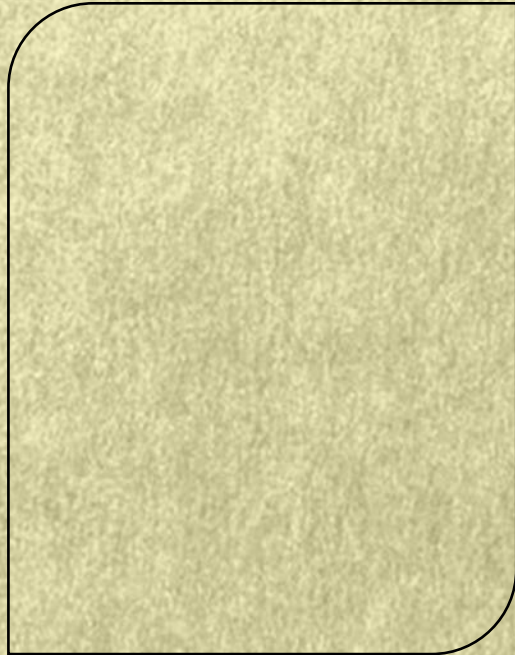


# Υβριδικοί σταθμοί θερμικής ισχύος

Εργαστήριο Σύνθεσης Ενεργειακών Συστημάτων



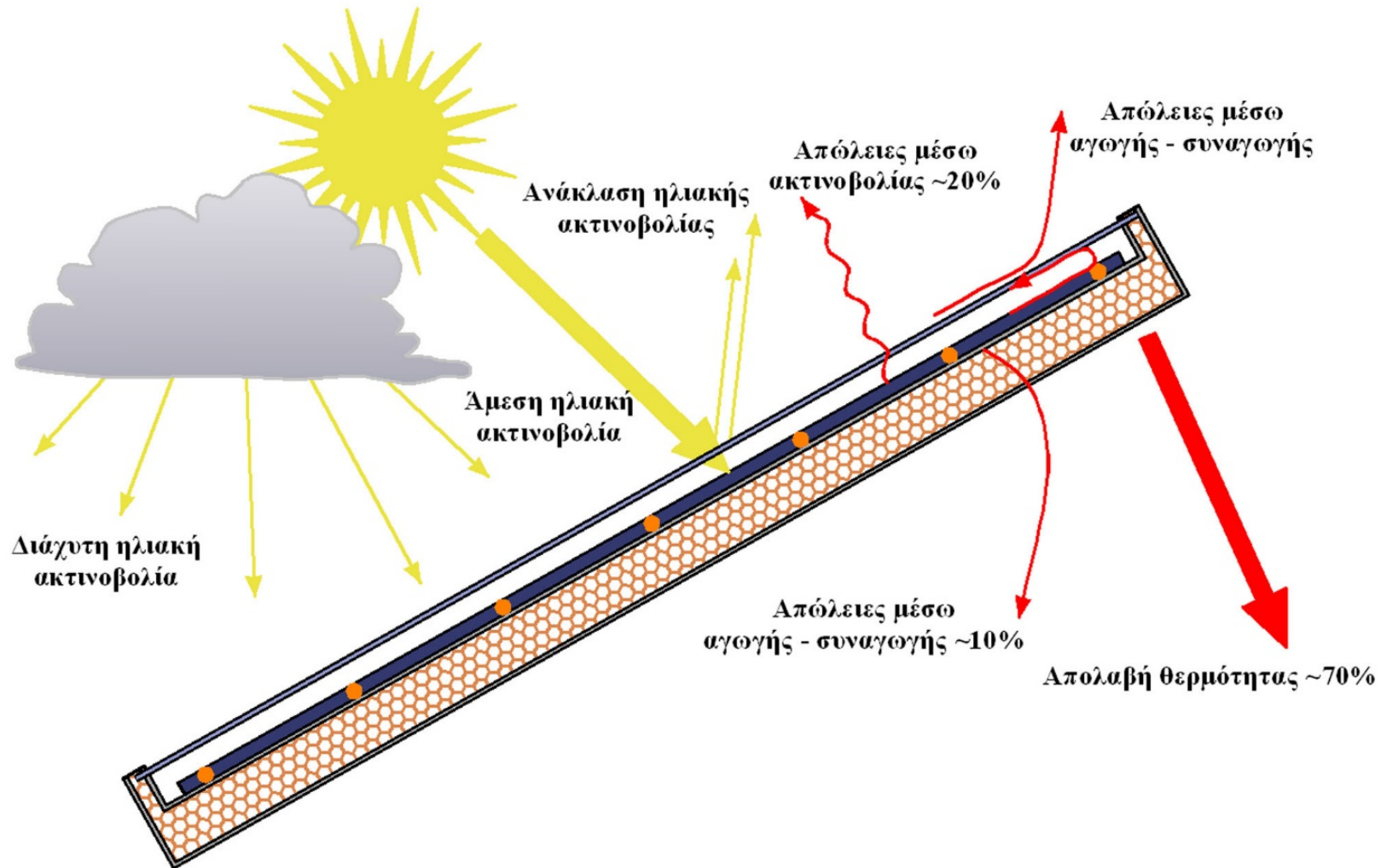
# Ενεργειακή ανάλυση επίπεδου ηλιακού συλλέκτη

# Ενεργειακή ανάλυση επίπεδου ηλιακού συλλέκτη

Σε ένα ηλιακό συλλέκτη υφίστανται οι ακόλουθες ροές ενέργειας:

- μεταφορά θερμότητας μέσω ηλιακής ακτινοβολίας από το περιβάλλον προς την απορροφητική πλάκα του συλλέκτη
- μεταφορά θερμότητας από την απορροφητική πλάκα προς το εσωτερικό του συλλέκτη και το διαφανές κάλυμμα
- μεταφορά θερμότητας από τη βάση, τις πλευρικές επιφάνειες και το διαφανές κάλυμμα του συλλέκτη προς το περιβάλλον, μέσω ακτινοβολίας και αγωγής – συναγωγής.

