Αυτή η ποσότητα ενέργειας, την οποία μας παρέχει ετησίως ο ήλιος ανά m² αντιστοιχεί σε **160 λίτρα πετρελαίου** θέρμανσης.



Η μεταβολή της έντασης της ηλιακής ακτινοβολίας κατά τη διάρκεια μιας ημέρας για 3 ενδεικτικές ημερομηνίες (χειμώνα, άνοιξη και καλοκαίρι) φαίνεται στη διπλανή εικόνα.

Παρατηρείται ότι η επιφάνεια που δέχεται το μεγαλύτερο ποσό ηλιακής ακτινοβολίας έχει κλίση 60⁰ τον Δεκέμβριο και 0⁰ τον Ιούνιο.



Source : CRES, PVGIS

1.2 Βέλτιστη Κλίση Συλλεκτών

Η βέλτιστη κλίση των συλλεκτών, εκτός από τη γεωγραφική περιοχή, εξαρτάται και από την εφαρμογή για την οποία προορίζονται.

- **Χειμερινή λειτουργία:** γεωγραφικό πλάτος της περιοχής + 15⁰
- **Θερινή λειτουργία:** γεωγραφικό πλάτος της περιοχής - 15⁰
- **Ετήσια λειτουργία:** η κλίση της επιφάνειας πρέπει να είναι ίση με το γεωγραφικό πλάτος της περιοχής.

RESULTS OF INCIDENT RADIATION ON COLLECTORS (FROM TSOL)

Place: Athens

Azimuth: 0

G Inclined, Specific[kWh/m²]
according to collectors inclination (in degrees °)

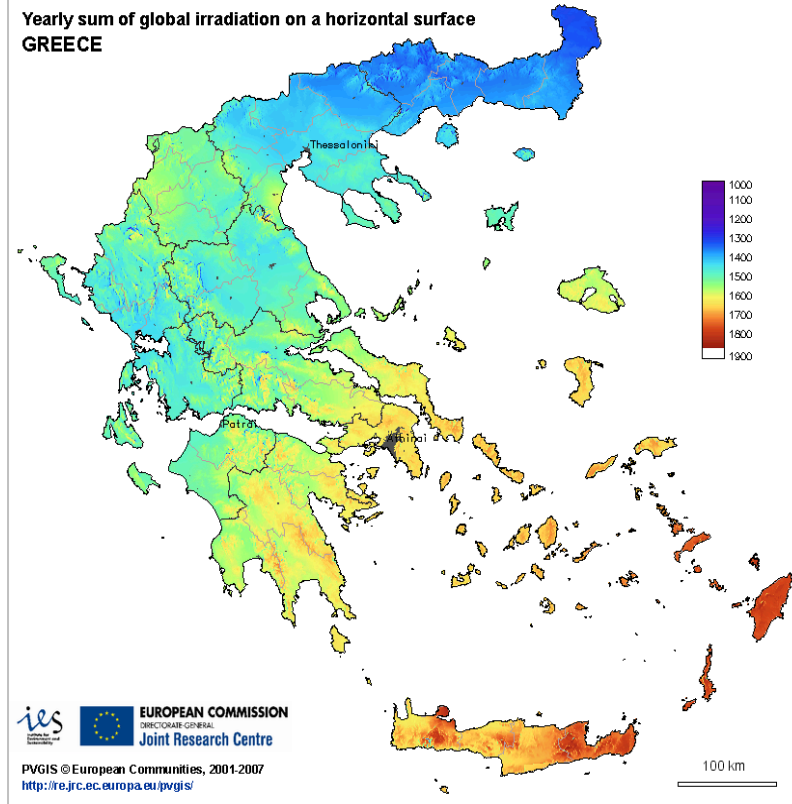
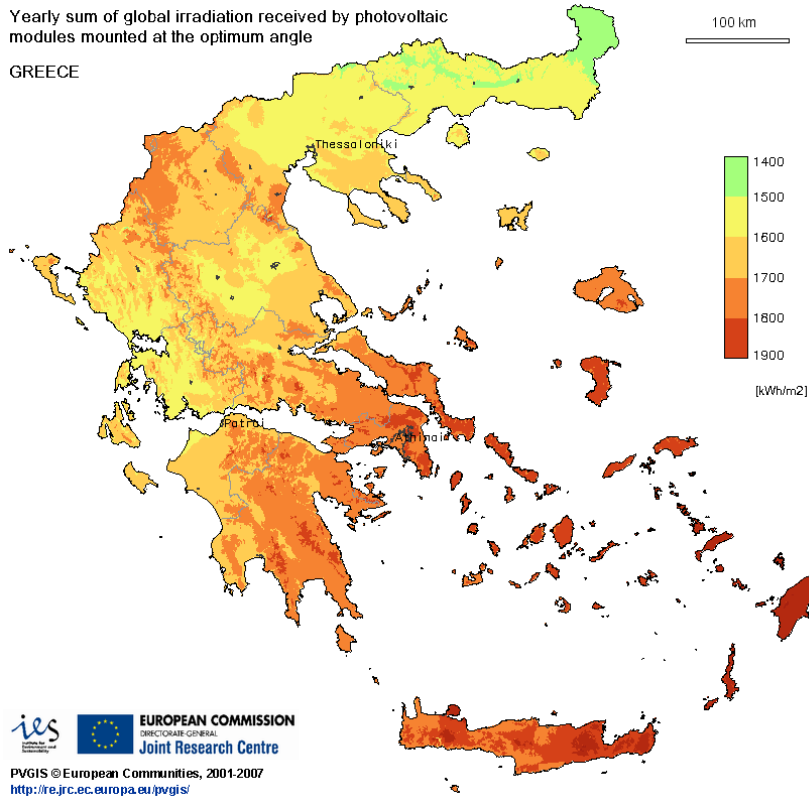
From:	To:	0	10	20	25	30	35	40	45	50	55	60	65	70	75	80	85	90
1/ 1/	1/ 2/	66	80	91	96	100	104	107	109	111	112	113	112	111	109	107	104	100
1/ 2/	1/ 3/	75	84	91	93	96	97	99	99	99	99	98	96	94	91	88	84	80
1/ 3/	1/ 4/	104	112	116	118	119	119	119	118	116	114	111	108	104	99	94	89	83
1/ 4/	1/ 5/	146	151	152	152	151	149	147	143	139	134	129	123	116	108	101	92	84
1/ 5/	1/ 6/	182	183	181	178	175	170	165	159	153	145	137	128	119	109	100	90	79
1/ 6/	1/ 7/	200	200	195	191	185	180	173	166	158	149	139	128	118	108	96	85	75
1/ 7/	1/ 8/	213	214	210	205	199	194	187	180	171	162	151	139	128	117	105	91	80
1/ 8/	1/ 9/	200	206	206	204	202	199	194	188	182	174	165	155	144	132	121	109	96
1/ 9/	1/10/	156	168	176	179	180	181	180	178	175	171	166	161	154	146	138	128	118
1/10/	1/11/	106	120	130	134	138	140	142	143	142	142	140	137	134	130	125	119	113
1/11/	1/12/	66	77	86	90	94	96	99	100	101	102	102	101	99	97	95	92	88
1/12/	1/ 1/	53	63	72	76	79	82	85	87	88	89	89	89	88	87	85	83	80
Sum YEAR		1567	1658	1706	1716	1718	1711	1697	1670	1635	1593	1540	1477	1409	1334	1252	1165	1075
hotels season: 1/4 to 1/11		1203	1242	1250	1243	1230	1213	1188	1157	1120	1077	1027	971	913	850	784	714	645
heating season: 1/11 to 1/4		364	416	456	473	488	498	509	513	515	516	513	506	496	484	468	450	430
"winter": 1/12 to 1/3		194	227	254	265	275	283	291	295	298	300	300	297	293	287	280	270	260

