

Εφαρμογές Ηλιακή Ακτινοβολία-Ηλιοθερμικά

1. Να υπολογιστεί η διάρκεια της ημέρας στις 19 Ιουλίου και στις 27 Οκτωβρίου στην Αθήνα.

$$N_{19-7}=200 \text{ και } N_{27-10}=300$$

- Γεωγραφικό πλάτος σε σχέση με Ισημερινό $\Phi_{mAthens}=37.58 \text{ deg}$
- Γεωγραφικό μήκος σε σχέση με Ισημερινό $\Psi_{mAthens}=23.45 \text{ deg}$
- Ηλιακή απόκλιση $\delta(n) = 23.45 \text{ deg} \sin (360 \cdot 284N/365 \text{ deg})$
- Ωριαία γωνία δύσης Ήλιου $\omega_s(N,\phi)=\arccos(-\tan\phi \cdot \tan\delta(N))$
- Διάρκεια ημέρας $N_d(N,\Phi)=\omega_s(N,\Phi) \cdot 2 \text{ hr}/15 \text{ deg}$
- $N_{d(19-7)}=14.27 \text{ hr}$, $N_{d(27-10)}=10.55 \text{ hr}$

2. Να υπολογιστούν οι ηλιακές διαδρομές για την Αθήνα στις 21 Ιουνίου και στις 21 Δεκεμβρίου

Γεωγραφικό πλάτος σε σχέση με Ισημερινό $\Phi_{\text{mAthens}}=37.58 \text{ deg}$

Γεωγραφικό μήκος σε σχέση με Ισημερινό $\Psi_{\text{mAthens}}=23.45 \text{ deg}$

Ηλιακή διαδρομή της θέσης του Ήλιου Θ_{sh} του ηλιακού ύψους με το ηλιακό αζιμούθιο $\Theta_{\text{sh}}=f(\gamma_s)$

$\delta(N)=23.45 \text{ deg} \sin(360(284+N)/365 \cdot \text{deg})$

Η εξίσωση χρόνου της διαφοράς φαινόμενου ηλιακού χρόνου που μετρά παρατηρητής στη γη και μέσου ηλιακού χρόνου που δείχνει το ρολόι στην ισημερία:

$$ET(N) \left(\left(9.87 \sin \left(4\pi \frac{N-81}{364} \right) - 7.53 \cos \left(2\pi \frac{N-81}{364} \right) - 1.5 \sin \left(2\pi \frac{N-81}{364} \right) \right) \text{min} \right)$$

Ο φαινόμενος ηλιακός χρόνος (apparent solar time) θα δίνεται από την εξίσωση

$AST-t=ET-4(LSM-\Psi)$ για $180>\Psi>0$ και $ET+4(LSM-\Psi)$ για $0>\Psi>-180$

ως διαφορά του φαινόμενου ηλιακού χρόνου το ηλιακό μεσημέρι (τη στιγμή που ο ήλιος τέμνει το μεσημβρινό του παρατηρητή) από τον τοπικό χρόνο (t) σε λεπτά, όπου $LSM=\text{local standard meridian}$ (κεντρικός μεσημβρινός) που για την Αθήνα παίρνει την τιμή $LSM=30 \text{ deg}$.

$$\rightarrow AST=t+ET(N)-4 \text{ min/deg} (LSM-\Psi)$$

Η γωνιακή μετατόπιση (ω) του ήλιου ανατολικά ή δυτικά του τοπικού μεσημβρινού δίνεται από τη σχέση:

$$\Omega = (\text{AST} - 12) \cdot 360 \text{ deg} / 24 \text{ hr}$$

Γωνία ζενίθ (ηλιακή ακτίνα και κάθετο στον παρατηρητή)

$$\theta_z = \arccos(\cos\phi \cos\delta(N) \cdot \cos(\omega) + \sin\phi \sin\delta(N))$$

Η θέση του ήλιου-ηλιακό ύψος θα είναι:

$$\theta_{SH} = (\pi/2 - \theta_z)$$

$\gamma_s = \arccos A$ για $12 \leq \text{AST} \leq 23.29 \text{ hr}$ και $-\arccos A$ για $0 \text{ hr} \leq \text{AST} \leq 12 \text{ hr}$ όπου

$$A = \frac{\sin\theta_{SH} \sin\phi - \sin\delta(N)}{\cos\theta_{SH} \cdot \cos\phi}$$

3. Να υπολογιστεί η ημερήσια ηλιακή ακτινοβολία για κάθε μήνα στην περιοχή της Αθήνας για κλίση επιφάνειας 30° με δεδομένες μετρήσεις σε οριζόντιο επίπεδο. Δίνονται συντελεστής ανάκλασης $r_a=0.2$, ηλιακή σταθερά $G_{sc}=1353 \text{ W/m}^2$, ημερήσια ακτινοβολία σε οριζόντιο επίπεδο (π.χ. Δεκ 1.73,Ιούνιο 7.46 kWh/m²) τυπική ημέρα μήνα $N_m=344, \dots, 162$ και ημέρες μήνα $N_t=31, \dots, 30$.