# Ενεργειακή ανάλυση επίπεδου ηλιακού συλλέκτη



# Ενεργειακή ανάλυση επίπεδου ηλιακού συλλέκτη

Η παραγωγή θερμικής ισχύος από επίπεδους ηλιακούς συλλέκτες και συλλέκτες χωρίς κάλυμμα δίνεται από τη σχέση:

$$\dot{Q} = A_c \cdot F_R \cdot [G_t \cdot (\tau \cdot \alpha) - U_L \cdot (T_{fi} - T_a)]$$

όπου

$A_c$  : η ενεργή (effective) επιφάνεια του ηλιακού συλλέκτη σε  $m^2$

$F_R$  : ο συντελεστής απωλειών θερμικής ισχύος από το συλλέκτη προς το περιβάλλον ή διορθωτικός συντελεστής (heat removal factor – correction factor)

$G_t$  : η ολική διαθέσιμη ηλιακή ακτινοβολία στο συλλέκτη, σε  $W/m^2$

$\tau \cdot \alpha$  : το γινόμενο συντελεστή διαπερατότητας του καλύμματος επί το συντελεστή απορροφητικότητας της πλάκας του ηλιακού συλλέκτη (transmittance – absorbance product)

## Ενεργειακή ανάλυση επίπεδου ηλιακού συλλέκτη

$$\dot{Q} = A_c \cdot F_R \cdot [G_t \cdot (\tau \cdot \alpha) - U_L \cdot (T_{fi} - T_a)]$$

όπου

$G_t \cdot (\tau \cdot \alpha)$  : η τελική, καθαρή απορρόφηση ηλιακής ακτινοβολίας από το συλλέκτη, σε  $W/m^2$

$U_L$  : ο συντελεστής θερμικής διαπερατότητας για τη μεταφορά θερμότητας από το συλλέκτη προς το περιβάλλον σε  $W/(m^2 \cdot K)$

$T_{fi}$  : η θερμοκρασία εισαγωγής του εργαζόμενου μέσου στο συλλέκτη σε  $^{\circ}C$

$T_a$  : η θερμοκρασία αέρα περιβάλλοντος σε  $^{\circ}C$ .

## Ο συντελεστής απωλειών θερμικής ισχύος $F_R$

- Ο συντελεστής απωλειών θερμικής ισχύος  $F_R$  ορίζεται ως ο λόγος της πραγματικής παραγωγής θερμικής ισχύος από τον ηλιακό συλλέκτη προς τη θερμική ισχύ που θα παραγόταν, αν η θερμοκρασία του εργαζόμενου μέσου εντός του συλλέκτη ήταν σταθερή και ομοιόμορφη και ίση με τη θερμοκρασία εισόδου του σε αυτόν  $T_i$ .
- Ο συντελεστής απωλειών θερμικής ισχύος εξαρτάται από τα χαρακτηριστικά του ηλιακού συλλέκτη, τον τύπο και την παροχή του εργαζόμενου μέσου, σύμφωνα με την ακόλουθη σχέση:

$$F_R = \frac{\dot{m} \cdot c_p}{A_c \cdot U_L} \cdot \left[ 1 - \exp\left( -\frac{A_c \cdot U_L \cdot F'}{\dot{m} \cdot c_p} \right) \right]$$

## Ο συντελεστής απωλειών θερμικής ισχύος $F_R$

$$F_R = \frac{\dot{m} \cdot c_p}{A_c \cdot U_L} \cdot \left[ 1 - \exp\left(-\frac{A_c \cdot U_L \cdot F'}{\dot{m} \cdot c_p}\right) \right]$$

όπου

- $\dot{m}$  : η παροχή μάζας του εργαζόμενου μέσου εντός του συλλέκτη σε kg/s  
 $c_p$  : η ειδική θερμοχωρητικότητα του εργαζόμενου μέσου σε kJ/(kg·K)  
 $F'$  : ο συντελεστής απόδοσης του ηλιακού συλλέκτη (collector efficiency factor).

## Ο συντελεστής απωλειών θερμικής ισχύος $F_R$

- Ο συντελεστής απόδοσης του ηλιακού συλλέκτη  $F'$  ορίζεται ως ο λόγος της πραγματικά παραγόμενης θερμικής ισχύος προς τη θερμική ισχύ που θα παραγόταν, αν η θερμοκρασία της απορροφητικής επιφάνειας του συλλέκτη ήταν ίση με τη θερμοκρασία του εργαζόμενου μέσου εντός του συλλέκτη.
- Για επίπεδους ηλιακούς συλλέκτες ο συντελεστής απόδοσης  $F'$  δίνεται από τη σχέση:

$$F' = \frac{\frac{1}{U_L}}{W \cdot \left[ \frac{1}{U_L \cdot [D + (W - D) \cdot F]} + \frac{1}{C_b} + \frac{1}{\pi \cdot D_i \cdot h_{fi}} \right]}$$

## Ο συντελεστής απωλειών θερμικής ισχύος $F_R$

$$F' = \frac{\frac{1}{U_L}}{W \cdot \left[ \frac{1}{U_L \cdot [D + (W - D) \cdot F]} + \frac{1}{C_b} + \frac{1}{\pi \cdot D_i \cdot h_{fi}} \right]}$$