Source : T-SOL

Ενεργειακές απολαβές

Βέλτιστη κλίση: 1700-1800 kWh/m²

Οριζόντια επιφάνεια: 1300-1400 kWh/m²



Source : PVGIS

2. Είδη Συλλεκτών

2.1 Επίπεδοι Συλλέκτες

Ιδιότητες

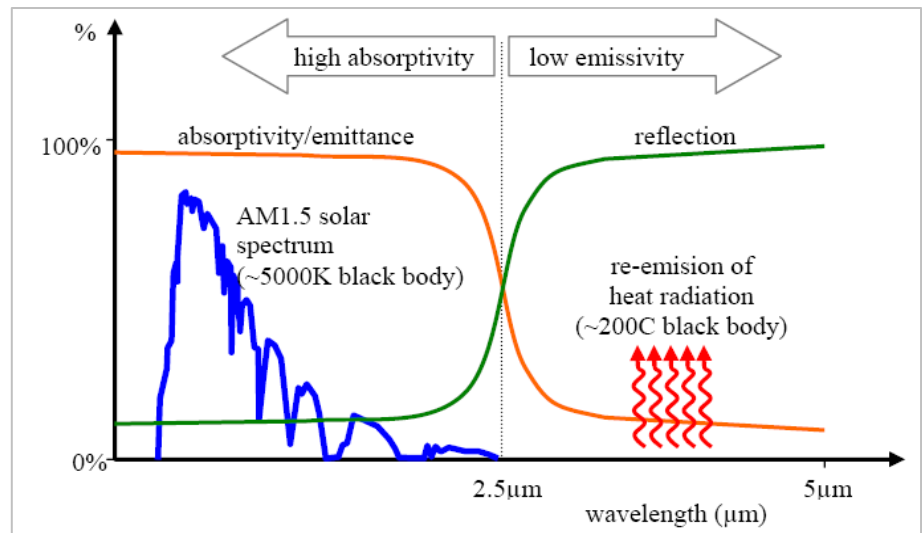
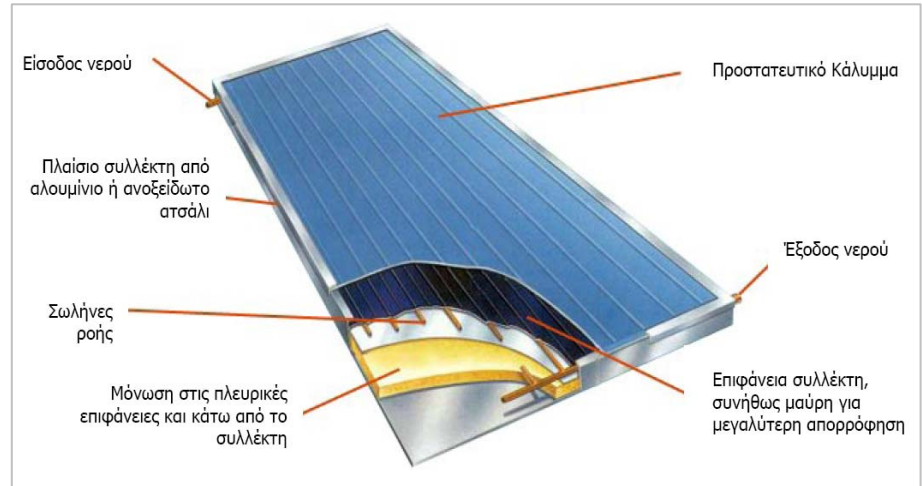
- Μεσαίου κόστους
- Υψηλή θερμοκρασία λειτουργίας
- Βάρος 20-32 kg/m²
- Το εξωτερικό κάλυμμα διατίθεται σε διάφορους τύπους: μαύρη μπογιά, ημι-επιλεκτική επιφάνεια και επιλεκτική επιφάνεια.

Η επιλεκτική επιφάνεια διακρίνεται από μεγάλη απορροφητικότητα (90-95%) στα μικρά μήκη κύματος της ηλιακής ακτινοβολίας και από ελάχιστη ανάκλαση (5-15%) στα μεγαλύτερα μήκη κύματος. Αυτό σημαίνει ότι απορροφά την ενέργεια του Ήλιου χωρίς να την ανακλά.

Εφαρμογές

- Για ζεστό νερό χρήσης
- Για θέρμανση χώρου
- Για ηλιακό κλιματισμό (επιλεκτική επιφάνεια)
- Βιομηχανικές εφαρμογές.