Απάντηση

$$\delta(N)=23.45 \text{ deg} \sin \left(360 \frac{284+N}{365} \text{ deg}\right)$$

Συνολική ακτινοβολία σε οριζόντιο

$$G_o=G_{sc} \cdot (1+0.033 \cos(360 \frac{N}{365} \text{ deg}))$$

Ωριαία γωνία δύσης

$$\omega_s(N,\phi)=\arccos(-\tan\phi \cdot \tan\delta(N))$$

$\omega_{st}=\min(\omega_s, \arccos(-\tan(\phi-\beta) \cdot \tan\delta))$ για επιφάνεια σε βόρειο ημισφαίριο που κοιτά νότο ($\gamma_s=0$)

Ημερήσια ηλιακή ακτινοβολία στην κορυφή της ατμόσφαιρας για τυπική ημέρα κάθε μήνα

$$H_o(N,\phi)=[24\text{hr} \cdot G_o(N)/\pi \cdot (\cos\phi \cos\delta(N) \sin\omega_s + \omega_s \cdot \sin\phi \sin\delta)]$$

Ο δείκτης αιθριότητας ως ποσοστό της ηλιακής ακτινοβολίας που φτάνει στη γη είναι:

$$K_{TATHENS} = \frac{H}{H_o(N_m \cdot \Phi_{ATHENS})} \text{ όπου } H \text{ η ηλιακή ακτινοβολία σε οριζόντιο επίπεδο και}$$

H_o στα όρια της ατμόσφαιρας

Ο συντελεστής R_b (λόγος άμεσης σε κεκλιμένο προς άμεσης σε οριζόντιο) θα δίνεται ως:

$$R_b = \frac{\cos(\varphi - \beta) \cos\delta(N) \sin\omega_{ST} + \omega_{ST} \sin(\varphi - \beta) \sin\delta(N)}{\cos\varphi \cos\delta(N) \sin\omega_S + \omega_S \sin\varphi \sin\delta(N)}$$

Ο λόγος της διάχυτης H_d προς την ολική ακτινοβολία είναι:

$$\begin{aligned} H_{\text{RAT}}(K_T) &= 0.99 \text{ αν } K_T \leq 0.17 \\ &= 1.188 - 2.272 K_T + 9.473 K_T^2 - 21.865 K_T^3 + 14.648 K_T^4 \text{ αν } 0.17 \leq K_T \leq 0.75 \\ &= -0.54 K_T + 0.632 \text{ αν } 0.75 \leq K_T \leq 0.80 \\ &= 0.2 \text{ αν } 0.80 \leq K_T \end{aligned}$$

Ο συντελεστής R ως λόγος της ακτινοβολίας H_T σε επιφάνεια με κλίση προς H σε οριζόντιο επίπεδο δίνεται ως:

$$\begin{aligned} R &= (1 - H_{\text{RAT}}) \cdot R_b + H_{\text{RAT}} (1 + \cos\beta) / 2 + r_a \cdot (1 - \cos\beta) / 2 \rightarrow H_T = R \cdot H \text{ για κάθε } R \text{ και } H. \\ &\rightarrow H \text{ σε οριζόντιο ετήσια} = 1671 \text{ kWh/m}^2 \text{ και σε κλίση } 30^\circ = 1731 \text{ kWh/m}^2 \end{aligned}$$

4. Να υπολογιστεί η ελάχιστη απόσταση 4 συλλεκτών μήκους $L=2.1$ m και πλάτους $W=1.1$ m σε $N=4$ σειρές των $S=10$ συλλεκτών με διάκενο $s_{pc}=30$ cm και κλίση $\beta=37.5$ deg και $\gamma=0$ deg.

Υπόθεση: επιλέγω το ελάχιστο ηλιακό ύψος θ_{SH} στις 10.00 την 21^η Δεκεμβρίου ώστε να μην σκίαση. Σε όλες τις άλλες περιπτώσεις το ηλιακό ύψος θα είναι μεγαλύτερο οπότε δεν υπάρχει σκίαση.

Απαιτούμενος χώρος $SysArea=D_{tot} \cdot W_{tot}$
 $W_{tot}=W \cdot S+(S-1) \cdot SPC=13.7$ m
 $D_{tot}=DC \cdot N+DS \cdot (N-1)$

