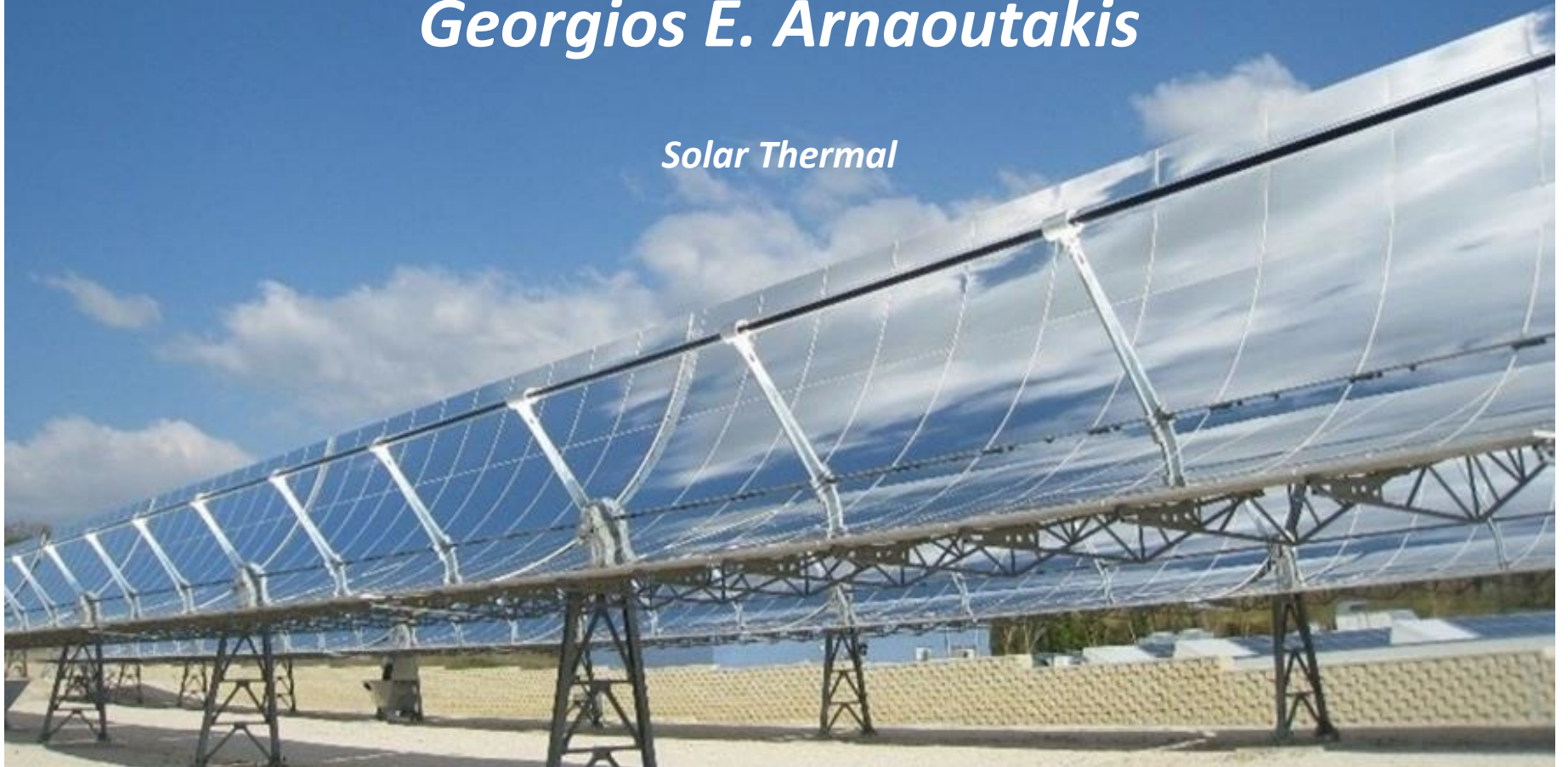


Solar Energy & Applications

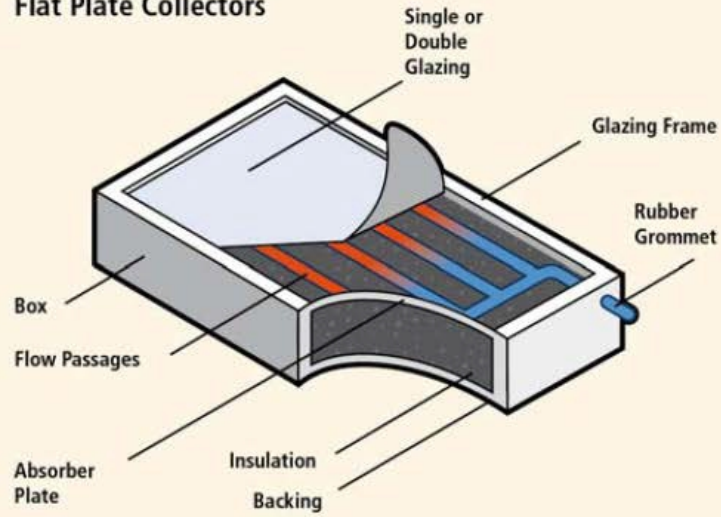
Georgios E. Arnaoutakis

Solar Thermal



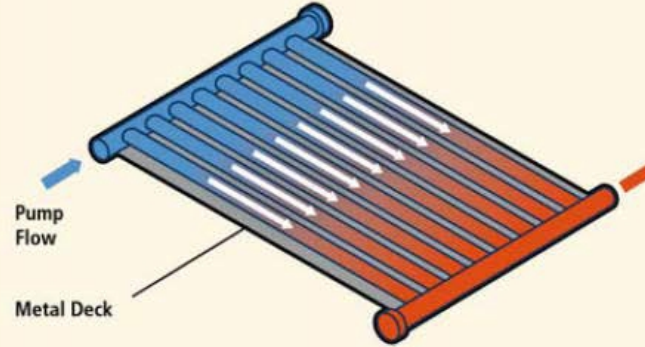
Συστήματα ηλιακής θερμικής ενέργειας

Flat Plate Collectors

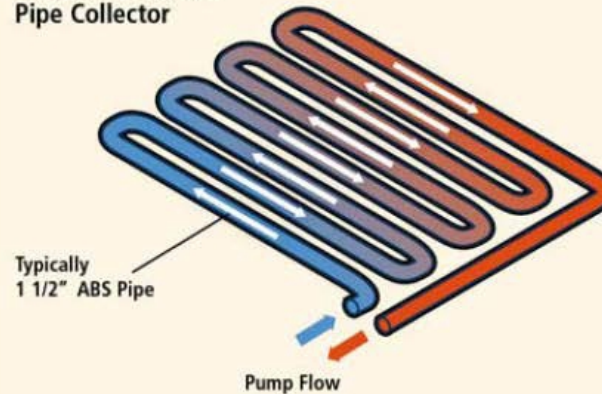


Unglazed Solar Collectors