Planning & Installing Solar Thermal Systems: A guide for installers, architects & engineers, EarthScan publications



2.2 Συλλέκτες Κενού

Ιδιότητες

- Πολύ υψηλό κόστος
- Όχι απώλειες θερμότητας λόγω μεταφοράς
- Υψηλή θερμοκρασία λειτουργίας
- Ιδανικό για ψυχρά κλίματα
- Εξαιρετικά ευαίσθητοι
- Πολύπλοκη εγκατάσταση

Εφαρμογές

Δεν συνιστώνται σε οικιακές εφαρμογές, αφού το καλοκαίρι η θερμοκρασία στο εσωτερικό τους ξεπερνά τους 300°C. Κυρίως χρησιμοποιούνται σε εφαρμογές όπου απαιτούνται θερμοκρασίες άνω των 80°C, όπως:

- Ηλιακός κλιματισμός
- Βιομηχανικές εφαρμογές (αποστείρωση)
- Παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας

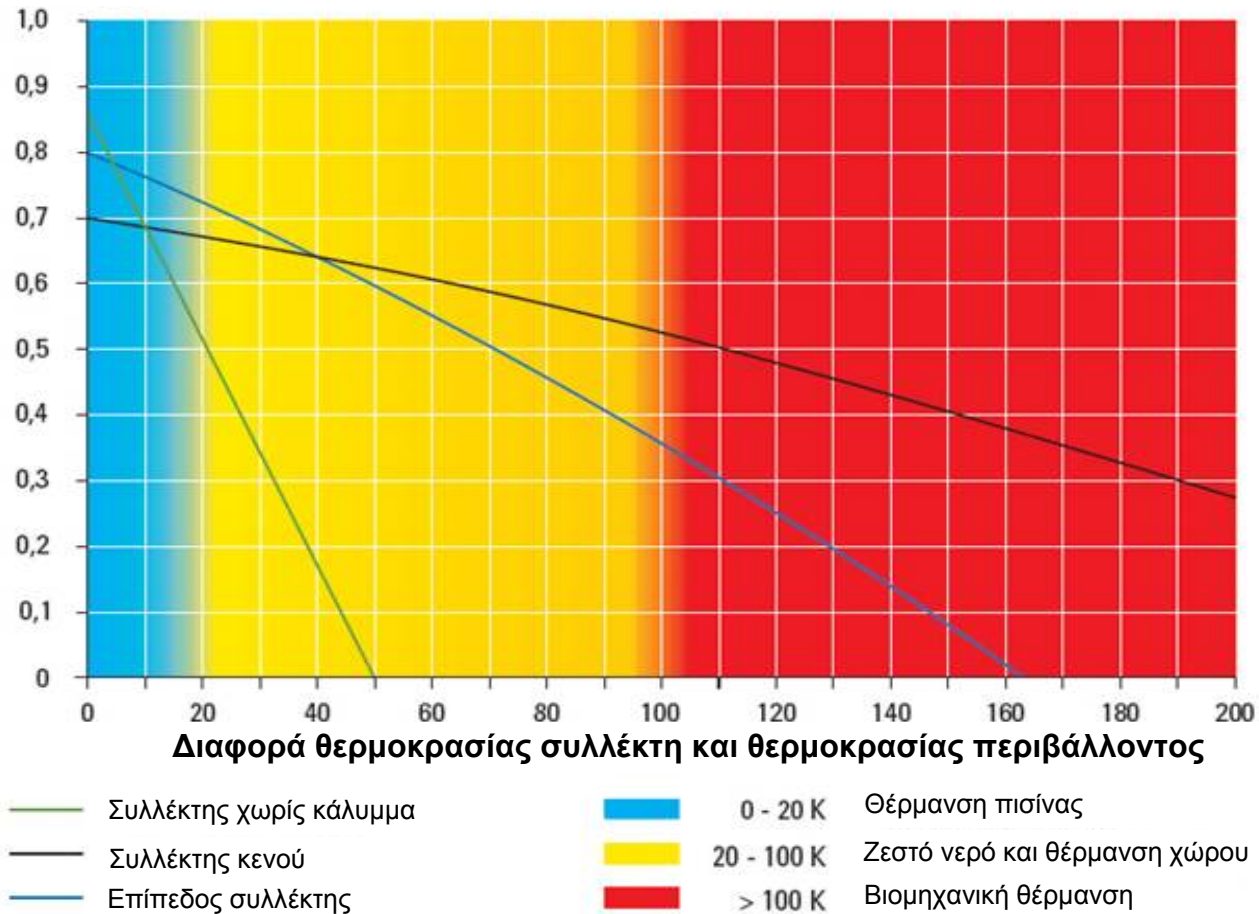
Planning & Installing Solar Thermal Systems: A guide for installers, architects & engineers, EarthScan publications