όπου $DC=L \cos \beta=1.667$ m

$DS=L \sin \beta \cos \gamma_{\delta} / \tan \theta_{SH-WS}$

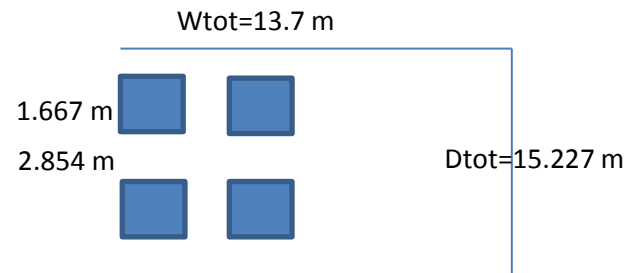
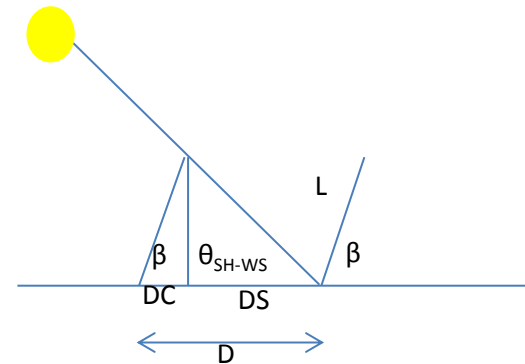
$\theta_{SH-WS} = \theta_{SH} (10hr, 355, \Phi_{ATHENS}, \Psi_{ATHENS}) = 20.069$ deg

$\gamma_{\delta} = \gamma_s (10hr, 355, \Phi_{ATHENS}, \Psi_{ATHENS}) = -35.338$ deg

• $DS=2.854$ m

• $D_{tot}=DC \cdot N+DS(N-1)=15.227$ m

• $SysArea=D_{tot} \cdot W_{tot}=20.617$ m²



5. Απώλειες άνω μέρους ηλιακού συλλέκτη

Να υπολογιστούν ο συντελεστής απωλειών κορυφής και οι θερμικές απώλειες από το άνω μέρος ηλιακού συλλέκτη με δύο καλύμματα με τα χαρακτηριστικά, επιφάνεια $A_c=2 \text{ m}^2$, Μήκος $l_c=2 \text{ m}$, κλίση $\beta=30^\circ$, Κενό ανάμεσα στα καλύμματα $L_{c1c2}=20 \text{ mm}$, κενό ανάμεσα σε κάλυμμα και απορροφητή $L_{rc1}=40 \text{ mm}$, Μέση θερμοκρασία απορροφητή $T_{pm}=80^\circ\text{C}$, θερμοκρασία περιβάλλοντος $T_a=15^\circ\text{C}$, συντελεστής εκπομπής πλάκας $\epsilon_p=0.10$, συντελεστής εκπομπής καλυμμάτων $\epsilon_g=0.38$, ταχύτητα ανέμου $v_\alpha=2 \text{ m/s}$, σταθερά Stefan-Boltzmann $\sigma=5.67 \times 10^{-8} \text{ W/m}^2/\text{K}^4$, ροές θερμότητας πλάκα απορρ $\rightarrow$ περιβάλλοντος = πλάκα $\rightarrow$ πρώτο κάλυμμα εσωτερικό = πρώτο $\rightarrow$ δεύτερο = δεύτερο $\rightarrow$ περιβάλλον

$$\dot{q}_{pc1} = \dot{q}_{c1c2} = \dot{q}_{ac2} = U_t \cdot (T_p - T_a)$$

$$\rightarrow (h_{pc1} + h_{rpc1}) \cdot (T_p - T_{c1}) = (h_{c1c2} + h_{rc1c2}) (T_{c1} - T_{c2}) = (h_{ac2} + h_{rac2}) \cdot (T_{c2} - T_a)$$

$$r_t = r_{pc1} + r_{c1c2} + r_{ac2}$$

$$r_{pc1} = 1 / (h_{pc1} + h_{rpc1}) \text{ και } r_{c1c2} = 1 / (h_{c1c2} + h_{rc1c2}) \text{ και } r_{ac2} = 1 / (h_{ac2} + h_{rac2})$$

$$h_{rpc1} = \frac{\sigma (T_p^2 + T_{c1}^2) \cdot (T_p + T_{c1})}{\frac{1}{\epsilon_p} + \frac{1}{\epsilon_c} - 1}$$

$$h_{rac2} = \epsilon_c \sigma (T_{c2}^2 + T_a^2) \cdot (T_{c2} + T_a)$$

Συντελεστής συναγωγής πλάκας-καλύμματος 1

$h_{pc1} = kNu / L_{pc1}$ όπου k ο συντελεστής θερμικής αγωγιμότητας για μέση θερμοκρασία T_{pc1} , L_{pc1} η απόσταση πλάκας-καλύμματος και ο αριθμός Nusselt δίνεται ως

$$Nu = 1 + 1.446(1 - 1708/Ra \cos \beta)(1 - 708(\sin 1.8\beta)^{1.6}/Ra \cos \beta) + ((Ra \cos \beta / 5830)^{1/3} - 1)$$

με Ra τον αριθμό Reynolds

$Ra = g\beta'Pr/v^2 \cdot (T_p - T_{c1})L_{pc1}^3$ όπου β' ο συντελεστής κυβικής διαστολής για ιδανικό αέριο, ν το κινηματικό ιξώδες και Pr ο αριθμός Prandtl.