όπου

$W$  : η απόσταση ανάμεσα σε δύο διαδοχικές σωληνώσεις του συλλέκτη σε m

$D$  : η εξωτερική διάμετρος των σωληνώσεων του συλλέκτη σε m

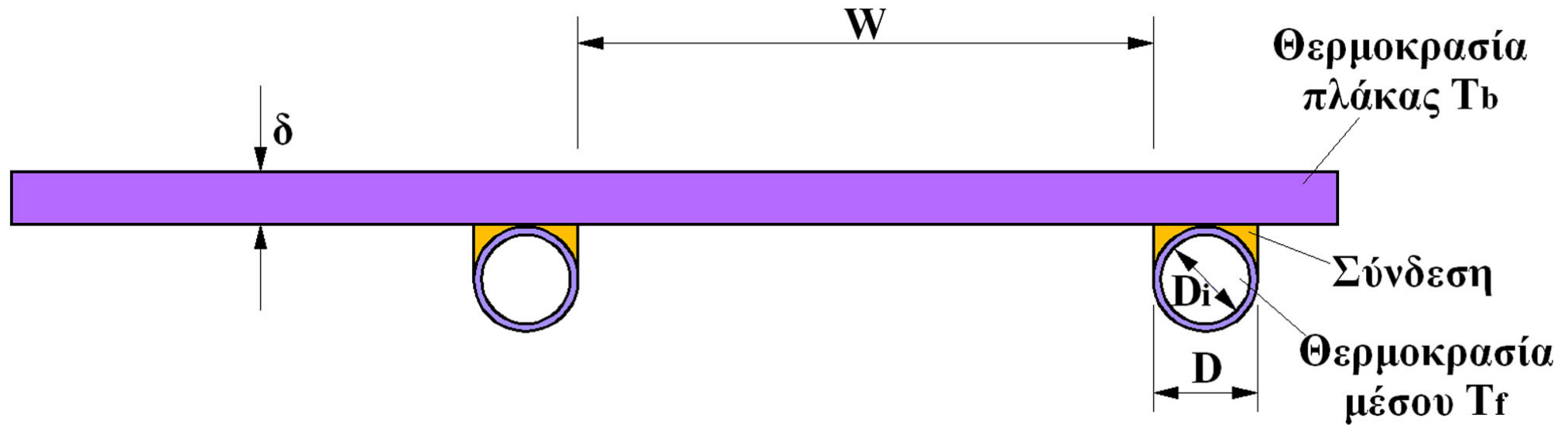
$D_i$  : η εσωτερική διάμετρος των σωληνώσεων του συλλέκτη σε m

$F$  : η απόδοση της απορροφητικής πλάκας (standard fin efficiency)

$C_b$  : η αγωγιμότητα της σύνδεσης των σωληνώσεων του ηλιακού συλλέκτη στην απορροφητική επιφάνεια

$h_{fi}$  : ο συντελεστής συναγωγής μεταφοράς θερμότητας από το εργαζόμενο μέσο προς τις σωληνώσεις του ηλιακού συλλέκτη σε  $W/(m^2 \cdot K)$ .

# Ο συντελεστής απωλειών θερμικής ισχύος $F_R$



## Ο συντελεστής απωλειών θερμικής ισχύος $F_R$

- Η απόδοση απορροφητικής πλάκας  $F$  δίνεται από την ακόλουθη σχέση:

$$F = \frac{\tanh\left[\frac{m \cdot (W - D)}{2}\right]}{\frac{m \cdot (W - D)}{2}}$$

όπου η παράμετρος  $m$  ορίζεται συναρτήσει του συντελεστή θερμικής αγωγιμότητας  $k$  και του πάχους της πλάκας  $\delta$  από τη σχέση:

$$m = \sqrt{\frac{U_L}{k \cdot \delta}}$$

## Ο συντελεστής απωλειών θερμικής ισχύος $F_R$

- Η αγωγιμότητα της σύνδεσης των σωληνώσεων του συλλέκτη με την απορροφητική πλάκα μπορεί να εκτιμηθεί από τη σχέση:

$$C_b = \frac{k_b \cdot b}{\gamma}$$

όπου:

$k_b$ : ο συντελεστής θερμικής αγωγιμότητας του υλικού της σύνδεσης σε  $W/(m \cdot K)$

$b$ : το πλάτος της σύνδεσης σε  $m$

$\gamma$ : το πάχος της σύνδεσης σε  $m$ .

## Ο συντελεστής θερμικής διαπερατότητας $U_L$

- Στην περίπτωση επίπεδων ηλιακών ο συνολικός συντελεστής θερμικής διαπερατότητας  $U_L$  αποτελεί σύνθετη συνάρτηση των κατασκευαστικών χαρακτηριστικών στοιχείων του συλλέκτη και των συνθηκών λειτουργίας του. Στη γενική περίπτωση δίνεται από τη σχέση:

$$U_L = U_t + U_b + U_e$$

όπου οι δείκτες  $t$ ,  $b$  και  $e$  υποδηλώνουν απώλειες θερμικής ισχύος από την κορυφή του συλλέκτη μέσω του διαφανούς καλύμματος, από τη βάση και από τις πλάγιες επιφάνειες αντίστοιχα ( $t$  – top,  $b$  – bottom,  $e$  – edges thermal loss).

- Λόγω της θερμομόνωσης του ηλιακού συλλέκτη στις πλάγιες επιφάνειες και στη βάση του, οι απώλειες θερμικής ισχύος από τις επιφάνειες αυτές αντιστοιχούν περίπου στο 10% των συνολικών απωλειών θερμότητας από τον ηλιακό συλλέκτη προς το περιβάλλον.

# Ο συντελεστής θερμικής διαπερατότητας $U_L$

- Ο συντελεστής θερμικής διαπερατότητας από την κορυφή του ηλιακού συλλέκτη δίνεται από τη σχέση:

$$U_t = \frac{1}{\frac{N}{\frac{C}{T_b} \cdot \left( \frac{T_{pm} - T_a}{N + f} \right)^e + \frac{1}{h_t}} + \frac{\sigma \cdot (T_{pm} + T_a) \cdot (T_{pm}^2 + T_a^2)}{\frac{1}{\varepsilon_p + 0,00591 \cdot N \cdot h_t} + \frac{2 \cdot N + f - 1 + 0,133 \cdot \varepsilon_p}{\varepsilon_g} - N}$$

# Ο συντελεστής θερμικής διαπερατότητας $U_L$

όπου:

$N$  : ο αριθμός των προστατευτικών διαφανών καλυμμάτων του ηλιακού συλλέκτη

$h_t$  : ο συντελεστής θερμικής μετάβασης του αέρα από την κορυφή του συλλέκτη σε  $W/(m^2 \cdot K)$

$T_{pm}$  : η μέση θερμοκρασία της απορροφητικής πλάκας σε  $K$

$T_a$  : η μέση θερμοκρασία του αέρα περιβάλλοντος σε  $K$

$\varepsilon_g$  : ο συντελεστής εκπομπής ακτινοβολίας του υλικού του διαφανούς καλύμματος του ηλιακού συλλέκτη

$\varepsilon_p$  : ο συντελεστής εκπομπής ακτινοβολίας του υλικού της απορροφητικής πλάκας του ηλιακού συλλέκτη

$C, f, e$  : εμπειρικές παράμετροι.

## Ο συντελεστής θερμικής διαπερατότητας $U_L$

Η παράμετρος  $C$  δίνεται από τη σχέση:

$$C = 520 \cdot (1 - 0,000051 \cdot \beta^2)$$

όπου  $\beta$  η κλίση εγκατάστασης του ηλιακού συλλέκτη.