2.3 Συγκριτικός Πίνακας Συλλεκτών

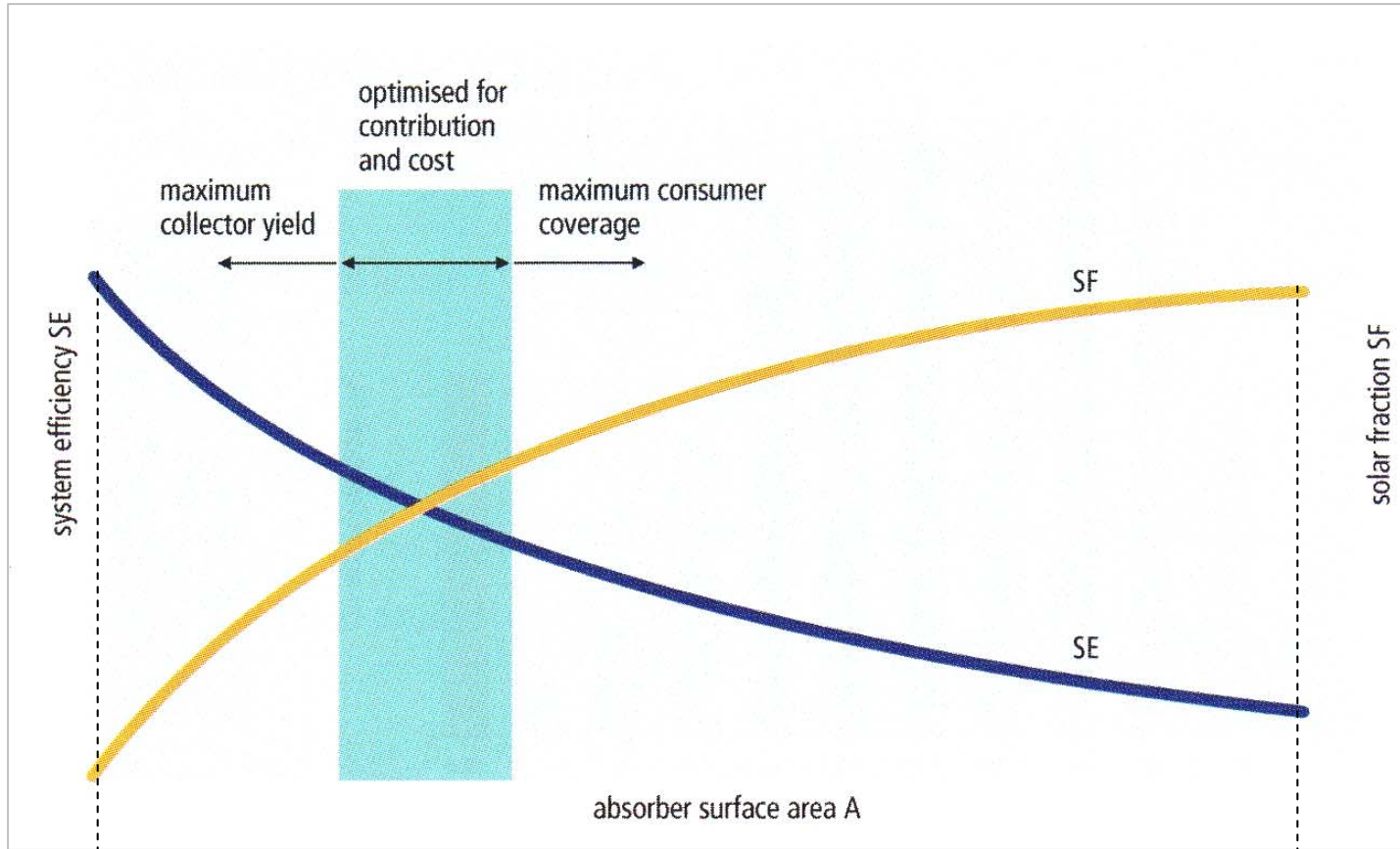
Είδος Συλλέκτη	Κόστος	Απόδοση (kWh/m ² /χρόνο)	Τυπική Χρήση
Επίπεδος Συλλέκτης (Μαύρη μπογιά)	Μεσαίο	650	Θέρμανση Πισίνας, ZNX
Επίπεδος Συλλέκτης (Επιλεκτικός Απορροφητής)	Μεσαίο	700	ZNX, Θέρμανση Χώρου, Ηλιακός Κλιματισμός
Συλλέκτες Κενού	Υψηλό	850	Ηλιακός Κλιματισμός, Βιομηχανικές Εφαρμογές

Απόδοση



Planning & Installing Solar Thermal Systems: A guide for installers, architects & engineers, EarthScan publications

2.4 Σχέση ηλιακής κάλυψης και απόδοσης συλλεκτών



Χαμηλή ηλιακή κάλυψη
(λίγοι συλλέκτες)
Υψηλή απόδοση

Υψηλή ηλιακή κάλυψη
(πολλοί συλλέκτες)
Χαμηλή απόδοση

Planning & Installing Solar Thermal Systems: A guide for installers, architects & engineers, EarthScan publications

3. Διαθέσιμα Συστήματα

Συστήματα

▪ Ανοικτού κύκλου DEC

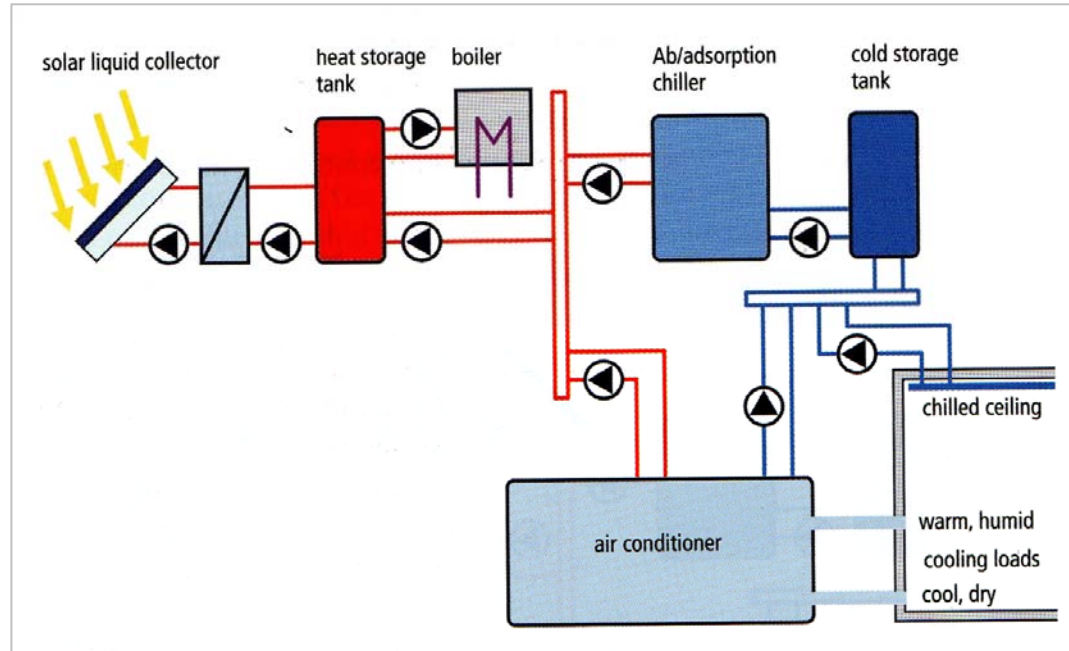
Παραγωγή κλιματιζόμενου αέρα
-Αφύγρανση και εξατμιστική ψύξη

▪ Κλειστού κύκλου

Παραγωγή κρύου νερού για ψύξη χώρου με fan coil, chilled ceiling, ενδοδαπέδια ή ψύξη αέρα με εναλλάκτη

-Απορρόφηση υγρού (absorption)