Ο συντελεστής συναγωγής C2-air θα είναι:

$h_{ac2} = 8.6 V^{0.6} / L_c^{0.4}$ όπου V η ταχύτητα του ανέμου και $T_{pc1} = (T_p + T_{c1})/2$ και $T_{ac2} = (T_a + T_{c2})/2$

Ο συντελεστής θερμικών απωλειών κορυφής

$$U_t = 1 / (r_{pc1} + r_{c1c2} + r_{ac2})$$

Λύση με επαναληπτική διαδικασία → συνήθως γνωστές οι T_p και T_a . Δίνονται αρχικές τιμές σε T_{c1} , T_{c2} → υπολογισμός συντελεστών → απώλειες κορυφής q_t → νέες τιμές T_{c1}, T_{c2} για μεταφορά θερμότητας q_t → σύγκλιση ώστε νέες T_{c1}, T_{c2} ίσες με τις παλιές.

$$hrpc1(Tc1) = \frac{\sigma(T_{pm}^2 + T_{c1}^2) \cdot (T_{pm} + T_{c1})}{\frac{1}{\varepsilon_p} + \frac{1}{\varepsilon_g} - 1}$$

$$hrc1c2(Tc1, Tc2) = \frac{\sigma(T_{c1}^2 + T_{c2}^2) \cdot (T_{c1} + T_{c2})}{\frac{1}{\varepsilon_g} + \frac{1}{\varepsilon_g} - 1}$$

$$hrac2(Tc2) = \varepsilon_g \sigma(T_a^2 + T_{c2}^2) \cdot (T_a + T_{c2})$$

$$hac2 = \frac{8.6 \text{ W} \left(V_a \left(\frac{s}{m} \right) \right)^{0.6}}{K m^2 \left(\frac{Lc}{m} \right)^{0.4}} = 9.879 \frac{\text{W}}{m^2 K}$$

Συντελεστές θερμικής αγωγιμότητας

$$kpc1(Tc1) = k_{air} \cdot [(T_{pm} + T_{c1})^{0.5}]$$

$$kc1c2(Tc1, Tc2) = k_{air} \cdot [(T_{c1} + T_{c2} \cdot 0.5)]$$

$$\rightarrow hpc1(T1) = Nupc1(Tc1) \cdot kpc1(Tc1) / Lpc1$$

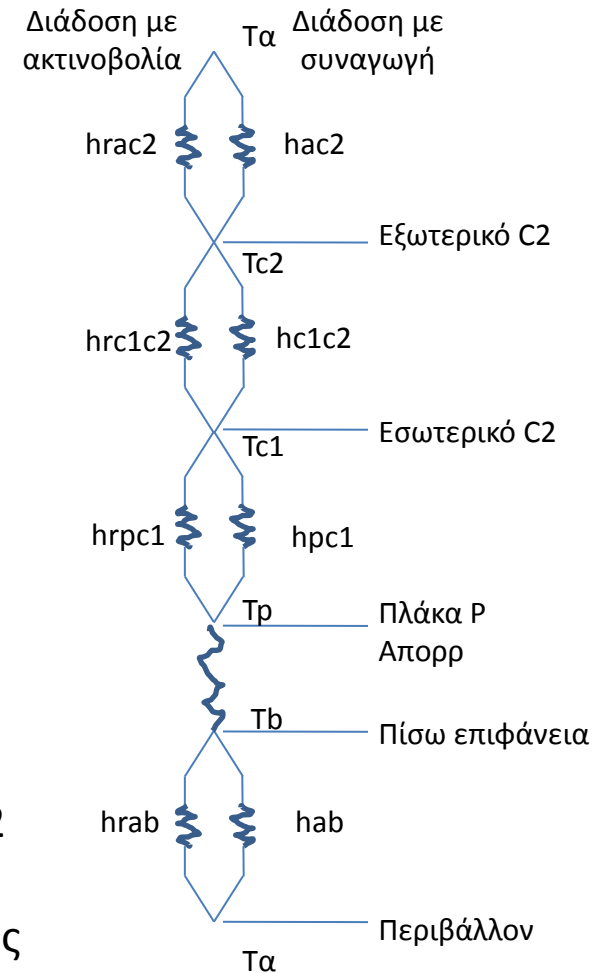
$$\rightarrow hc1c2(Tc1, Tc2) = Nuc1c2(Tc1, Tc2) kc1c2(Tc1, Tc2) / kc1c2$$