Η ανωτέρω σχέση ισχύει για τιμές κλίσης εγκατάστασης από  $0^\circ$  έως  $70^\circ$ . Στην περίπτωση που η κλίση εγκατάστασης του ηλιακού συλλέκτη είναι μεγαλύτερη από τις  $70^\circ$ , τότε η τιμή της παραμέτρου  $C$  προκύπτει από την ανωτέρω σχέση για  $\beta = 70^\circ$ .

## Ο συντελεστής θερμικής διαπερατότητας $U_L$

Η παράμετρος  $f$  δίνεται από τη σχέση:

$$f = (1 + 0,089 \cdot h_t - 0,1166 \cdot h_t \cdot \varepsilon_p) \cdot (1 + 0,07866 \cdot N)$$

Η παράμετρος  $e$  δίνεται από τη σχέση:

$$e = 0,430 \cdot \left( 1 - \frac{100}{T_{pm}} \right)$$

## Ο συντελεστής θερμικής διαπερατότητας $U_L$

Η μέση θερμοκρασία της απορροφητικής πλάκα  $T_{pm}$  σε βαθμούς Κ μπορεί να υπολογιστεί από τη σχέση:

$$T_{pm} = T_{fi} + \frac{\dot{Q}/A_c}{F_R \cdot U_L} \cdot (1 - F_R)$$

όπου  $T_{fi}$  η θερμοκρασία εισόδου του εργαζόμενου μέσου στον ηλιακό συλλέκτη.

## Ο συντελεστής θερμικής διαπερατότητας $U_L$

- Οι συντελεστές θερμικής διαπερατότητας από τη βάση και τις πλάγιες επιφάνειες του ηλιακού συλλέκτη δίνονται μέσω των κλασικών σχέσεων μεταφοράς θερμότητας με αγωγή, συναγωγή και ακτινοβολία. Στη γενική περίπτωση μπορούν να θεωρηθούν σταθερές και ίσοι με :

$$U_{e,b} = \frac{1}{\frac{t_{e,b}}{k_{e,b}} + \frac{1}{h_{e,b}}}$$

όπου:

$t_{e,b}$  : το πάχος της μόνωσης στις πλάγιες επιφάνειες και στη βάση του συλλέκτη σε m

$k_{e,b}$  : ο συντελεστής θερμικής αγωγιμότητας της μόνωσης σε  $W/(m \cdot K)$

$h_{e,b}$  : ο συντελεστής θερμικής μετάβασης της μόνωσης σε  $W/(m^2 \cdot K)$ .

# Αναγκαιότητα επαναληπτικών υπολογισμών

- Από τις παραπάνω σχέσεις φαίνεται ότι για τον υπολογισμό διαφόρων μεγεθών που απαιτούνται για τον υπολογισμό του συντελεστή  $F_R$ , είναι απαραίτητη η γνώση μεγεθών που αναμένονται ως αποτελέσματα από την παραπάνω διαδικασία.
- Για παράδειγμα, για τον υπολογισμό της ωφέλιμης θερμικής ισχύος του ηλιακού συλλέκτη, απαιτείται ο υπολογισμός της μέσης θερμοκρασίας της απορροφητικής πλάκας  $T_{pm}$ . Όμως στη σχέση υπολογισμού της  $T_{pm}$ , η απολαμβανόμενη θερμική ισχύς από το συλλέκτη απαιτείται ως δεδομένο.
- Είναι προφανές ότι σε αυτές τις περιπτώσεις θα πρέπει να εκτελεσθεί επαναληπτική διαδικασία επίλυσης του προβλήματος, κάνοντας αρχικές υποθέσεις για κάποια από τα εμπλεκόμενα μεγέθη και επαληθεύοντάς τις κατά τον επαναληπτικό υπολογισμό.

# Το γινόμενο διαπερατότητας - απορροφητικότητας

- Ο τελευταίος παράγοντας που απαιτείται για τον υπολογισμό της τελικής παραγωγής θερμικής ισχύος από τον ηλιακό συλλέκτη είναι το γινόμενο  $G_t \cdot (\tau \cdot \alpha)$ , το οποίο περιγράφει την τελική, καθαρή απορρόφηση ηλιακής ακτινοβολίας από το συλλέκτη, σε  $W/m^2$ .
- Ο όρος  $G_t$  αναφέρεται στην ολική προσπίπτουσα ηλιακή ακτινοβολία στον ηλιακό συλλέκτη. Ο όρος αυτός αποτελεί το αποτέλεσμα της ολικής διαθέσιμης ηλιακής ακτινοβολίας στο οριζόντιο επίπεδο και στη θέση εγκατάστασης, η οποία μετριέται με πυρανόμετρα, της καθαρότητας της ατμόσφαιρας, του τύπου των περιβαλλουσών επιφανειών την υπό μελέτη επιφάνεια, της θέσης και του προσανατολισμού εγκατάστασης του ηλιακού συλλέκτη. Δύναται να υπολογιστεί με ακρίβεια, ακολουθώντας την αναλυτική μεθοδολογία, που βασίζεται σε έννοιες ηλιακής γεωμετρίας και ακτινοβολίας.

# Το γινόμενο διαπερατότητας - απορροφητικότητας

- Το γινόμενο των συντελεστών διαπερατότητας και απορροφητικότητας του ηλιακού συλλέκτη θα πρέπει να λαμβάνεται ως ένα αδιαίρετο μέγεθος, που αναφέρεται στο συνδυασμό καλύμματος και απορροφητικής πλάκας συλλέκτη, και όχι ως το γινόμενο δύο διαφορετικών ιδιοτήτων.
- Αν θεωρήσουμε ότι το διαφανές κάλυμμα του ηλιακού συλλέκτη έχει συντελεστή διαπερατότητας  $\tau$  σε συγκεκριμένη γωνία πρόσπτωσης, και η απορροφητική πλάκα έχει συντελεστή απορροφητικότητας  $\alpha$ , τότε από την ολική προσπίπτουσα ηλιακή ακτινοβολία  $G_t$  στο συλλέκτη, ένα μέρος αυτής ίσο με  $G_t \cdot \tau$  διαπερνάει το διαφανές κάλυμμα, και ένα μέρος από την ακτινοβολία που διαπερνάει το κάλυμμα απορροφάται από την πλάκα, το οποίο εκτιμάται σε  $G_t \cdot \tau \cdot \alpha$ .