-Προσρόφηση στερεού (adsorption)



Planning & Installing Solar Thermal Systems: A guide for installers, architects & engineers, EarthScan publications

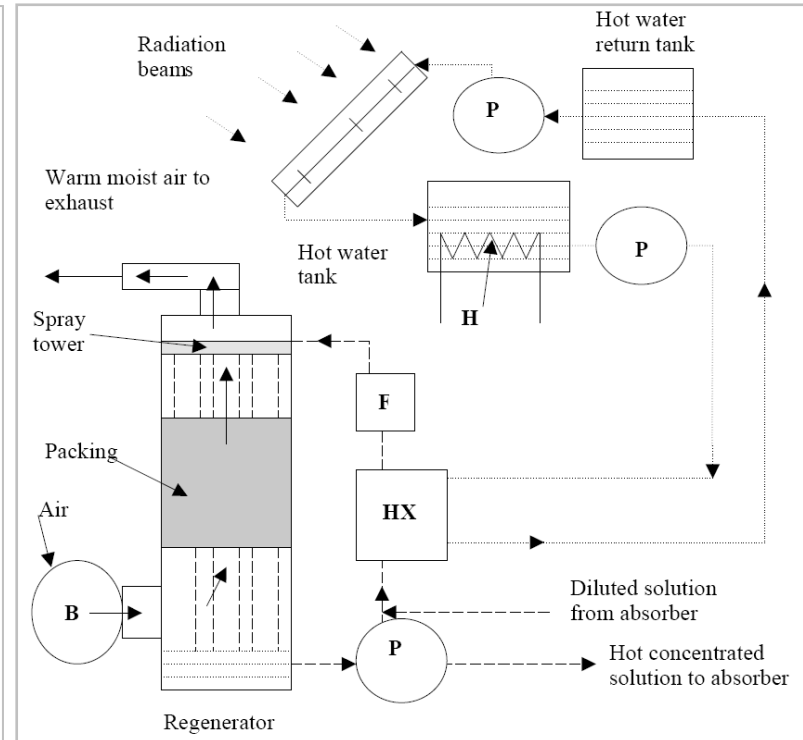
Ιδιότητες

- ✓ Εποχιακή σύμπτυξη υψηλών κλιματιστικών αναγκών και υψηλής ηλιακής ενεργείας
- ✓ Ενσωμάτωση σε υπάρχοντα συστήματα (Fan coils, ενδοδαπέδια θέρμανση)
- ✗ Η μαζική παραγωγή μικρών κλιματιστικών βρίσκεται ακόμα υπό ανάπτυξη
- ✗ Υψηλό κόστος για ψύκτες έως 30kW (1,000-2,000 €/kW)

3.1 Συστήματα ανοικτού κύκλου

Πλεονεκτήματα

- Η αναγέννηση του υλικού απαιτεί **χαμηλές θερμοκρασίες (45°C)**, οπότε μπορεί να χρησιμοποιηθεί ηλιακή ενέργεια
- **Εξοικονόμηση φυσικού αερίου**, σε σχέση με τα συμβατικά VCS, κατά **70%** ετησίως.
- **Εξοικονόμηση ενέργειας**, σε σχέση με τα συμβατικά VCS, κατά **45%** ετησίως.
- Δυνατότητα **χημικής αποθήκευσης ενέργειας** και **μεγαλύτερος βαθμός απόδοσης** στην περίπτωση υγρού αφυγραντή.
- Αυστηρός **έλεγχος υγρασίας και θερμοκρασίας**. (Νοσοκομεία, εργαστήρια, φαρμακοβιομηχανίες, σουπερ-μάρκετ, μουσεία).
- Διαθεσιμότητα στην αγορά (6 κατασκευαστές παγκοσμίως)



Ani FN, Badawi EM, Kannan KS. The effect of absorber packing height on the performance of a hybrid liquid desiccant system. Renewable Energy 2005; 30; 2247-2256

Αφυγραντικά Υλικά

Υγροσκοπικά υλικά, απορροφούν ή απελευθερώνουν υδρατμούς από την ατμόσφαιρα

Υγρά: CaCl_2 , LiCl , LiBr

Στερεά: silica gel, zeolite.

Λειτουργία

- Υγρασία υλικού > υγρασία ατμόσφαιρας: **ψύξη**

Το υλικό απελευθερώνει υγρασία, απορροφά θερμότητα από τον αέρα.

- Υγρασία υλικού < υγρασία ατμόσφαιρας: **θέρμανση**

Το υλικό απορροφά υγρασία, απελευθερώνει θερμότητα στον αέρα.

Επιθυμητά χαρακτηριστικά

- Μεγάλη ικανότητα αποθήκευσης ενέργειας
- Χαμηλή θερμοκρασία αναγέννησης
- Διαθεσιμότητα
- Χαμηλό κόστος, $\text{LiCl-H}_2\text{O}$ (87 €/kgr, 2008), $\text{CaCl}_2\text{-H}_2\text{O}$ (16.28 €/kgr, 2008), $\text{LiBr-H}_2\text{O}$ (169.4 €/kgr, 2008)



Ηλιακός Κλιματισμός με Στερεό DEC στο Πάρκο Ενεργειακής Αγωγής του ΚΑΠΕ. Φωτό: Αρχείο ΚΑΠΕ.

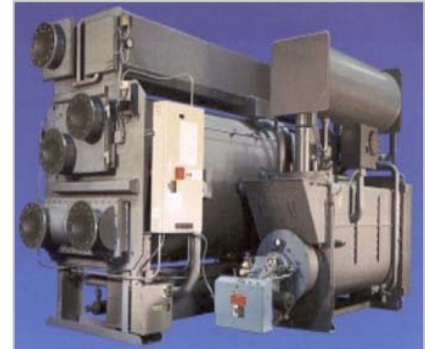
3.2 Συστήματα κλειστού κύκλου

Απορρόφηση / Προσρόφηση

Το ψυκτικό μέσο είναι το νερό.