Έστω $T_{c1} = 50^\circ\text{C}$ και $T_{c2} = 30^\circ\text{C} \Rightarrow h, U_t \Rightarrow q_t \Rightarrow T_{c1}, T_{c2}$ ως τη σύγκλιση

$$T_{c1}(n-1) = T_{c1}(n)$$

$$T_{c2}(n-1) = T_{c2}(n)$$

$$q_t = 298.51 \text{ W και } U_t = 2.3 \text{ W/m}^2\text{K}$$



Απορρόφηση ηλιακής ακτινοβολίας από πλάκα

$$\text{Κλάσμα απορρόφησης: } (\tau\alpha) = \frac{\tau \cdot \alpha}{1 - (1 - \alpha) \cdot \rho_d}$$

$$(\text{= } \sum_{n=0}^{\infty} ((1 - \alpha) \cdot \rho_d)^n)$$

όπου τ η διαπερατότητα του καλύμματος

α η απορροφητικότητα της πλάκας

ρ_d η ανακλαστικότητα της οπίσθιας επιφάνειας του καλύμματος

=> Τιμή απορροφούμενης ακτινοβολίας

$$S = (\tau \cdot \alpha) I_T \approx 1.01 \tau \cdot \alpha$$

$$\text{Στιγμιαίος βαθμός απόδοσης συλλέκτη: } \eta_i = \frac{\dot{q}_i}{A_i G_T} = \frac{\dot{m} c_p (T_{fo} - T_{fi})}{A_i G_T} \approx 0.7 \text{ όπου } T_{fi} \text{ η}$$

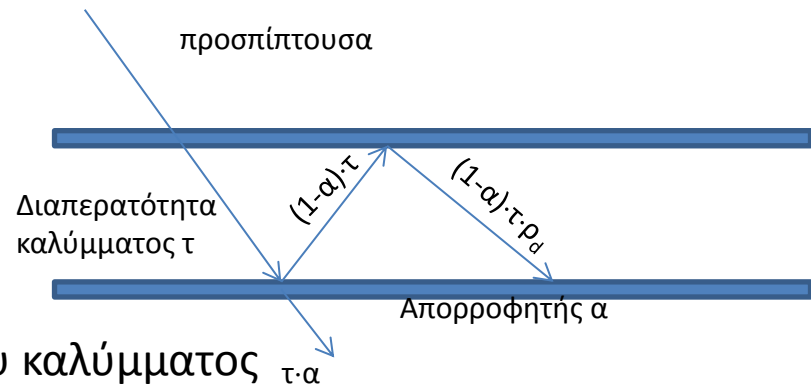
θερμοκρασία εισόδου του ρευστού και T_{fo} η θερμοκρασία εξόδου.

Παράγοντας θερμικής απολαβής: F_R = πραγματική αποδιδόμενη ισχύς/μέγιστη (όταν όλο το ρευστό έχει την ίδια θερμοκρασία με την απορροφητική πλάκα)

Παράγοντας απόδοσης συλλέκτη: F' = πραγματική αποδιδόμενη θερμική ισχύς/μέγιστη Συντελεστής ενεργειακών απωλειών U_L του συλλέκτη ($\text{W/m}^2/\text{°C}$) (παρέχεται από κατασκευαστή)

Τότε $F_R = F' \cdot F''$ όπου F'' ο παράγοντας ροής του συλλέκτη που είναι συνάρτηση της παροχής

Απόδοση $\eta_i = F_R (\tau\alpha) - F_R U_L (T_{in} - T_a) / G_T$ όπου T_{in} η θερμοκρασία εισόδου του νερού και T_a η θερμοκρασία του αέρα



6. Ανάγκες Ζεστού Νερού Χρήσης

Απαιτούμενη ενέργεια: $\dot{q}_i = \dot{m}c_p(T_{out} - T_{in})$

Ημερήσιο φορτίο ΖΝΧ: $q_w = N_p \cdot V_w \cdot \rho_w \cdot c_p \cdot (T_{out} - T_{in})$ όπου N_p ο αριθμός των ατόμων,
 V_w ο ημερήσιος όγκος/άτομο

Για οικία $V_w = 60$ L και $T_{out} = 60^\circ\text{C}$

Συντελεστής κάλυψης $f = q_s / q_w$ όπου q_s η ωφέλιμη θερμότητα (παρεχόμενη-απώλειες)
και q_w η παρεχόμενη θερμότητα

Μέθοδος καμπυλών f

$$f(X, Y) = 1.029Y - 0.065X - 0.245Y^2 + 0.0018X^2 + 0.0215Y^3$$

όπου $X = F_R U \frac{F'_R}{F_R} (T_{ref} - T_a) N \frac{Ac}{q_{in}} K_2 K_3$

$$Y = F_R (\tau\alpha)_n \frac{F'_R}{F_R} \frac{(\tau\alpha)_n}{(\tau\alpha)_n} H_T N \frac{Ac}{q_{in}} K_4$$

με N =διάρκεια μήνα σε s

H_T =μέση ημερήσια ηλιακή ακτινοβολία

T_a =μέση μηνιαία θερμοκρασία περιβάλλοντος

T_{ref} =θερμοκρασία αναφοράς (100°C)

F'_R / F_R = παράγοντας θερμικής απολαβής συλλέκτη – εναλλάκτη προς αντίστοιχο χωρίς
εναλλάκτη

$(\tau\alpha) / (\tau\alpha)_n$ λόγος απορροφημένης υπό γωνία / απορροφημένης υπό κάθετη πρόσπτωση