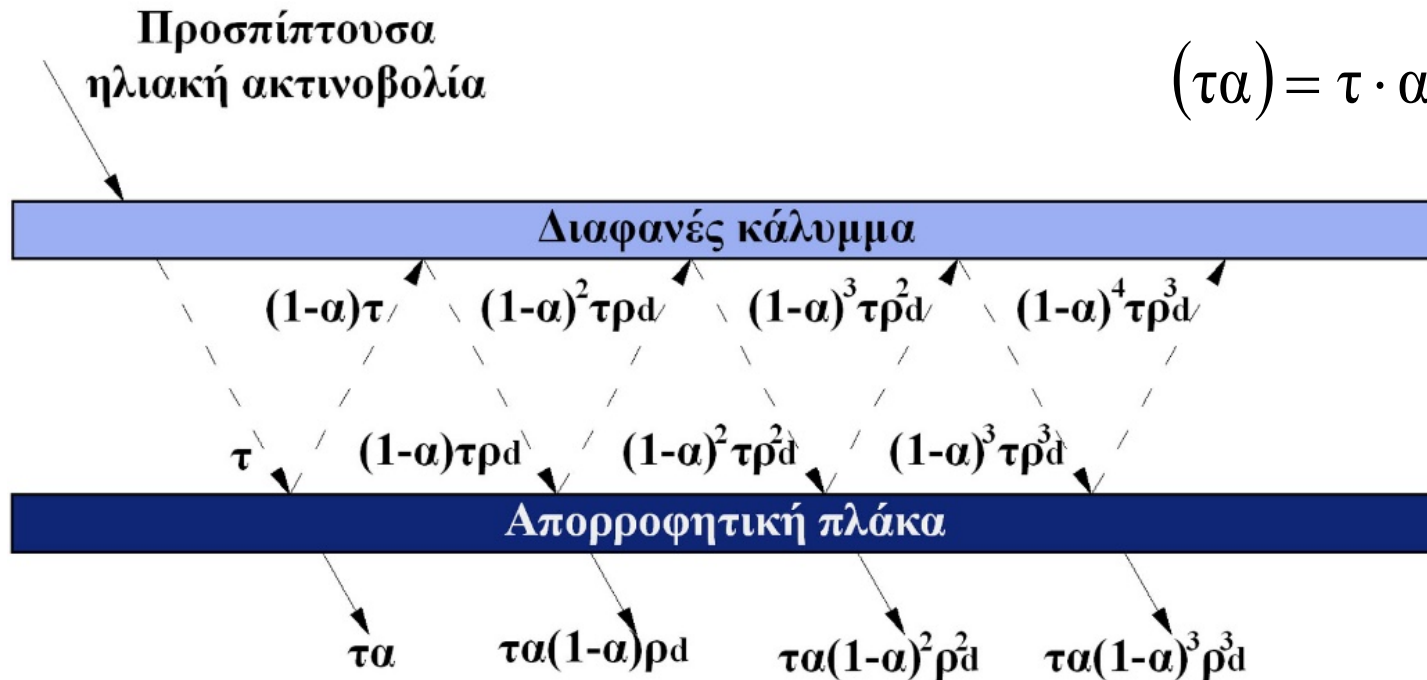
# Το γινόμενο διαπερατότητας - απορροφητικότητας

- Το ποσοστό  $\tau \cdot (1-\alpha)$  της ηλιακής ακτινοβολίας που έχει διαπεράσει το κάλυμμα και δεν έχει απορροφηθεί από την πλάκα επιστρέφεται προς το διαφανές κάλυμμα.
- Ένα ποσοστό  $\tau \cdot (1-\alpha) \cdot \rho_d$  όμως από την ακτινοβολία που επιστρέφεται από την πλάκα προς το διαφανές κάλυμμα δε διαφεύγει του ηλιακού συλλέκτη, αλλά ανακλάται από το κάλυμμα πίσω προς την απορροφητική πλάκα, η οποία θα απορροφήσει επιπλέον ένα μέρος της ανακλώμενης από το κάλυμμα ακτινοβολίας και ούτω καθεξής.
- Το μέγεθος  $\rho_d$  είναι ο συντελεστής ανακλαστικότητας του καλύμματος του συλλέκτη για τη διάχυτη ακτινοβολία που ανακλάται από την απορροφητική πλάκα του συλλέκτη προς την εσωτερική επιφάνεια του καλύμματος.