Η διαδικασία της απορρόφησης / προσρόφησης περιλαμβάνει τέσσερα στάδια:

1. Το νερό ψεκάζεται σε ένα δοχείο και η εξάτμισή του αυτή προκαλεί ψύξη.
2. Οι υδρατμοί που παράγονται απορροφούνται ή προσροφούνται από ένα διαλυτικό μέσο απορρόφησης (LiBr, NH₃) ή προσρόφησης (Silica Gel) για να επιτευχθούν χαμηλότερες θερμοκρασίες.
3. Το κορεσμένο διάλυμα αναγεννάται από μια πηγή θερμότητας (θερμό νερό $T > 70^{\circ}\text{C}$ ή ατμό χαμηλής πίεσης) και ελευθερώνονται οι υδρατμοί. Στους ψύκτες απορρόφησης η αναγέννηση αυτή μπορεί να γίνει και με καύση συμβατικού καυσίμου (π.χ. φυσικού αερίου), οπότε υπάρχει και η δυνατότητα παραγωγής ψύξης από συμβατικό καύσιμο
4. Οι υδρατμοί συμπυκνώνονται από ένα κατάλληλο ρευστό ψύξης (νερό $T < 35^{\circ}\text{C}$).



Απόδοση

Η απόδοση ενός ψύκτη εξαρτάται από την θερμοκρασία του θερμού νερού που προσάγεται για την αναγέννηση του διαλύματος.

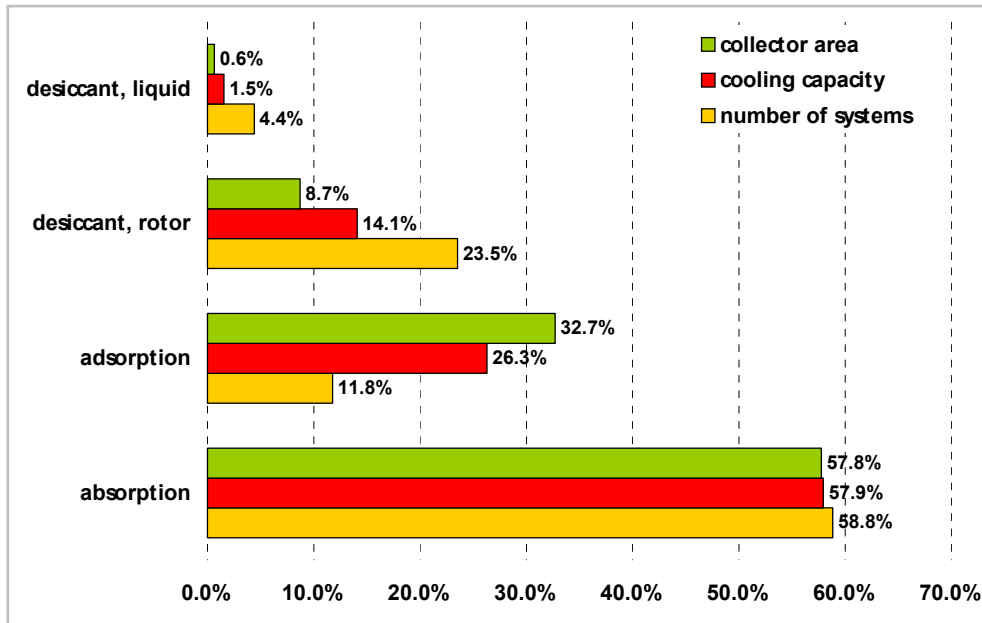
Ψύκτες απορρόφησης (>200 kW) η απόδοση είναι 0,5 (νερό 70 °C) έως και 1,1 (ατμό).

Ψύκτες προσρόφησης (70-400kW) η απόδοση είναι 0,7 (νερό 70 °C) έως 0,9 (ατμό).

3.3 Απόδοση συστημάτων

Σύστημα	Κλειστού Κύκλου		Ανοικτού Κύκλου	
	Στερεό	Υγρό	Στερεό	Υγρό
Ψυκτική Ικανότητα	Απορροφητικός ψύκτης 50-430kW	Προσροφητικός ψύκτης 20kW-50MW	Εξατμιστική ψύξη 20kW-50MW	-
Απόδοση COP _{thermal}	0.3-0.7	0.6-0.75	0.5-1	0.9-1
Τ λειτουργίας	60-90 °C	80-110 °C	45-95 °C	45-70 °C
Συλλέκτες	Κενού, επιλεκτικοί	Κενού	Επιλεκτικοί	Επιλεκτικοί

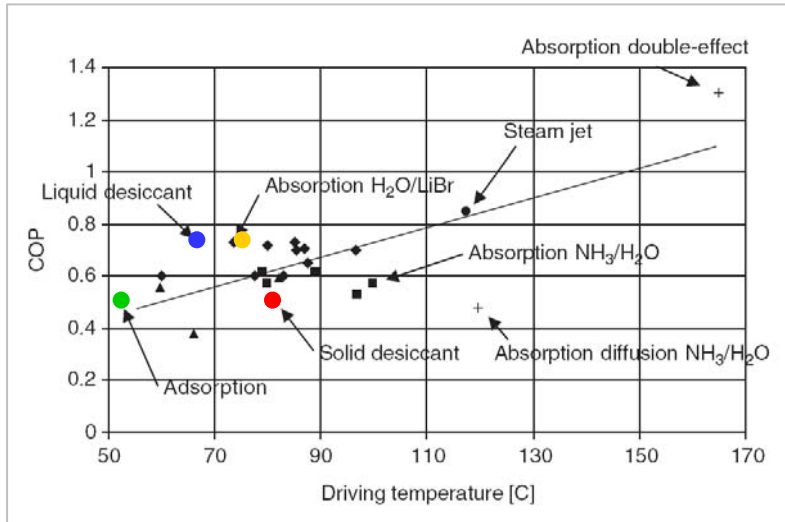
Source : EU Altener Project Climasol



% εγκατεστημένα συστήματα στην Ευρώπη

1. Απορρόφηση, 68%
2. Στερεό DEC, 28%
3. Προσρόφηση, 12%
4. Υγρό DEC, 4%

Source : HM Henning, *Solar Assisted air conditioning of buildings – an overview*, Applied Thermal Engineering, 27, 2007, 1734-1749.