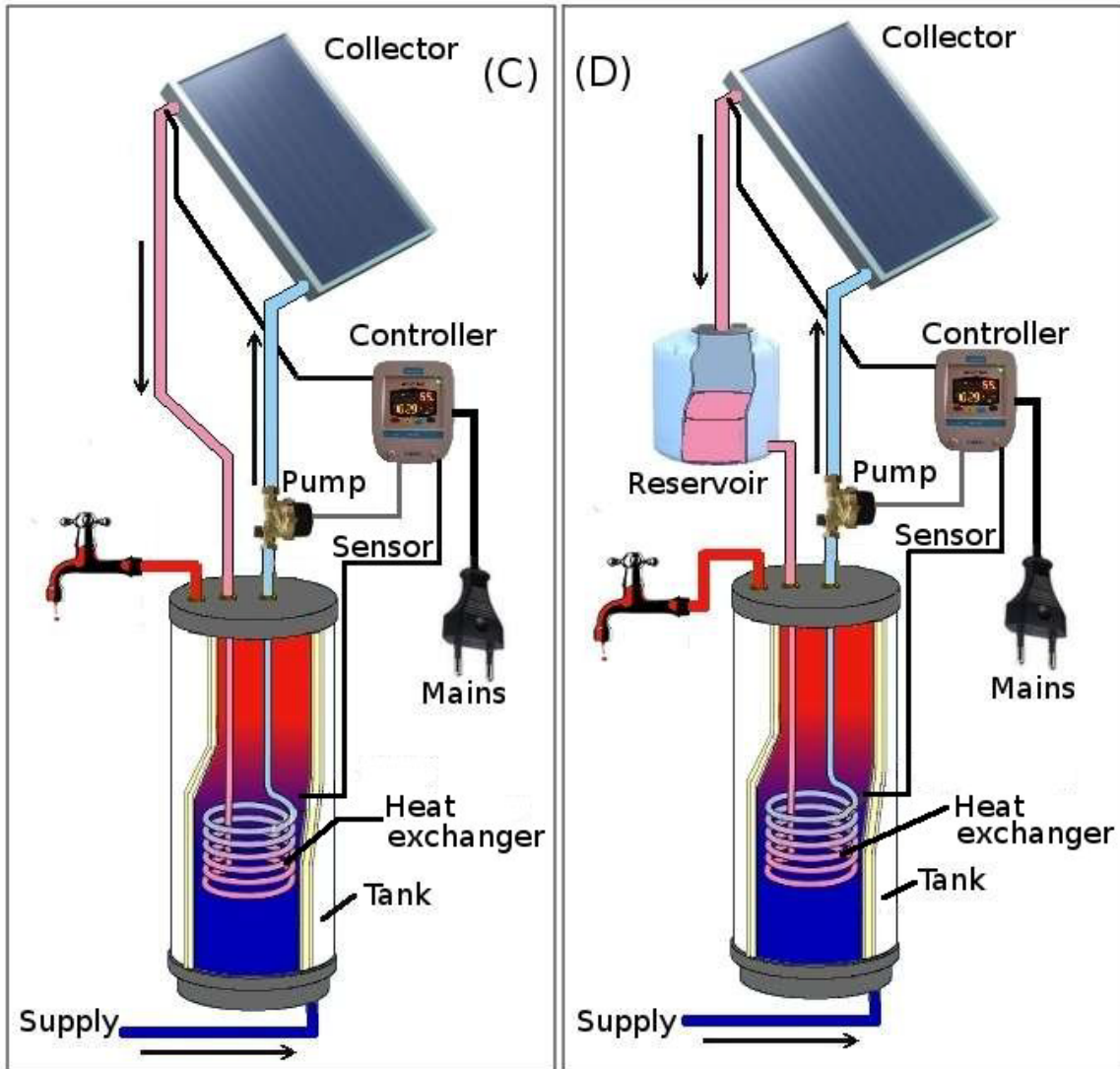
Tube-on-Sheet Collector



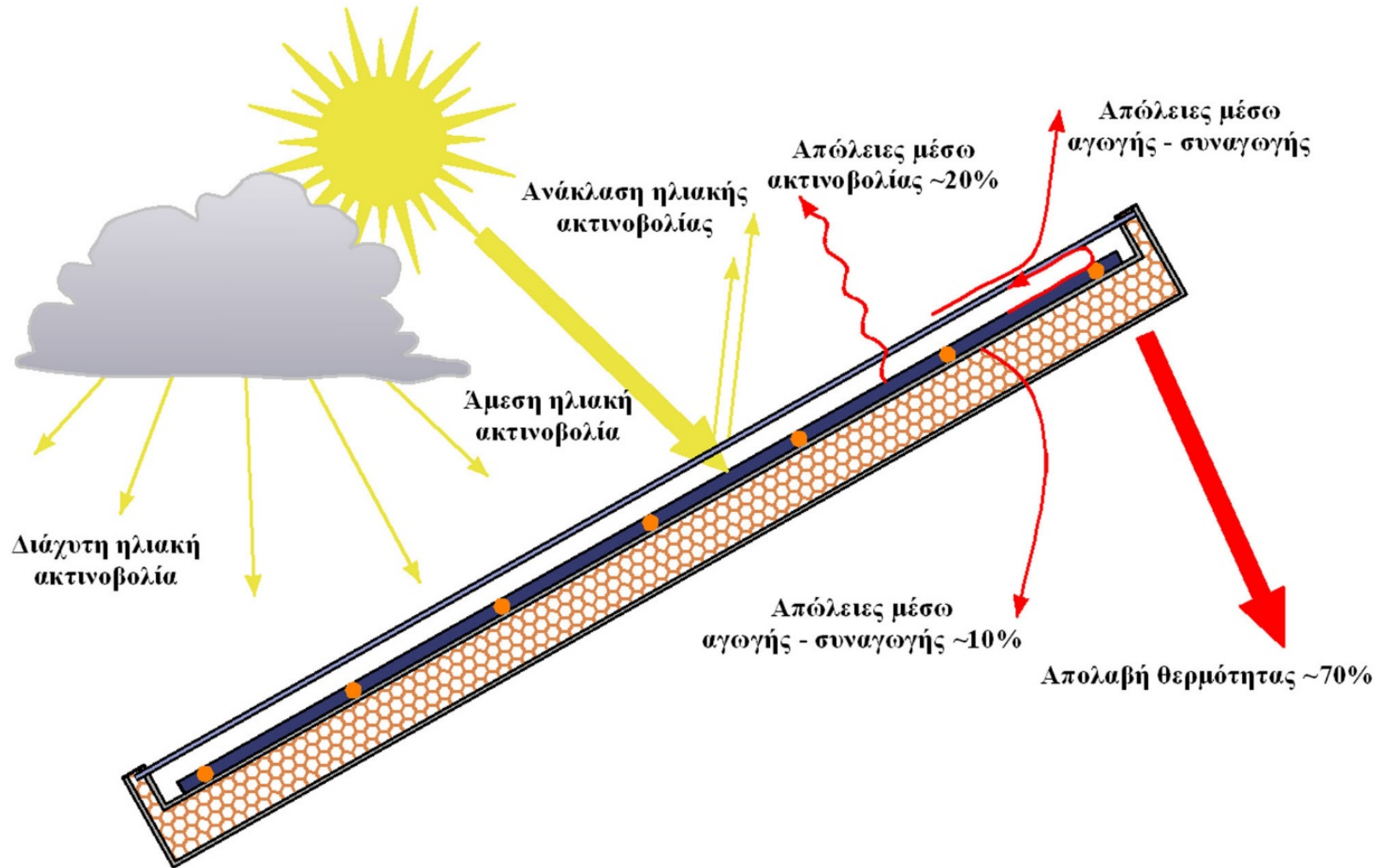
Serpentine Plastic Pipe Collector



Συστήματα ηλιακής θερμικής ενέργειας



Ενεργειακή ανάλυση επίπεδου ηλιακού συλλέκτη



$$\eta = \frac{\text{Ωφέλιμη}_\text{Ενέργεια}}{\text{Προσπίπτουσα}_\text{Ενέργεια}} = \frac{Q_U}{A G_T}$$