# Το γινόμενο διαπερατότητας - απορροφητικότητας

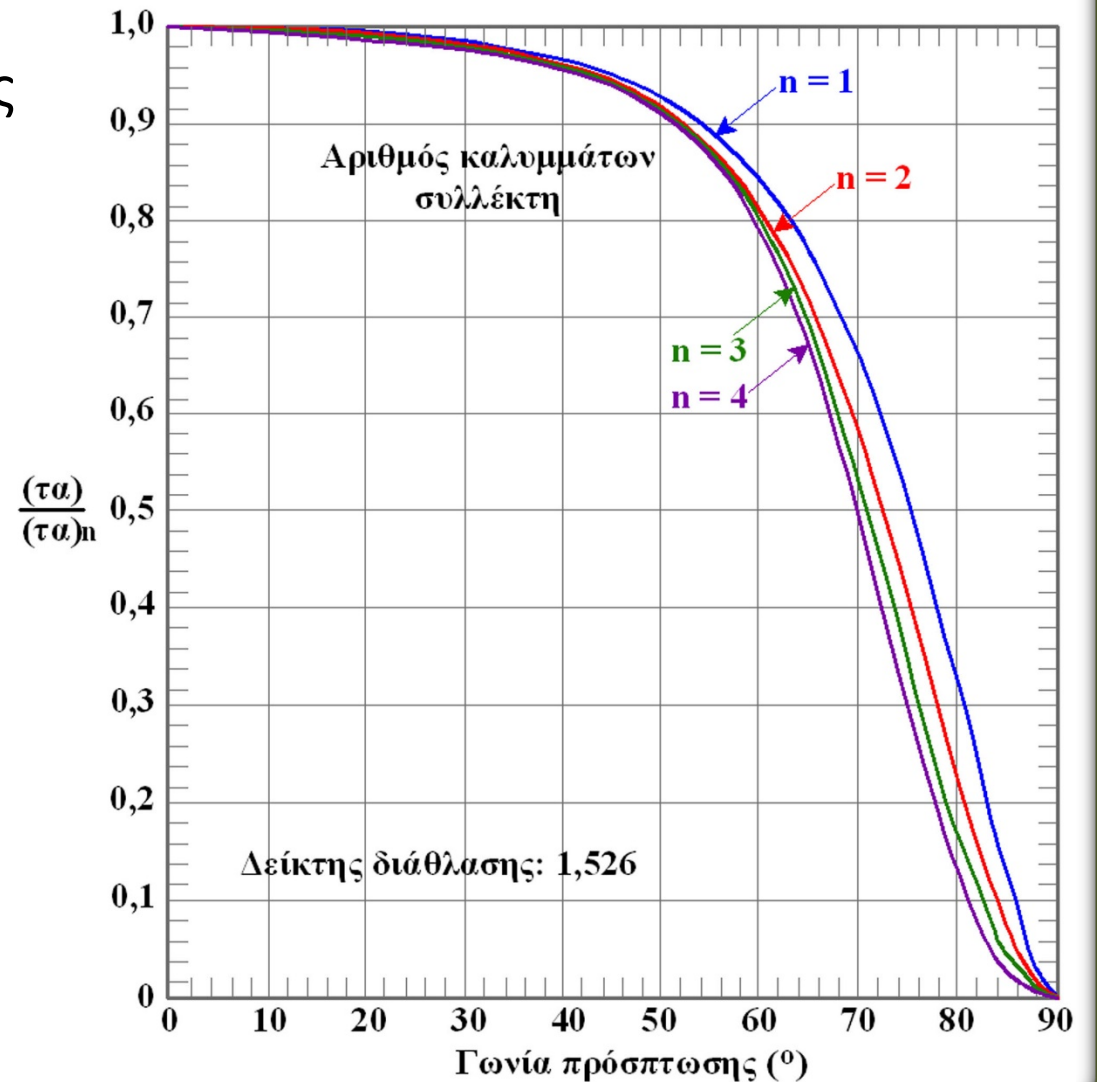
- Η διαδοχική ανάκλαση της ηλιακής ακτινοβολίας από την απορροφητική πλάκα προς το διαφανές κάλυμμα και, αντίστροφα, έχει ως αποτέλεσμα το τελικό γινόμενο συντελεστών διαπερατότητας και ανακλαστικότητας καλύμματος και πλάκας, αντίστοιχα, να διαμορφώνεται από μία σχέση της μορφής:

$$(\tau\alpha) = \tau \cdot \alpha \cdot \sum_{n=0}^{\infty} [(1-\alpha) \cdot \rho_d]^n = \frac{\tau \cdot \alpha}{1 - (1-\alpha) \cdot \rho_d}$$



# Το γινόμενο διαπερατότητας - απορροφητικότητας

- Η διαπερατότητα του διαφανούς καλύμματος και η απορροφητικότητα της απορροφητικής πλάκας ενός ηλιακού συλλέκτη δεν είναι μεγέθη σταθερά. Η βασική παράμετρος από την οποία εξαρτώνται είναι η γωνία πρόσπτωσης της ηλιακής ακτινοβολίας.
- Το γινόμενο  $(\tau\alpha)_n$  προκύπτει για γωνία πρόσπτωσης της ηλιακής ακτινοβολίας στον ηλιακό συλλέκτη ίση με  $0^\circ$  (κάθεται στην επιφάνεια του ηλιακού συλλέκτη), το οποίο δίνεται από τον κατασκευαστή του ηλιακού συλλέκτη.



## Το γινόμενο διαπερατότητας - απορροφητικότητας

- Οι καμπύλες του σχήματος ισχύουν για καθαρό γυαλί ως υλικό του καλύμματος του ηλιακού συλλέκτη, με δείκτη διάθλασης 1,526 στο ηλιακό φάσμα. Ωστόσο, έχει αποδειχθεί πειραματικά ότι, οι καμπύλες του σχήματος ισχύουν για όλα τα υλικά, που μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την κατασκευή του καλύμματος του ηλιακού συλλέκτη, με δείκτη διάθλασης κοντά σε αυτόν του γυαλιού.

Υλικό κατασκευής καλύμματος	Δείκτης διάθλασης
Γυαλί	1,526
Πολυμεθυλομεθακρυλικό πολυμερές (polymethyl methacrylate)	1,49
Πολυφθοριούχο βινύλιο (polyvinyl fluoride)	1,45
Πολυφθοριούχο αιθυλένιο – προπυλένιο (polyfluorinated ethylene propylene)	1,34
Πολυτετραφθοροαιθυλένιο (polytetrafluoroethylene)	1,37
Πολυανθρακικό πολυμερές (polycarbonate)	1,60

# Το γινόμενο διαπερατότητας - απορροφητικότητας

- Οι ανωτέρω σχέσεις για τον υπολογισμό του γινομένου τ·α βασίστηκε στην παραδοχή ότι το διαφανές κάλυμμα δεν απορροφά καθόλου ηλιακή ακτινοβολία.
- Στην πραγματικότητα αυτό δεν είναι απόλυτα αληθές, αφού πάντα υπάρχει ένα μικρό ποσοστό απορρόφησης ηλιακής ακτινοβολίας και από το κάλυμμα του ηλιακού συλλέκτη.
- Για να διορθωθεί αυτό το σφάλμα, εισάγεται το μέγεθος του ενεργού γινομένου διαπερατότητας – απορροφητικότητας (effective transmittance – absorbance product), το οποίο θα υποδεικνύεται με το δείκτη  $e$ , δηλαδή  $(\tau \cdot \alpha)_e$ .
- Το τελικό αποτέλεσμα είναι ότι το ενεργό γινόμενο διαπερατότητας – απορροφητικότητας εμφανίζεται ελαφρώς αυξημένο, κατά περίπου 1 – 2%, σε σχέση με το θεωρητικό γινόμενο.