Απόδοση συστημάτων - Θερμοκρασία λειτουργίας, 2007

Ανοικτά συστήματα

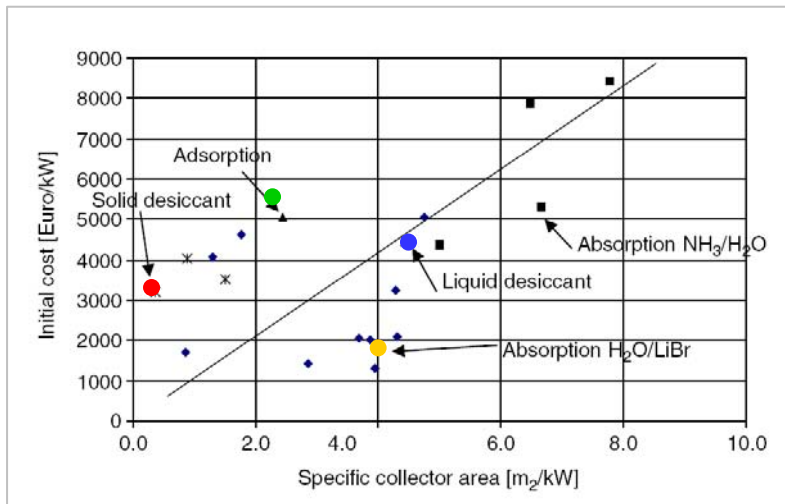
Υγρό DEC: $T = 60C$, $COP = 0.7$

Στερεό DEC: $T = 80C$, $COP = 0.5$

Κλειστά συστήματα

Απορρόφησης: $T = 75C$, $COP = 0.7$

Προσρόφησης: $T = 55C$, $COP = 0.5$



Αρχικό κόστος - Απαιτούμενοι συλλέκτες, 2007.

Ανοικτά συστήματα

Υγρό DEC: 4500 €/kW , $5 \text{ m}^2/\text{kW}$

Στερεό DEC: 3500 €/kW , $0.5 \text{ m}^2/\text{kW}$

Κλειστά συστήματα

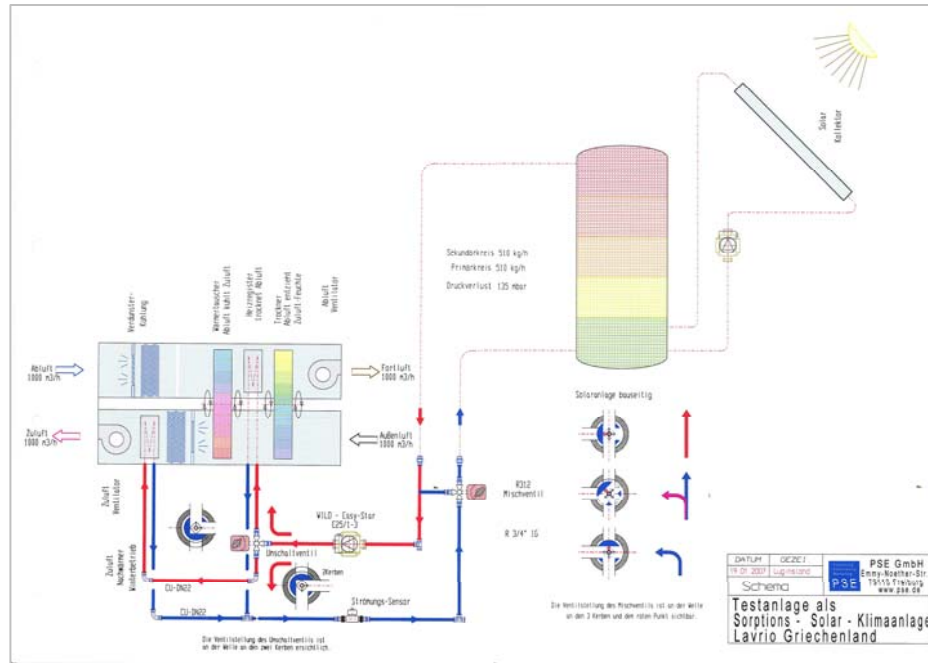
Απορρόφησης: 2000 €/kW , $4 \text{ m}^2/\text{kW}$

Προσρόφησης: 5500 €/kW , $2.5 \text{ m}^2/\text{kW}$

Source : CA Balaras, G Grossman, HM Henning, *Solar Air-Conditioning in Europe - an overview*, Renewable Energy & Sustainable Energy Reviews, 11, 2007, 299-314

4. Case studies

ΠΕΝΑ, Λαύριο, ΚΑΠΕ Ηλιακός κλιματισμός Στερεό DEC Πιλοτική εφαρμογή	
Σε λειτουργία από	2007
Κλιματιζόμενος χώρος	84m ²
Συλλέκτες	10 m ² , Calpak επίπεδοι
Μέσο μεταφοράς θερμότητας	Νερό-γλυκόλη
Θερμοκρασία λειτουργίας	60°C
Max. Ροή αέρα	1100 m ³ /h
Min. Ροή αέρα	373 m ³ /h
Desiccant cooling system	solid LiCl
Μονάδα desiccant	Klingenburg