$$Q_U = A[S - U_L(T_s - T_a)]$$



$$\eta = \frac{S - U_L(T_s - T_a)}{G_T}$$

Η θερμοκρασία T_s του απορροφητή δεν είναι σταθερή σε όλη την επιφάνεια του συλλέκτη και για να μετρηθεί χρειάζεται μεγάλος αριθμός αισθητήρων
Αντίθετα, οι θερμοκρασίες εισόδου, εξόδου του νερού και περιβάλλοντος μετρώνται εύκολα. Άρα για $T_s = T_i$

$$Q_{U_{\max}} = A[S - U_L(T_i - T_a)]$$

$$F_R = \frac{Q_U}{Q_{U_{\max}}}$$



$$Q_U = F_R A[S - U_L(T_i - T_a)]$$



Όπου: Επιφάνεια συλλέκτη (A)
Απόδοση συλλέκτη (η)
Θερμοκρασία εισόδου νερού (T_i)
Ωφέλιμη θερμική ισχύς (Q_U)

Απορροφούμενη ισχύς ανα επιφ. (S)
Θερμοκρασία συλλέκτη (T_s)
Θερμοκρασία περιβάλλοντος (T_a)

Απόδοση ηλιακού συλλέκτη

$$\rightarrow \eta = \frac{F_R A [S - U_L (T_i - T_a)]}{A G_T} = \frac{F_R S}{G_T} - U_L \frac{T_i - T_a}{G_T}$$
$$\rightarrow \eta = \overbrace{F_R (\tau\alpha)} - U_L \frac{T_i - T_a}{G_T}$$
$$S = G_T (\tau\alpha)$$

U_L βρίσκεται με υπολογισμό των θερμικών απωλειών από όλες τις επιφάνειες του συλλέκτη, με χρήση των νόμων διάδοσης θερμότητας, αγωγή-μεταφορά-ακτινοβολία

Για $\eta=0$ σε συλλέκτη με φυσική κυκλοφορία:

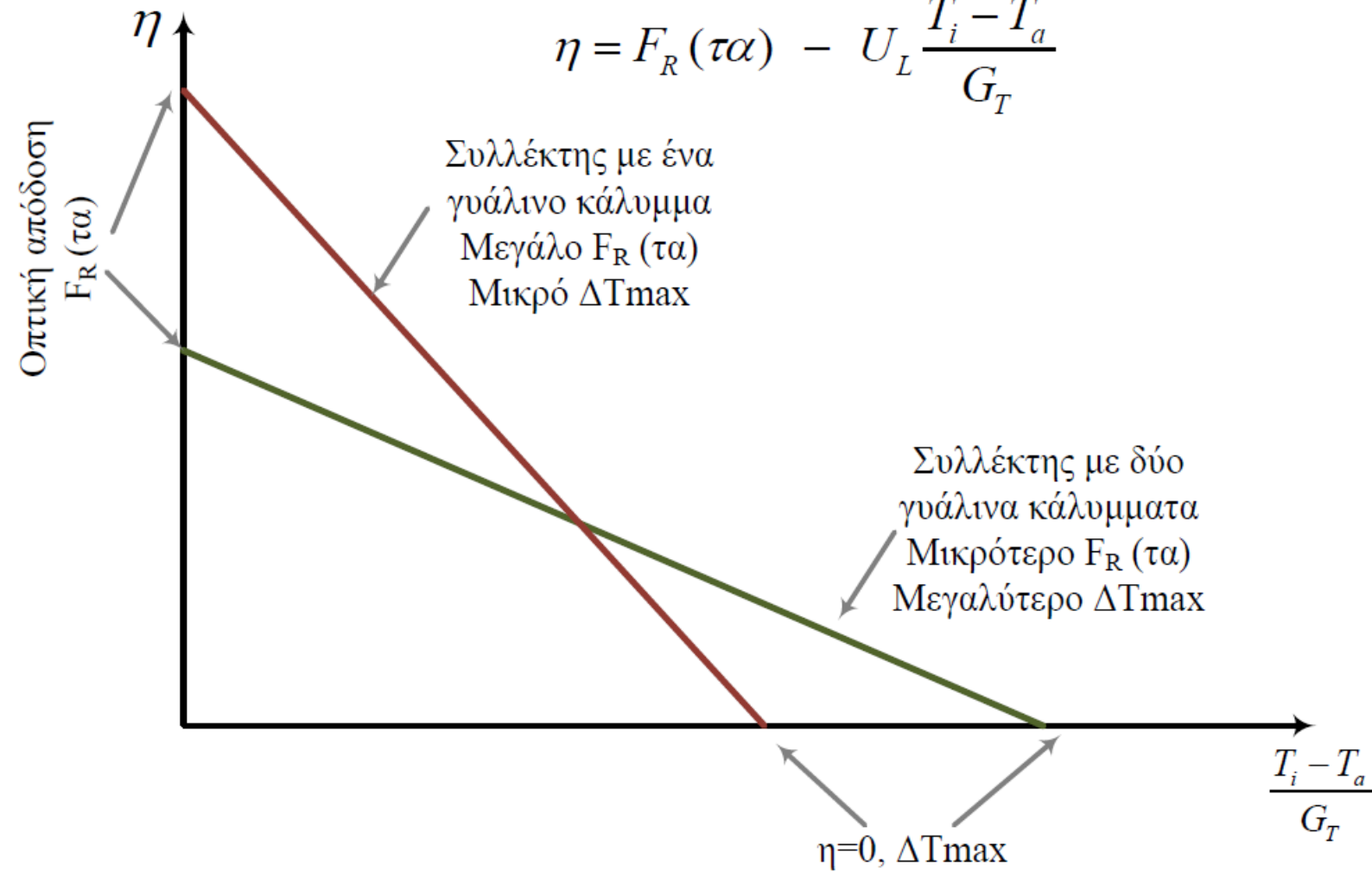
$$Q_U = \dot{m} C_p (T_o - T_i) \rightarrow \eta = \frac{\dot{m} C_p (T_o - T_i)}{A G_T}$$

Επομένως: αν $\eta=0$ τότε $m=0$ ή $T_o=T_i$

Όπου:	Απόδοση εναλλάκτη θερ/τας (F_R)	Γινόμενο διαπερατότητας-απορροφητικότητας ($\tau\alpha$)
	Θερμικές απώλειες συλλέκτη ανα επιφ. (U_L)	
	Προσπίπτουσα ακτινοβολία (G_T)	Θερμοκρασία εξόδου (T_o)
	Ρυθμός ροής νερού $\dot{m}=dm/dt$	Ειδική θερμότητα C_p