# Το γινόμενο διαπερατότητας - απορροφητικότητας

Καταληκτικά, για τον υπολογισμό της ωφέλιμης θερμικής ισχύος του ηλιακού συλλέκτη, θα πρέπει να χρησιμοποιείται το ενεργό γινόμενο διαπερατότητας – απορροφητικότητας, το οποίο μπορεί να λαμβάνεται ως:

•για ηλιακούς συλλέκτες με κάλυμμα από συνηθισμένο γυαλί (υψηλότερη απορροφητικότητα)

$$(\tau\alpha)_e \cong 1,02 \cdot (\tau\alpha)$$

•για ηλιακούς συλλέκτες με κάλυμμα από υλικά με χαμηλή απορροφητικότητα:

$$(\tau\alpha)_e \cong 1,01 \cdot (\tau\alpha)$$

# Το γινόμενο διαπερατότητας - απορροφητικότητας

Οι τιμές του γινομένου  $(\tau\alpha)_n$  και των συντελεστών  $F_R$  και  $U_L$  κυμαίνονται σε συγκεκριμένα πεδία τιμών, ανάλογα με τον τύπο του συλλέκτη. Συνεπώς είναι δυνατόν να χρησιμοποιηθούν μέσες τιμές για τα μεγέθη αυτά, οι οποίες προκύπτουν από στατιστικά δεδομένα για διαφορετικούς κατασκευαστές ηλιακών συλλεκτών και σε τυπικές συνθήκες περιβάλλοντος (ήπιες καιρικές συνθήκες, μέσης έντασης άνεμος, ηλιακή ακτινοβολία από  $600 - 800\text{W/m}^2$ ).

Τύπος	Περιγραφή	$F_R \cdot (\tau\alpha)_n$	$F_R \cdot U_L$ (W/ $\text{m}^2 \cdot \text{K}$ )
I	Μαύρο χρώμα, ένα τζάμι	0,82	7,50
II	Μαύρο χρώμα, δύο τζάμια ή επιλεκτική επιφάνεια με ένα τζάμι	0,75	5,00
III	Σωλήνες κενού	0,45	1,25
IV	Πλαστικός συλλέκτης χωρίς τζάμι και μόνωση (ταχύτητα ανέμου 2m/s)	0,86	21,50

# Διαδικασία υπολογισμού θερμικής ισχύος συλλέκτη

Η διαδικασία υπολογισμού της παραγωγής θερμικής ισχύος από ένα ηλιακό συλλέκτη έχει ως εξής:

## 1.Εισαγωγή βασικών δεδομένων υπολογισμού.

•Τα βασικά δεδομένα υπολογισμού που πρέπει να εισαχθούν είναι:

- Η συνολική εγκατεστημένη ενεργός επιφάνεια ηλιακών συλλεκτών  $A_c$  σε  $m^2$ . Ως «ενεργή επιφάνεια» ορίζεται η καθαρή επιφάνεια του ηλιακού συλλέκτη που αλληλεπιδρά με την ηλιακή ακτινοβολία και όχι η συνολική, στην οποία συμπεριλαμβάνεται και το πλαίσιο του συλλέκτη. Η ενεργή επιφάνεια του ηλιακού συλλέκτη ταυτίζεται με την επιφάνεια της απορροφητικής πλάκας.
- Η ολική προσπίπτουσα ηλιακή ακτινοβολία  $G_t$  σε  $W/m^2$ , που προκύπτει ως το άθροισμα της άμεσης, της διάχυτης και της ανακλώμενης από γειτονικές επιφάνειες ακτινοβολίας και υπολογίζεται με συγκεκριμένη διαδικασία, βάσει των μεθόδων και της θεωρίας περί ηλιακής γεωμετρίας και ακτινοβολίας.

# Διαδικασία υπολογισμού θερμικής ισχύος συλλέκτη

## 1. Εισαγωγή βασικών δεδομένων υπολογισμού.

- Τα βασικά δεδομένα υπολογισμού που πρέπει να εισαχθούν είναι:
  - Η θερμοκρασία περιβάλλοντος  $T_a$ , η οποία πρέπει να διατίθεται υπό τη μορφή χρονοσειράς ανά χρονικό βήμα υπολογισμού, με βάση μετρήσεις από μετεωρολογικούς σταθμούς στην ευρύτερη περιοχή ενδιαφέροντος.
  - Η ειδική θερμοχωρητικότητα του εργαζόμενου μέσου  $c_p$  σε  $\text{kJ}/(\text{kg}\cdot\text{K})$ . Στην περίπτωση χρήσης διαλύματος νερού – γλυκόλης ως εργαζόμενου μέσου, η ειδική θερμοχωρητικότητα πρακτικά μπορεί να ληφθεί ίση με αυτήν του νερού, δηλαδή  $4,184\text{kJ}/(\text{kg}\cdot\text{K})$ . Σε περίπτωση χρήσης αέρα, η ειδική θερμοχωρητικότητά του υπό σταθερή πίεση λαμβάνεται ίση με  $c_p = 1,006\text{kJ}/(\text{kg}\cdot\text{K})$ .

# Διαδικασία υπολογισμού θερμικής ισχύος συλλέκτη

## 1. Εισαγωγή βασικών δεδομένων υπολογισμού.

- Κατασκευαστικά στοιχεία και ιδιότητες των υλικών του συλλέκτη, όπως:
  - ο αριθμός  $N$  των προστατευτικών διαφανών καλυμμάτων του συλλέκτη
  - το πάχος της μόνωσης του συλλέκτη  $t_e$  και  $t_b$  στις πλευρικές επιφάνειές του και στη βάση του αντίστοιχα, σε  $m$
  - η απόσταση  $W$  σε  $m$  μεταξύ δύο διαδοχικών σωληνώσεων του ηλιακού συλλέκτη
  - η εξωτερική διάμετρος  $D$  των σωληνώσεων του ηλιακού συλλέκτη σε  $m$
  - η εσωτερική διάμετρος  $D_i$  των σωληνώσεων του ηλιακού συλλέκτη σε  $m$
  - οι συντελεστές θερμικής αγωγιμότητας της μόνωσης του συλλέκτη  $k_e$  και  $k_b$  στις πλευρικές επιφάνειές του και στη βάση του αντίστοιχα, σε  $W/(m \cdot K)$