Source: ΚΑΠΕ

Γερμανία, Freiburg
Εμπορικό επιμελητήριο
Κλιματισμός 2 χώρων
σεμιναρίου

Σε λειτουργία από το 2001

Τεχνολογία Solid DEC

Κλιματιζόμενος χώρος: 213 m²

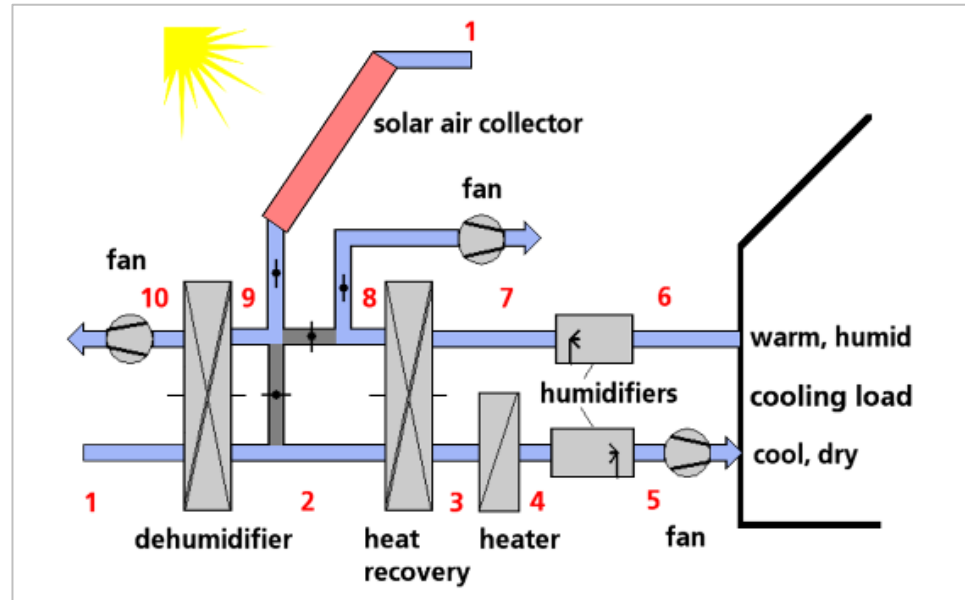
Ροή αέρα 10200 m³/h

Συλλέκτες: 92m² επίπεδοι αέρα

Όχι υποβοηθητικό σύστημα θέρμανσης

Όχι αποθήκευση ενέργειας

Κόστος 210,000 €



Source: SOLAIR project

Γερμανία, Freiburg
SOBIC

Κλιματισμός γραφείων

Τεχνολογία Liquid DEC

Κλιματιζόμενος χώρος: 310 m²

Ροή αέρα 1500 m³/h

Συλλέκτες: 17m² επίπεδοι

1,5 m³ buffer storage

Στόχος: 100% ηλιακή ψύξη



Source: SOLAIR project

Δανία, EZK Heemstede

Τεχνολογία DEC

Συλλέκτες: 77 m² επίπεδοι

Ψυκτική ισχύς: 40 kWc

Έτος λειτουργίας: 11/99

Ροή αέρα: 8,500 m³/h

Ηλιακή κάλυψη: 36%

Θερμοκρασία αναγέννησης: 65°C



Source: SOLAIR project

5. Κόστος ΘΗΣ – Ηλιακού κλιματισμού

Ενδεικτικά Οικονομικά Μεγέθη Θερμικών Ηλιακών Συστημάτων (2008)			
Σύστημα	Χρήση	Κόστος (με εγκατάσταση)	Χαρακτηριστικά
Πισίνας	Θέρμανση Πισίνας	100 € /m ² συλλέκτη	Συλλέκτης χωρίς κάλυμμα, m ² συλλέκτη ≈ m ² πισίνας
Θερμοσιφωνικό	Οικιακή: Ζεστό νερό	1,400 €	150 lt boiler, 2.5 m ² συλλέκτη μαύρης μπογιάς
	Οικιακή: Ζεστό νερό	1,600 €	150 lt boiler, 2.5 m ² επιλεκτικού συλλέκτη
Κεντρικό ή COMBI	Οικιακή: Ζεστό νερό, Θέρμανση	500-750 € /m ² συλλέκτη	1000 lt boiler, 15 m ² επιλεκτικού συλλέκτη
	Επαγγελματική: Ζεστό νερό, Θέρμανση χώρου, Θέρμανση Πισίνας	400-650 € /m ² συλλέκτη	30.000 lt boiler, 500 m ² επιλεκτικού συλλέκτη

Source: ΚΑΠΕ, 2008

Χρηματοδότηση

▪ Ιδιώτες

Έκπτωση του φορολογητέου εισοδήματος κατά 20% του κόστους αγοράς & εγκατάστασης, έως 700 €.

Π.χ. 1: Αρχικό κόστος ηλιακού συστήματος 1.500€

Μείωση φορολογητέου ποσού = $1.500 * 0,2 = 300€$

Δηλαδή, εάν φορολογητέο εισόδημα = 20.000€, ο χρήστης θα φορολογηθεί στις 19.700€.

Π.χ. 2: Αρχικό κόστος ηλιακού συστήματος 40.000€

Μείωση φορολογητέου ποσού = $40.000 * 0,2 = 8.000€$.

Όμως υπάρχει το όριο των 700€, τελική μείωση = 700 €

Δηλαδή, εάν φορολογητέο εισόδημα = 60.000€, ο χρήστης θα φορολογηθεί στις 59.300€.

Η απόδειξη αγοράς και εγκατάστασης ΘΗΣ θα πρέπει απαραίτητα να είναι στο όνομα του φορολογούμενου και να υποβληθεί στην Εφορία μαζί με την δήλωση εισοδήματος, ώστε να επωφεληθεί της έκπτωσης.

▪ Βιομηχανίες / Ξενοδοχεία

- Αναμένεται ανακοίνωση νέων χρηματοδοτικών προγραμμάτων τον Απρίλιο.

Συμπεράσματα

- ✓ Εποχιακή ταύτιση Ηλιακού Κλιματισμού και ηλιακής ακτινοβολίας
- ✓ Πολλές εφαρμογές: θέρμανση πισίνας, ζεστό νερό χρήσης, θέρμανση χώρου, κλιματισμός, άρα **μεγαλύτερη εξοικονόμηση ενέργειας**
- ✓ Δυνατότητα περαιτέρω ανάπτυξης Θερμικών Ηλιακών Συστημάτων:
 - Μόνο το **25%** των κατοικιών **έχουν ΘΗΣ**
 - Το **90%** από αυτούς είναι **απόλυτα ικανοποιημένοι**

Επικαιροποίηση Νομοθετικού Πλαισίου

Υποχρεωτική μελέτη και εγκατάσταση σωληνώσεων αναμονής ΘΗΣ σε όλα τα κτίρια

Υποχρεωτική εγκατάσταση κεντρικών ΘΗΣ σε νέα και υπό ανακαίνιση κτίρια

Επιδότησεις κεντρικών ΘΗΣ

Επιδότησεις Ηλιακού Κλιματισμού

Ευχαριστώ για την προσοχή σας!

<http://www.solair-project.eu>



Χριστοδουλάκη Ρόζα
rozi@cres.gr

**Κέντρο Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας
Centre for Renewable Energy Sources**
19^ο χλμ. Λεωφ. Μαραθώνος, 19009, Πικέριμι
τηλ. +30 210 6603300, fax. +30 210 6603301-2
<http://www.cres.gr>