K4=1 για ZNX

$$K2 = \left(\frac{\frac{V_{tank}}{Ac}}{75 \frac{L}{m^2}} \right)^{-0.25}$$

K3=(11.6+1.18Tout+3.86Tin-2.32Ta)/(Tref-Ta) (διορθωτικός παράγοντας αν χρησιμοποιείται ο συλλέκτης κυρίως ή αποκλειστικά για AZNX)

X τιμές από 0→18

Y τιμές από 0→3.5

=>μεγιστοποίηση f για Δεκέμβριο→ μη οικονομικά αποδεκτή λόγω μεγάλης

Ac→οικονομική μεγιστοποίηση

Διαστασιολόγηση:

Για ψυχρότερο μήνα $Ac = Ac = \frac{q_{heat} f_{bn}}{H_T n_{sys}}$

όπου q_{heat} οι συνολικές θερμικές ανάγκες του μήνα, f_{bn} το ποσοστό αναγκών σχεδιασμού, H_T ηετήσια ηλιακή ακτινοβολία, n_{sys} ο μέσος μηνιαίος βαθμός απόδοσης

Vδεξ. αποθ. = $\frac{q_{heat,d} N_{day}}{c_p \rho (T_s - T_i)}$ όπου $q_{heat,d}$ η απαιτούμενη ημερήσια ποσότητα θερμότητας,

N_{day} ο αριθμός ημερών αποθήκευσης ZNX χωρίς ηλιοφάνεια (2-4), T_s η μέγιστη θερμοκρασία δεξαμενής 55°C-70°C και T_i η ελάχιστη θερμοκρασία χρήσης (30°C-40°C).

Εφαρμογή: Υπολογισμός επιφάνειας συλλέκτη A_c με θεώρηση μέσης ετήσιας ακτινοβολίας για ZNX με $f=50\%$, $N_p=500$ άτομα, $N_d=365$ ημέρες, $T_{in}=17.9^\circ\text{C}$, $n_{sys}=40\%$, $T_{out}=60^\circ\text{C}$, $V_w=50$ L/day/άτομο, $H_{T-AN30}=1798$ kWh/m₂ ετήσια, $\rho_w=1000$ kg/m³, $C_w=4.18$ J/g/m/K
 Ζήτηση ενέργειας $q_w=N_p N_d V_w \rho_w C_w (T_{out}-T_{in})=356.84$ MWh
 Ετήσια θερμότητα: $E=f q_w=178.42$ MWh
 $\Rightarrow A_c=\frac{E}{H_T n_{sys}}=248.08$ m²

Εφαρμογή: Υπολογισμός επιφάνειας συλλέκτη A_c με θεώρηση μηνιαίας ακτινοβολίας για ZNX με διαφορετική θερμοκρασία δικτύου νερού για κάθε μήνα, βαθμό απόδοσης και μηνιαίας ηλιακής ακτινοβολίας

$E_n=\sum \text{μηνια } H_T n_{sys} A_c$
 $Q_n=\sum \text{μηνια } N_p N_d V_w \rho_w C_p (T_{out}-T_{in})$
 $F=E_n/Q_n=50.46\%$

Εφαρμογή: Μέθοδος καμπυλών με $V_{tank}=14$ m³, $T_{out}=60^\circ\text{C}$, $F_R \tau\alpha=0.82$, $F_R U_L=7.5$ W/m²/K, $F_R / F'_R=0.95$, $(\tau\alpha)/(\tau\alpha)^n=0.93$

$$K_2=\left(\frac{\frac{V_{tank}}{A_c}}{75 \frac{m^3}{m^2}}\right)^{-0.25}=1.084$$

$$K_3=(11.6+1.18T_{out}+3.86T_{in}-2.32T_a)/(100-T_a)$$

$$X=F_R U \frac{F'_R}{F_R} (T_{ref}-T_a) N \frac{A_c}{q_{in}} K_2 K_3$$

$$Y=F_R (\tau\alpha)_n \frac{F'_R}{F_R} \frac{(\tau\alpha)}{(\tau\alpha)_n} H_T N \frac{A_c}{q_{in}} K_4$$

$$\Rightarrow f=\sum_i \frac{f \cdot N_{di}}{y}=43.9\% \text{ με } f(X,Y)=1.029Y-0.065X-0.245Y^2+0.0018X^2+0.0215Y^3$$

$f_{opt}=62.597\%$ για $A_{c-opt}=409.8$ m² και $V_{tank-opt}=25.6$ m³.