# Διαδικασία υπολογισμού θερμικής ισχύος συλλέκτη

## 1. Εισαγωγή βασικών δεδομένων υπολογισμού.

- ο συντελεστής εκπομπής ακτινοβολίας  $\varepsilon_g$  του διαφανούς καλύμματος του ηλιακού συλλέκτη
- ο συντελεστής εκπομπής ακτινοβολίας  $\varepsilon_p$  της απορροφητικής πλάκας του ηλιακού συλλέκτη
- ο συντελεστής θερμικής αγωγιμότητας  $k$  της απορροφητικής πλάκας σε  $W/(m \cdot K)$
- το πάχος  $\delta$  της απορροφητικής πλάκας σε  $m$
- ο συντελεστής θερμικής αγωγιμότητας  $k_b$  του υλικού της σύνδεσης των σωληνώσεων του συλλέκτη με την απορροφητική πλάκα σε  $W/(m \cdot K)$
- το πλάτος  $b$  της σύνδεσης των σωληνώσεων του συλλέκτη με την απορροφητική πλάκα σε  $m$
- το πάχος  $\gamma$  της σύνδεσης των σωληνώσεων του συλλέκτη με την απορροφητική πλάκα σε  $m$

# Διαδικασία υπολογισμού θερμικής ισχύος συλλέκτη

## 1. Εισαγωγή βασικών δεδομένων υπολογισμού.

- Στοιχεία της συγκεκριμένης εγκατάστασης του συλλέκτη, όπως:
  - η κλίση  $\beta$  εγκατάστασης του συλλέκτη σε μοίρες
  - ο συντελεστής συναγωγής  $h_{fi}$  μεταφοράς θερμότητας από το εργαζόμενο μέσο προς τις σωληνώσεις του συλλέκτη σε  $W/(m^2 \cdot K)$ , που λαμβάνεται από πίνακες για ροή νερού ή αέρα εντός κυλινδρικών αγωγών, συναρτήσει της ταχύτητας ροής
  - οι συντελεστές θερμικής μετάβασης  $h_e$  και  $h_b$  για τη μεταφορά θερμότητας από τις πλευρικές επιφάνειες και τη βάση του συλλέκτη αντίστοιχα, σε  $W/(m^2 \cdot K)$ , οι οποίοι υπολογίζονται με βάση τους συντελεστές θερμικής συναγωγής του αέρα  $h_w$  και ακτινοβολίας των υλικών του συλλέκτη στη θέση εγκατάστασης
  - η παροχή μάζας του εργαζόμενου μέσου στο υδραυλικό κύκλωμα των ηλιακών συλλεκτών σε  $kg/s$ , που καθορίζεται από το θερμικό φορτίο και την αντλία του κυκλώματος.

# Διαδικασία υπολογισμού θερμικής ισχύος συλλέκτη

## 2. Παραδοχές – υποθέσεις τιμών.

- Αρχικά απαιτείται η υπόθεση κάποιας τιμής για τη μέση θερμοκρασία  $T_{pm}$  της απορροφητικής πλάκας του ηλιακού συλλέκτη. Για επίπεδους ηλιακούς με υγρό εργαζόμενο μέσο και παροχή μάζας μέσου της τάξης των  $0,01 - 0,02 \text{ kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$ , μια λογική υπόθεση για τη μέση θερμοκρασία της απορροφητικής πλάκας είναι:

$$T_{pm} = T_{fi} + 10^\circ \text{C}$$

- Στην περίπτωση ηλιακών συλλεκτών με εργαζόμενο μέσο αέρα, μια λογική προσέγγιση είναι:

$$T_{pm} = T_{fi} + 20^\circ \text{C}$$

όπου  $T_{fi}$  η θερμοκρασία εισόδου του εργαζόμενου μέσου στον ηλιακό συλλέκτη, για την οποία θα γίνει λόγος στη συνέχεια.

## Διαδικασία υπολογισμού θερμικής ισχύος συλλέκτη

3. Υπολογισμός συντελεστή θερμικής διαπερατότητας  $U_L$ 
  - Χρησιμοποιούνται οι σχέσεις που παρουσιάστηκαν ανωτέρω.
4. Υπολογισμός συντελεστή απωλειών θερμικής ισχύος  $F_R$ 
  - Χρησιμοποιούνται οι σχέσεις που παρουσιάστηκαν ανωτέρω.
5. Υπολογισμός γινομένου  $\tau \cdot \alpha$
6. Το γινόμενο  $\tau \cdot \alpha$  θα πρέπει να υπολογίζεται για κάθε χρονικό βήμα υπολογισμού συναρτήσει της γωνίας πρόσπτωσης της ηλιακής ακτινοβολίας. Συνεπώς, απαιτείται η γνώση της διακύμανσης του γινομένου συναρτήσει της γωνίας πρόσπτωσης της ηλιακής ακτινοβολίας, η οποία παρέχεται από τον κατασκευαστή του συλλέκτη σε μορφή διαγράμματος ή πίνακα. Απαραίτητη είναι, επίσης, η γνώση του γινομένου  $(\tau \alpha)_n$  για κάθετη πρόσπτωση της ηλιακής ακτινοβολίας στον ηλιακό συλλέκτη.

# Διαδικασία υπολογισμού θερμικής ισχύος συλλέκτη

## 6. Υπολογισμός παραγόμενης θερμικής ισχύος από το συλλέκτη

- Υπολογίζεται πλέον η παραγόμενη θερμική ισχύς από τον ηλιακό συλλέκτη.

## 7. Επαλήθευση αρχικών υποθέσεων

- Επαληθεύεται η αρχική υπόθεση για τη μέση θερμοκρασία της απορροφητικής πλάκας  $T_{pm}$ , μέσω της σχέσης:

$$T_{pm} = T_{fi} + \frac{\dot{Q}/A_c}{F_R \cdot U_L} \cdot (1 - F_R)$$

Αν υπάρχει σημαντική απόκλιση ανάμεσα στην αρχική υπόθεση για τη  $T_{pm}$  και σε αυτή που υπολογίζεται, τότε επαναλαμβάνονται τα βήματα 3 – 6 με τη νέα τιμή της  $T_{pm}$ . Η διαδικασία επαναλαμβάνεται έως ότου υπάρξει σύγκλιση της αρχικής και τελικής τιμής της  $T_{pm}$ .

# Διαδικασία υπολογισμού θερμικής ισχύος συλλέκτη