Απόδοση ηλιακού συλλέκτη

$$\eta = F_R (\tau\alpha) - U_L \frac{T_i - T_a}{G_T}$$



Εκπομπή μέλανος σώματος

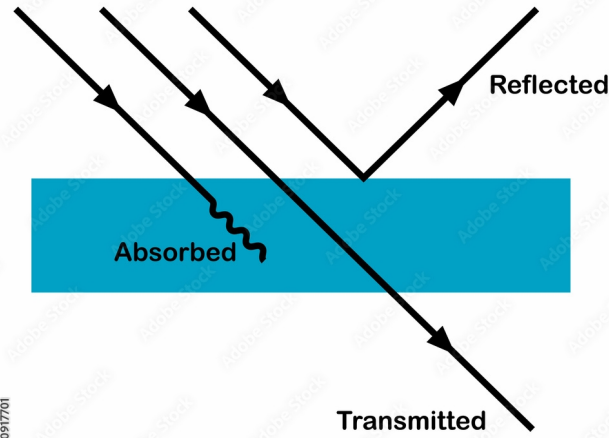
$$q = \epsilon \sigma A T^4$$

ϵ : συντελεστής εκπομπής

σ : σταθερά Stefan-Boltzmann

A : εμβαδόν επιφάνειας σώματος

T : θερμοκρασία σώματος



Πρέπει να ισχύει $\rho + \alpha + \tau = 1$ (διατήρηση της ενέργειας)

Ανάκλαση (reflection): Συντελεστής ανακλαστικότητας : ρ

Απορρόφηση (absorption): Συντελεστής απορρόφησης : α

Διάδοση (transmission): Συντελεστής διαπερατότητας : τ

Ολοκληρώνοντας $\rho + \alpha + \tau = 1$

Emissivities of some materials at 300 K

Material	Emissivity
Aluminum foil	0.07
Anodized aluminum	0.82
Polished copper	0.03
Polished gold	0.03
Polished silver	0.02
Polished stainless steel	0.17
Black paint	0.98
White paint	0.90
White paper	0.92–0.97
Asphalt pavement	0.85–0.93
Red brick	0.93–0.96
Human skin	0.95
Wood	0.82–0.92
Soil	0.93–0.96
Water	0.96
Vegetation	0.92–0.96

Ιδιότητες Ιδανικού/Επιλεκτικού απορροφητή

Συντελεστής απορρόφησης α : 100%
(όχι για όλο το φάσμα)

Συντελεστής ανακλαστικότητας ρ : 0%

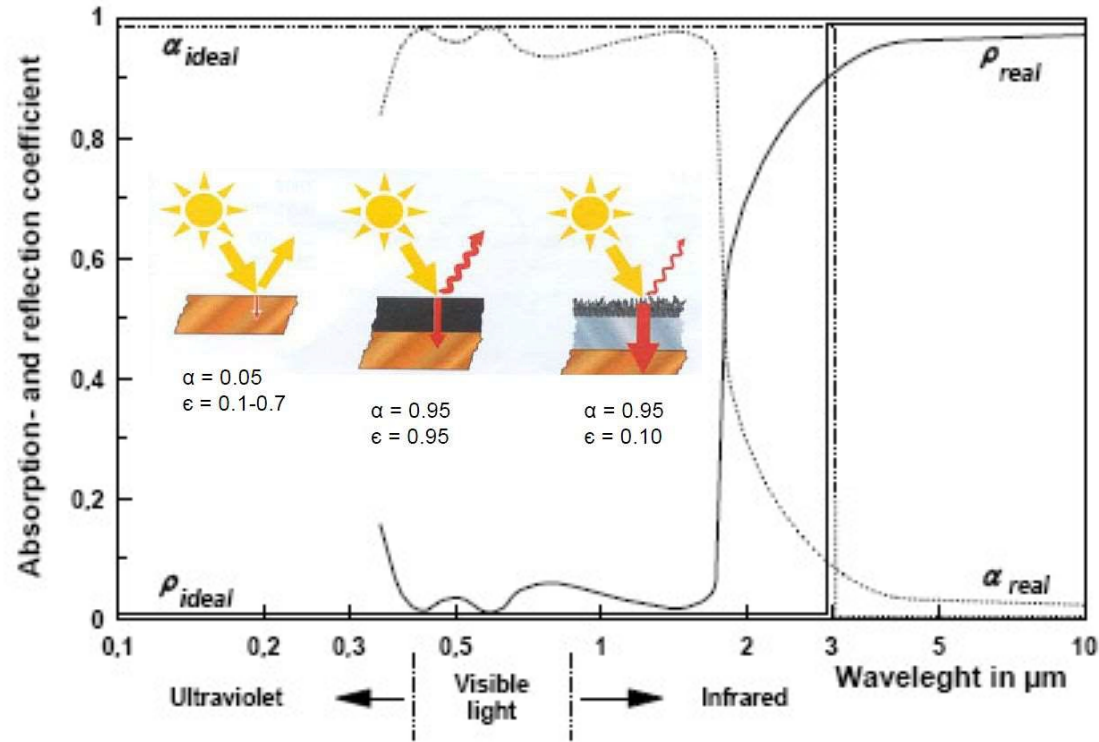
Συντελεστής διαπερατότητας τ : 0%
(για αδιαφανή υλικά)

Επιθυμητή κατάσταση
 $\alpha \rightarrow 1$, $\rho \rightarrow 0$, $\varepsilon \rightarrow 0$

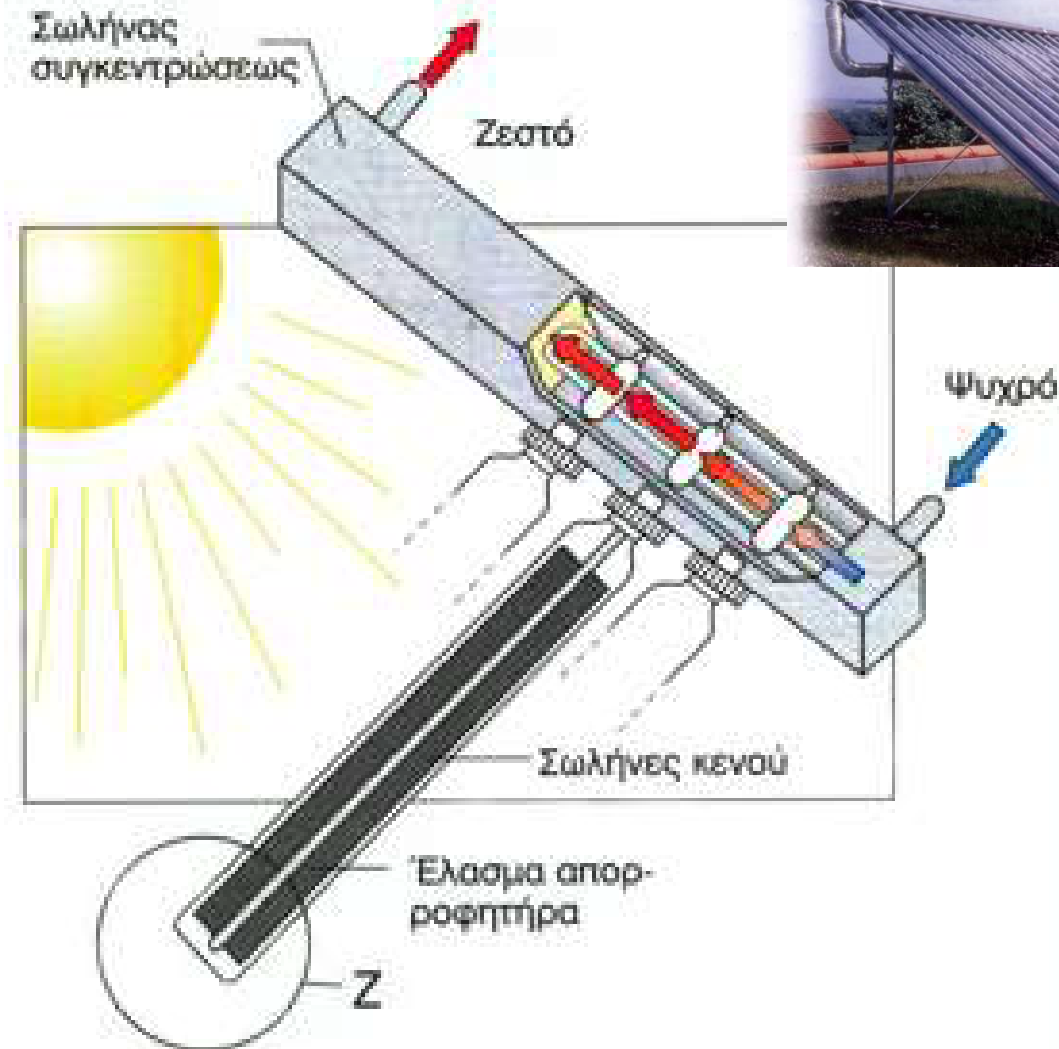
Απαιτούνται επιλεκτικές επιφάνειες ώστε να απορροφούν στο ορατό και στο κοντινό υπέρυθρο, αλλά να εκπέμπουν λίγο στο υπέρυθρο.