Εφαρμογή: Απώλειες θερμότητας πισίνας

$A_{pool}=200 \text{ m}^2$, $T_w=25^\circ\text{C}$, $T_a=26^\circ\text{C}$, $G=200 \text{ W/m}^2$, $RH=60\%$, $V_{αν}=1 \text{ m/s}$ (στα 30 cm από την επιφάνεια του νερού), $\epsilon_{\text{ουρανού}}=0.92$, $\epsilon_{\text{νερού}}=0.95$, $\Lambda_{ανθ. \text{ Νερού}} h_{fg}=2440 \text{ kJ/kg}$, $\alpha_{\text{απορ-πισω}}=0.85$

Ισοζύγιο θερμότητας Πισίνας

$q \cdot \dot{pool} = (q'' \cdot \dot{e} \text{ (εξάτμιση)} + q'' \cdot \dot{r} \text{ (ακτινοβολία)} + q'' \cdot \dot{c} \text{ (συναγωγή)} + q'' \cdot \dot{\mu w} \text{ (αναπλήρωσης)} - q'' \cdot \dot{s} \text{ (ηλιακό κέρδος)}) \cdot A$

Πίεση κορεσμού υδρατμών:

$$P_s(T) = 100 \times (0.004516 + 0.000718 T/^{\circ}\text{C} - 2.649 \times 10^{-6} (T/^{\circ}\text{C})^2 + 6.944 \times 10^{-7} (T/^{\circ}\text{C})^3) \text{ kPa}$$

Πίεση κορεσμού πάνω από την πισίνα

$$P_{s,w} = 3.166 \text{ kPa}$$

Πίεση κορεσμού υδρατμών ατμόσφαιρας

$$P_{inf} = P_{s,inf} \cdot RH = 1.09 \text{ kPa}$$

$$\Rightarrow q'' \cdot \dot{e} = [0.0653 + 0.0689 V_{αν} (\text{m/s})^{-1}] \text{ m/s} (P_{s,w} - P_{inf}) = 0.279 \text{ kW/m}^2$$

$$\text{Θερμοκρασία ουρανού } T_{\text{sky}} = \sqrt{\varepsilon_s} \cdot T_a = 4.193 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$\Rightarrow \dot{q}''_r = \varepsilon_w \cdot \sigma \cdot (T_w^4 - T_{\text{sky}}^4) = 0.107 \text{ kW/m}^2$$

$$\dot{q}''_c = (3.1 + 4.1 V_{\text{αν}})(T_w - T_a) = 0.065 \text{ kW/m}^2$$

$$\text{Ποσότητα νερού εξάτμισης } \dot{m}''_{\text{w}} = \dot{q}''_e / h_{\text{fg}} = 0.1142 \text{ gm/(m}^2 \cdot \text{s)}$$

$$\Rightarrow \dot{q}''_{\text{m}} (\text{θερμότητα αναπλήρωσης}) = \dot{m}''_{\text{w}} \cdot c_p \cdot (T_w - T_{\text{in}})$$

$$\text{Ηλιακό κέρδος } \dot{q}''_s = \alpha (\text{απορροφητικότητα πισίνας}) \cdot G (\text{εισερχόμενη ακτινοβολία}) = 0.17 \text{ kW/m}^2$$

$$\Rightarrow \dot{q}_{\text{pool}} = (\text{άθροισμα όρων απωλειών} - \text{ηλιακό κέρδος}) \cdot A_c = 56.829 \text{ kW}$$

Εφαρμογή: Υπολογισμός συντελεστή θερμικού φορτίου μονοκατοικίας στην Αθήνα με ισόγειο και όροφο εμβαδού $A_{rf}=104 \text{ m}^2$, διαστάσεις $L_s=13 \text{ m}$, $W_s=8 \text{ m}$, Ηορόφου 3.5 m , Ανανέωση αέρα $K_{air}=1.5$ φορές/ώρα, Συντελεστής θερμικού φορτίου BLC (building load coefficient)=?

Κέλυφος:

Πόρτα: Διαστάσεις $H_{door}=2.1 \text{ m}$ και $W_{door}=1.2 \text{ m}$

Οκτώ Παράθυρα: $H_{winA}=1.5 \text{ m}$, $W_{winA}=1.2 \text{ m}$

Τέσσερα Παράθυρα: $H_{winB}=0.9 \text{ m}$, $W_{winB}=1.2 \text{ m}$

Τρεις μπαλκονόπορτες: $H_{blc}=2.1 \text{ m}$, $W_{blc}=2.5 \text{ m}$

Τοιχώματα: Τούβλο πάχους $d_{opt}=12 \text{ cm}$

Τσιμεντοκονία $d_{ts}=2 \text{ cm}$ (μέσα-έξω)

Διογκωμένη Πολυστερίνη $d_{polroof}=2 \text{ cm}$

Αμόνωτη θεμελιακή πλάκα με δείκτη διαμόρφωσης $F_p=0.935 \text{ W/m/K}$

Παράθυρα-Μπαλκονόπορτες-Διπλού Υάλου με διάκενο αέρα 12 mm

Κουφώματα αλουμινίου χωρίς θερμοδιακοπή και ποσοστό πλαισίου 20%

Πόρτα: ξύλινη πάχους $d_{door}=16 \text{ cm}$

Δεδομένα: $\rho_{air}=1.225 \text{ kg/m}^3$, ειδική θερμοχωρητικότητα αέρα $c_{p,air}=1 \text{ kJ/kg/K}$

Θερμοπερατότητα υαλοπίνακα $U_g=2.8 \text{ W/m}^2/\text{K}$, θερμοπερατότητα κουφώματος $U_f=7$