- Λεπτά στρώματα από π.χ. οξειδία χρωμίου, χαλκού, νικελίου πάνω στον απορροφητή
- Πάχος 50-100 μm

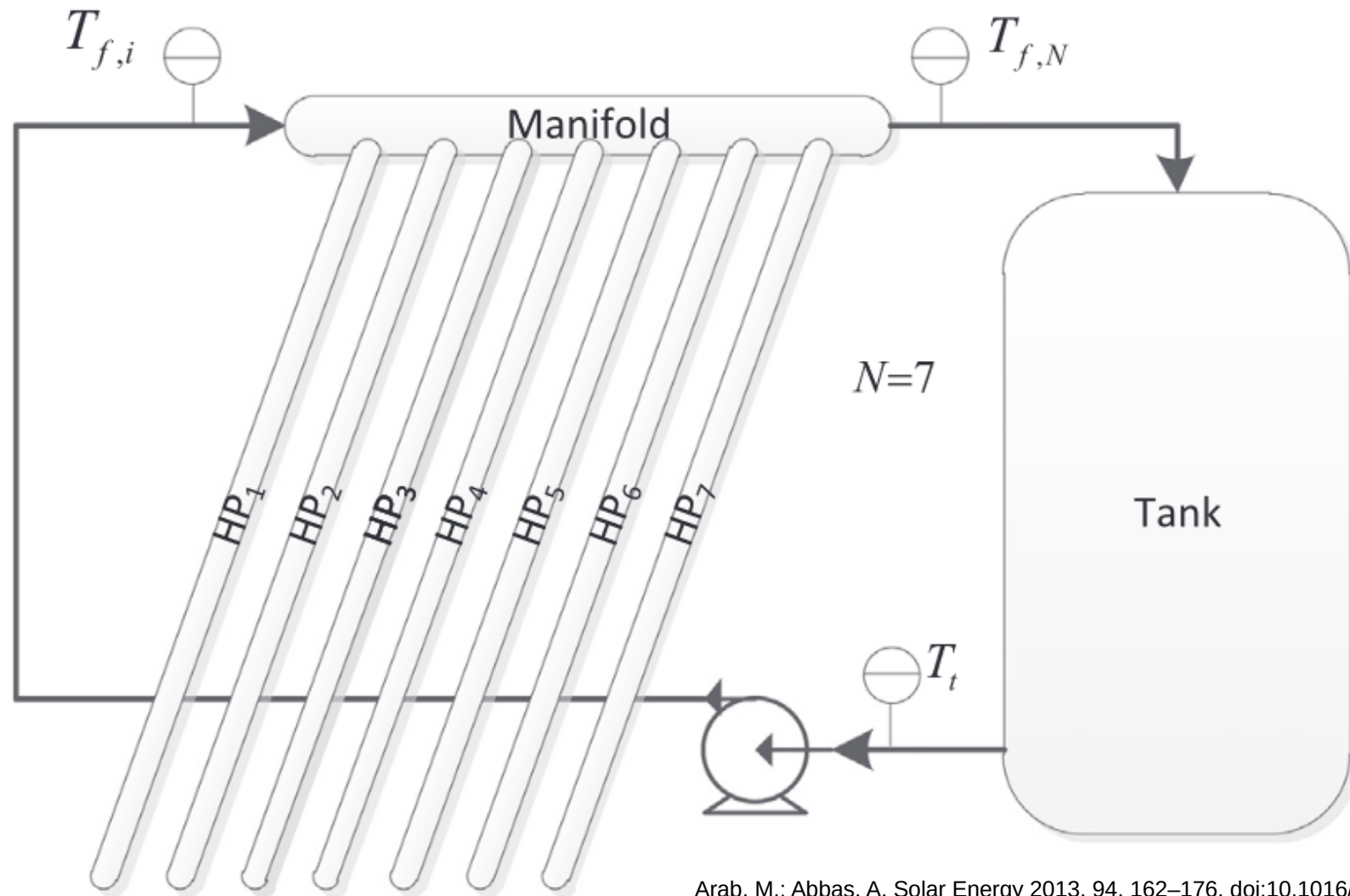
98% του ηλιακού φάσματος εκπέμπεται σε μήκη κύματος $\lambda < 3 \mu\text{m}$
1% της ακτινοβολίας μέλανος σώματος $T=500\text{K}$ εκπέμπεται σε $\lambda > 3 \mu\text{m}$
Εκπομπή = απορρόφηση = 1-ανακλαστικότητα



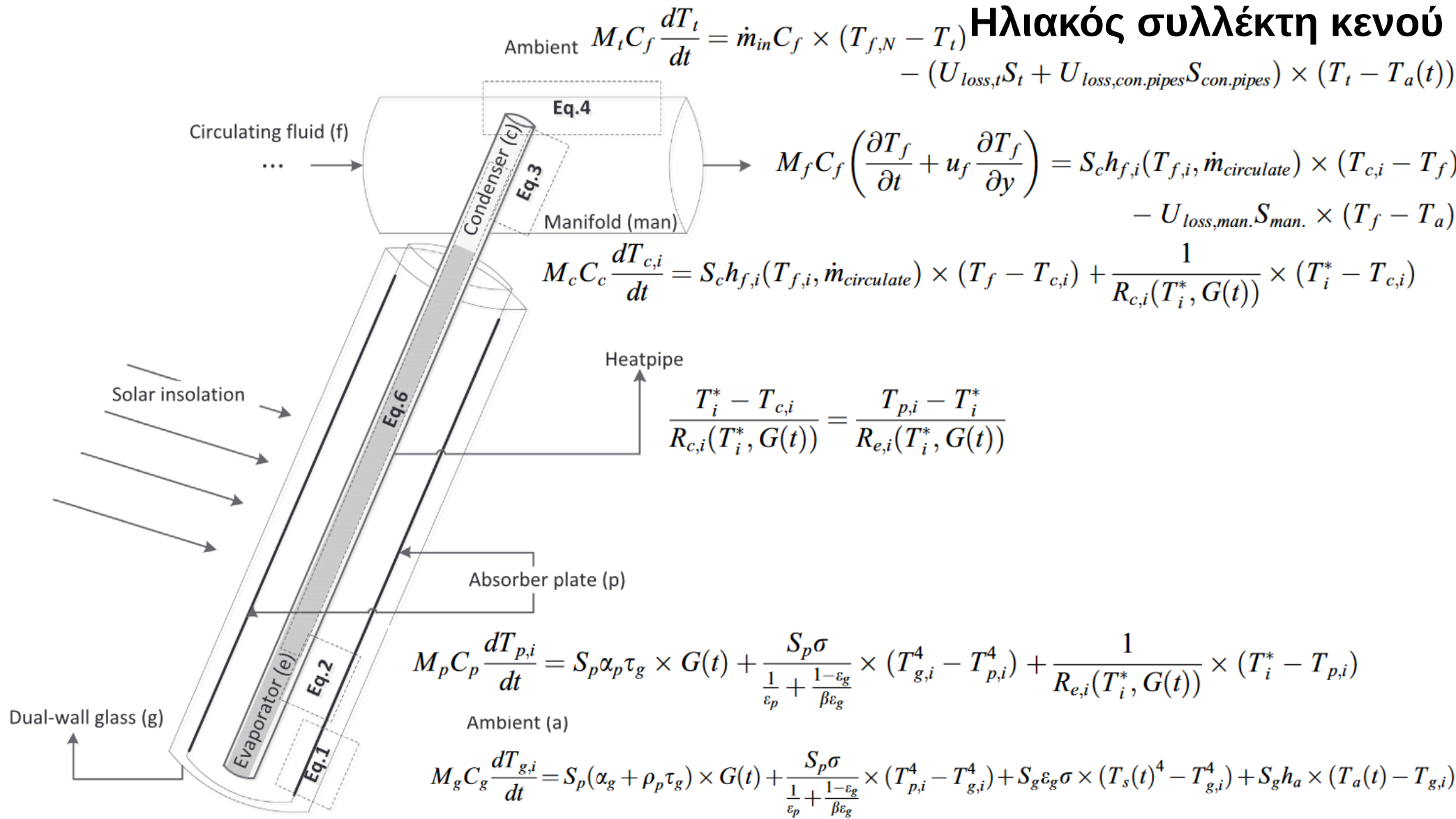
Ηλιακός συλλέκτης κενού



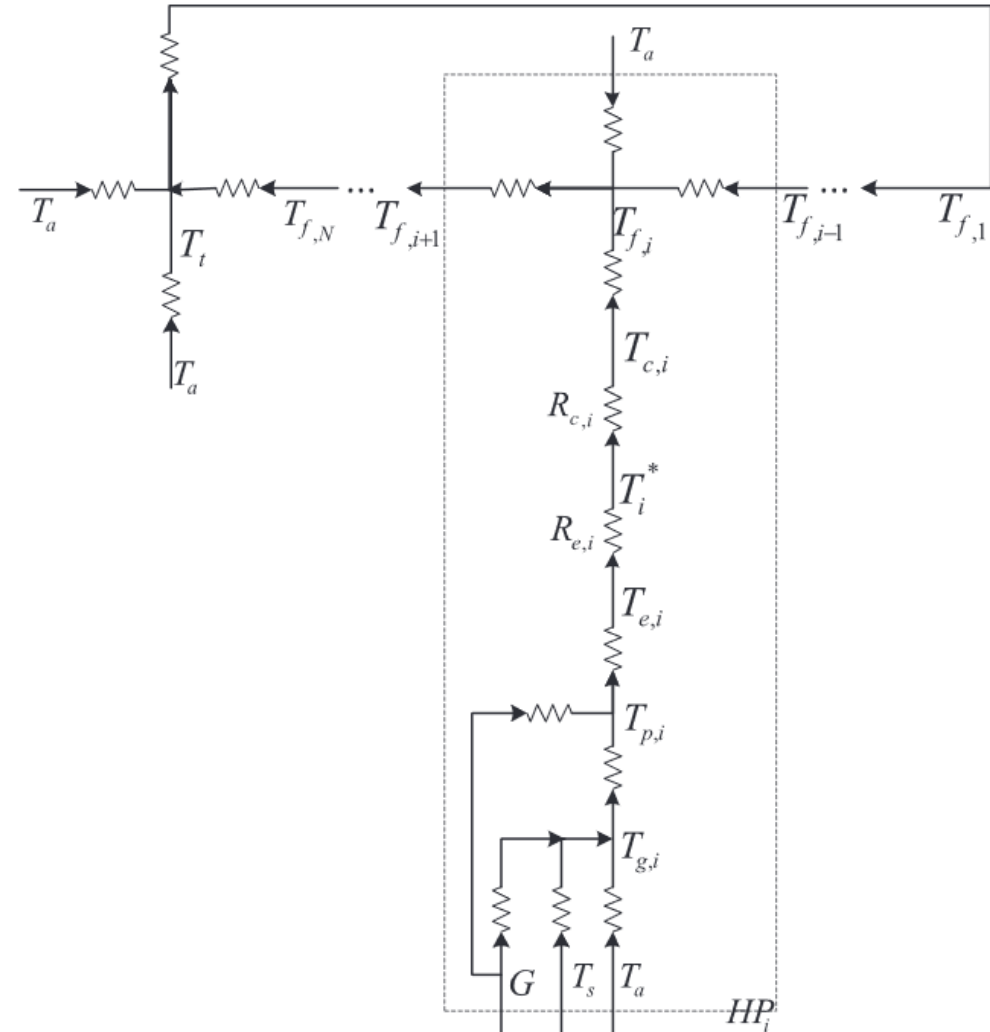
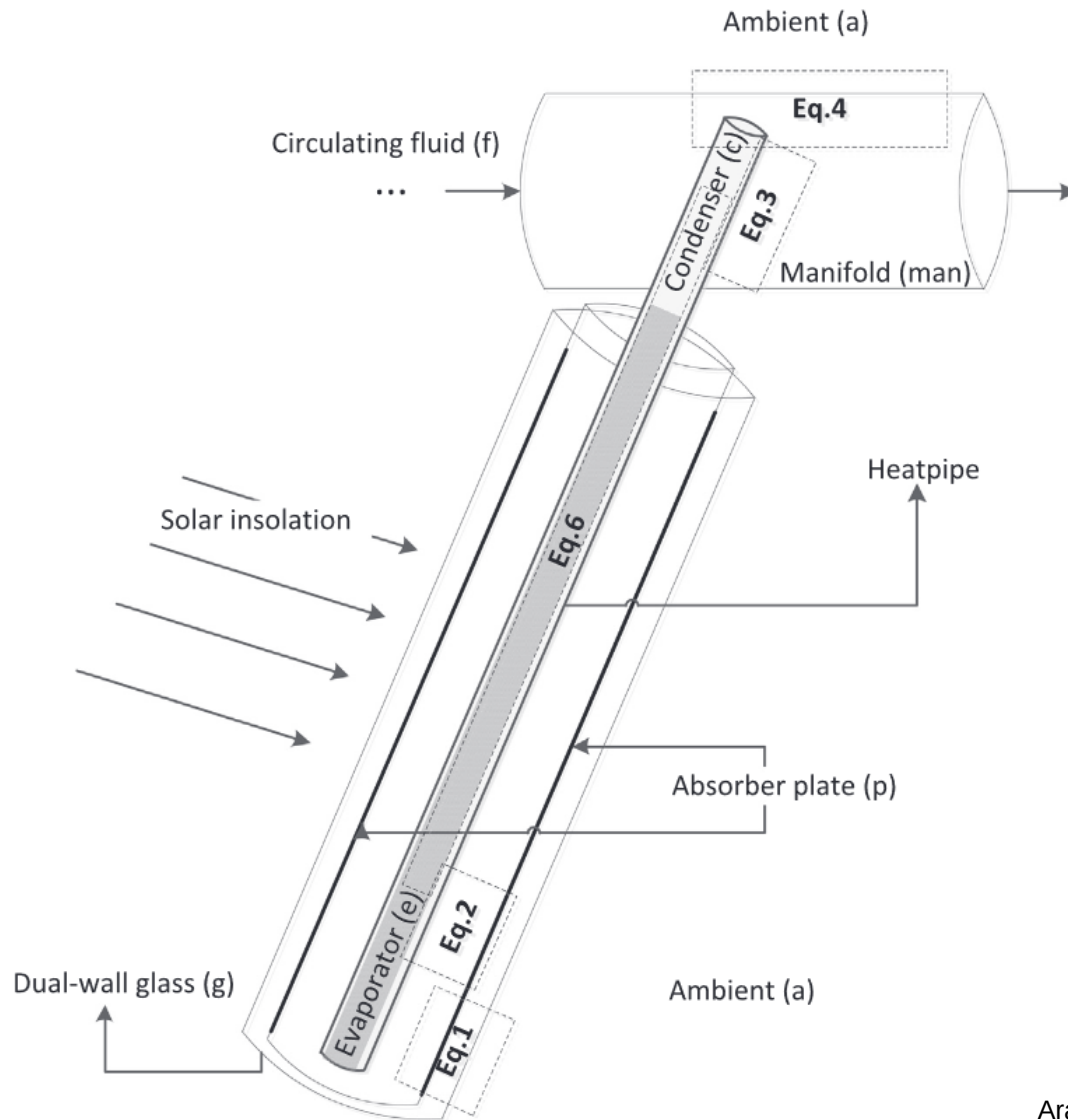
Ηλιακός συλλέκτης κενού



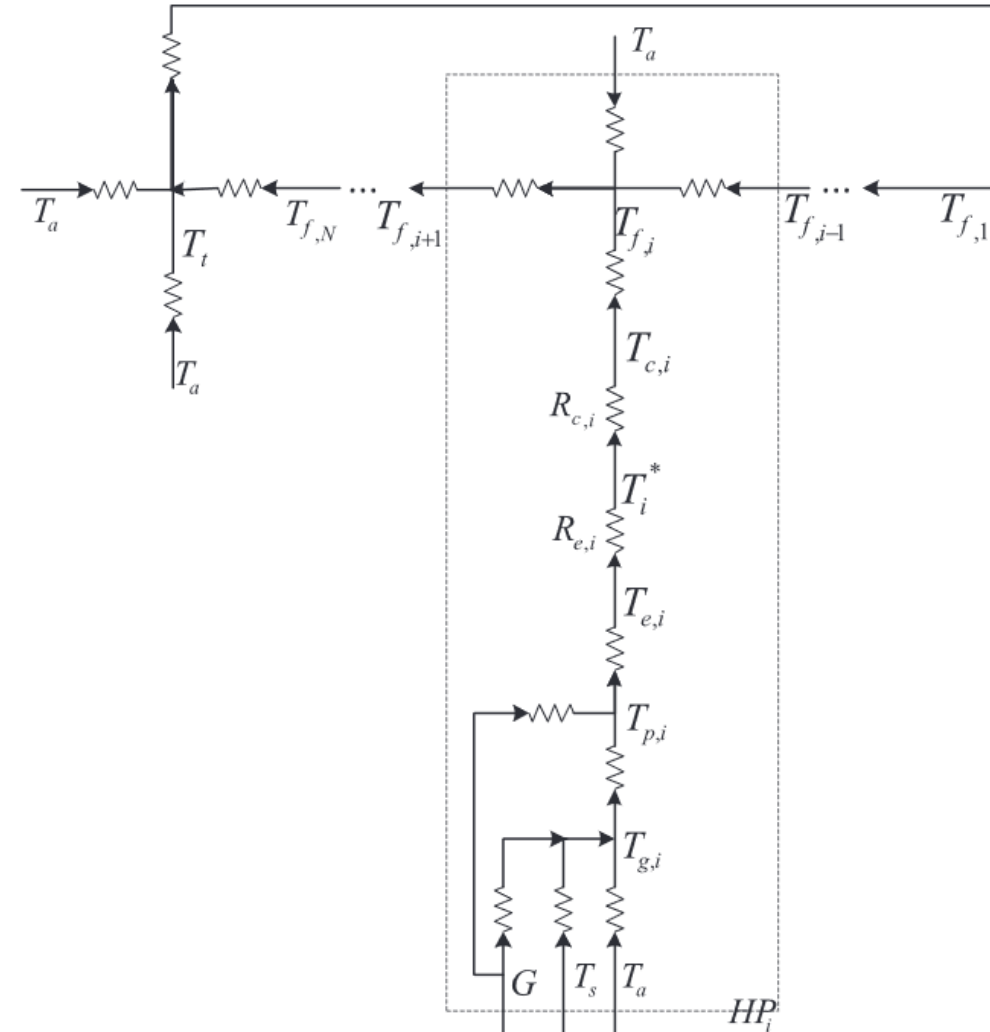
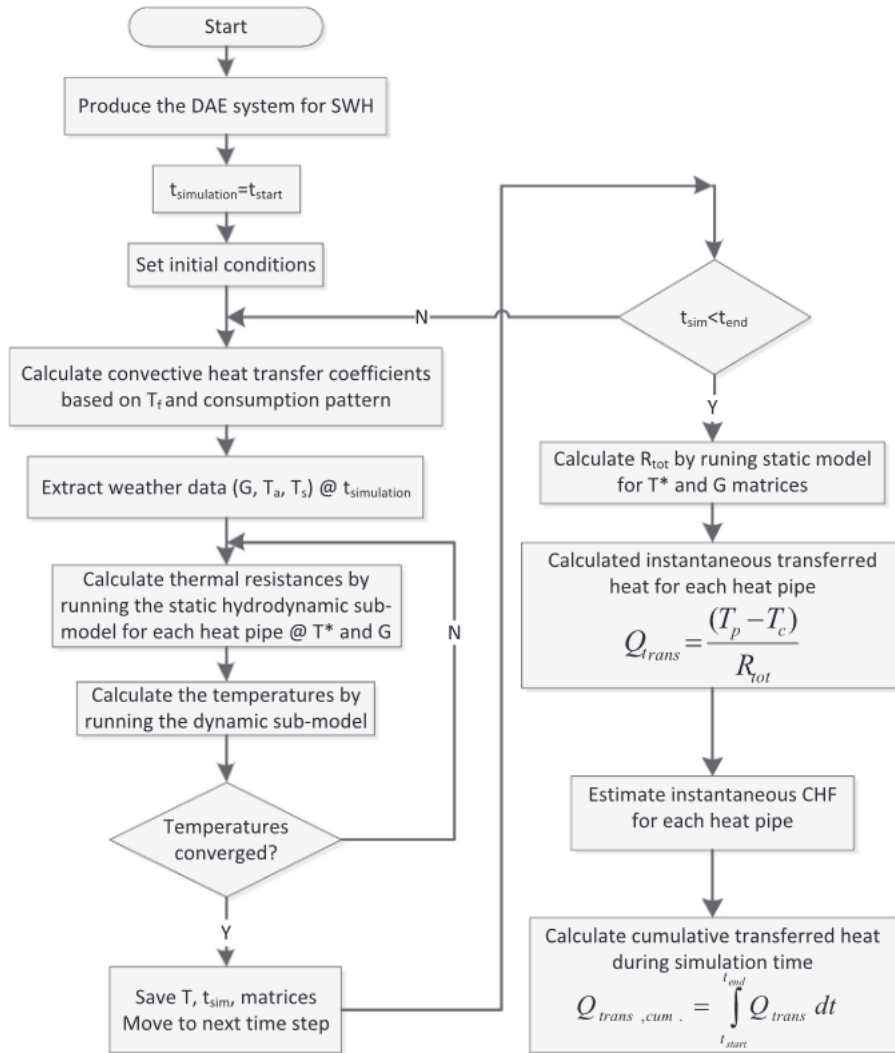
Ηλιακός συλλέκτης κενού



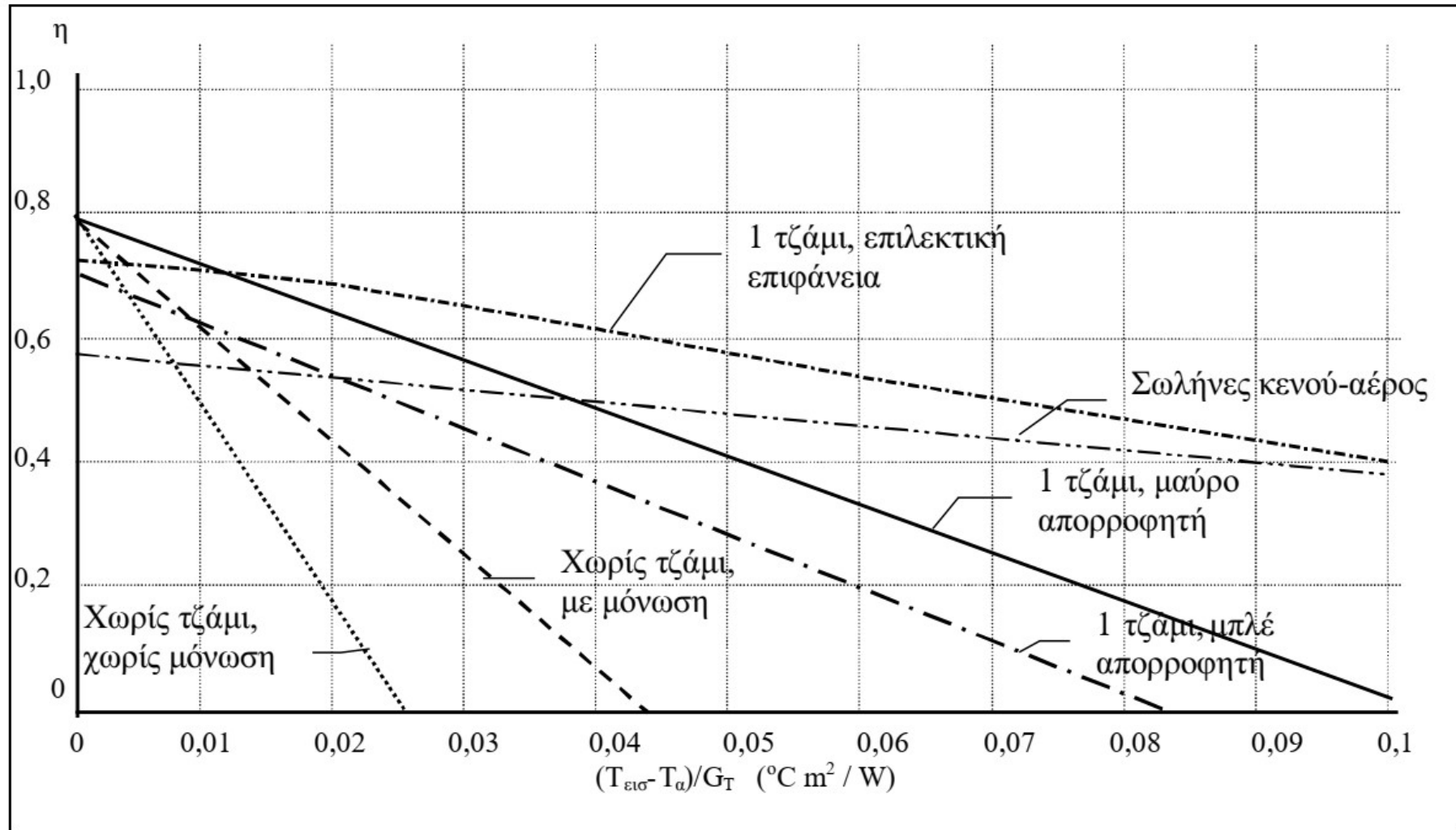
Ηλιακός συλλέκτης κενού



Ηλιακός συλλέκτη κενού



Απόδοση ηλιακού συλλέκτη



Σχήμα 2.11. Τυπικές καμπύλες απόδοσης διαφορετικών τύπων ηλιακών συλλεκτών.

Άσκηση: air solar collector

Να υπολογιστεί ο συντελεστής θερμικής απολαβής F_R και ο συντελεστής απόδοσης F' λείου συλλέκτη αέρα, με πλάτος 1m και μήκος 5m. Η παροχή αέρα ανά επιφάνεια είναι $0.7\text{m}^3/\text{min}\cdot\text{m}^2$, ενώ το ύψος καναλιού αέρα 1.5cm.

Δίνονται: $\rho_{\text{air}}=1.1\text{kg}/\text{m}^3$, $c_p=1\text{kJ}/\text{kgK}$, $\nu_{\text{air}}=1.79\times 10^{-5}\text{kg}/\text{ms}$, $U_c=5\text{W}/\text{m}^2\text{K}$, $\text{Pr}=0.72$

$$F_R = m c_p [1 - \exp(-A_c U_c F' / m c_p)] / A_c U_c$$

$$F' = h_c / h_c + U_c$$

$$h_c = \text{Nu} k / D_H = \text{Nu} c_p \nu / \text{Pr} D_H$$

$$\text{Nu} = 0.0192 \text{Re}^{0.75} \text{Pr} / [1 + 1.22 \text{Re}^{-0.125} (\text{Pr} - 2)]$$

$$\text{Pr} = c_p \nu / k$$

$$\text{Re} = \rho V D_H / \nu$$

$$D_H = 4 d L / 2(d + L)$$

$$m/A_c = \rho q / A_c$$