$\text{W/m}^2/\text{K}$, γραμμικός συντελεστής κουφώματος $\Psi_g=0.02 \text{ W/m/K}$, συντελεστής θερμικής

αγωγιμότητας τούβλου $k_{opt}=0.727 \text{ W/m/K}$, διογκωμένη πολυστερίνη $k_{prot}=0.035 \text{ W/m/K}$,

ασβεστοκονίαμα $k_{ts}=0.87 \text{ W/m/K}$, σκυρόδεμα $K_{sk}=1.73 \text{ W/m/K}$, ξύλο πόρτας $k_{door}=0.18$

W/m/K , συντελεστές συναγωγής: εξωτερικής επιφάνειας $h_E=25 \text{ W/m}^2/\text{K}$, εσωτερικής

επιφάνειας $h_i=7.7 \text{ W/m}^2/\text{K}$

ΛΥΣΗ

Συνολική θερμική αντίσταση κάθετων επιφανειών:

$$r_{ad} = \frac{1}{h_E} (\text{εξωτερική επιφάνεια}) + \frac{d_{opt}}{k_{opt}} (\text{τούβλα}) + \frac{d_{pot}}{k_{pot}} (\text{εξηλ. πολυστ.}) + \frac{2d_{ts}}{k_{ts}} (\text{τσιμ. μέσα - εξω}) + \frac{1}{h_i} (\text{εξωτερική επιφάνεια}) = 1.238 \text{ m}^2\text{K/W}$$

=> Συντελεστής θερμοπερατότητας κάθετων αδιαφανών επιφανειών

$$U_{ad} = \frac{1}{r_{ad}} = 0.808 \text{ W/m}^2\text{/K}$$

Θερμική αντίσταση οροφής

$$r_{roof} = \frac{1}{h_E} + \frac{d_{roof}}{h_{bt}} + \frac{d_{tsroof}}{h_{ts}} + \frac{d_{polroof}}{k_{pol}} + \frac{1}{h_i} = 0.834 \text{ m}^2\text{K/W}$$

=> συντελεστής θερμοπερατότητας οροφής

$$U_{roof} = \frac{1}{r_{roof}} = 1.199 \text{ W/m}^2\text{/K}$$

Θερμική αντίσταση πόρτας

$$r_{door} = \frac{1}{h_E} + \frac{d_{door}}{k_{door}} + \frac{1}{h_i} = 1.059 \text{ m}^2\text{K/W}$$

=>συντελεστής θερμοπερατότητας πόρτας

$$U_{door} = \frac{1}{r_{door}} = 0.945 \text{ W/m}^2/\text{K}$$

Συνολική κάθετη επιφάνεια αδιαφανής=επιφάνεια κτιρίου με αφαίρεση επιφάνειας ανοιγμάτων

$$Area_{vert} = (2L_s (\text{μήκος}) H_{or} (\text{ύψος}) + 2W_s (\text{πλάτος ορόφου}) H_{or}) \cdot 2 = 294 \text{ m}^2$$

$$Area_{open} = H_{door} W_{door} + 8H_{winA} W_{winA} + 4H_{winB} W_{winB} + 3H_{blc} W_{blc} = 46.59 \text{ m}^2$$

$$\Rightarrow Area_{totVert} = Area_{vert} - Area_{open} = 247.41 \text{ m}^2$$

Επιφάνεια υαλοπινάκων

$$A_g = (8H_{winA} W_{winA} + 3H_{blc} W_{blc} + 4H_{winB} W_{winB}) \cdot 0.8 = 35.256 \text{ m}^2$$

Επιφάνεια πόρτας

$$A_{door} = H_{door} W_{door} = 2.52 \text{ m}^2$$

Επιφάνεια κουφωμάτων

$$A_f = (8H_{winA} W_{winA} + 3H_{blc} W_{blc} + 4H_{winB} W_{winB}) \cdot 0.2 = 8.814 \text{ m}^2$$

Περίμετρος Κουφωμάτων

$$I_g = 8 \cdot (2H_{winA} + 2W_{winA}) + 4 \cdot (2H_{winB} + 2W_{winB}) + 3 \cdot (2H_{blc} + 2W_{blc}) \\ = 100.4 \text{ m}$$

=>Συνολικός συντελεστής θερμοπερατότητας διαφανών επιφανειών

$$U_d = \frac{A_g \cdot U_g (\text{υαλοπινάκων}) + A_f \cdot U_f (\text{επιφάνεια κουφωμάτων}) + \Psi_g \cdot I_g (\text{περιμετρικές απώλειες})}{A_g + A_f}$$

Περίμετρος Κτιρίου

$$\Pi = 2L_s + 2W_s = 42 \text{ m}$$

Εμβαδόν Οροφής

$$A_{roof} = L_s W_s = 104 \text{ m}^2$$

Όγκος κτιρίου

$$V_b = A_{roof} \cdot 2H_{or} = 728 \text{ m}^3$$

=>Συνολικός συντελεστής BLC του κτιρίου είναι:

$$BLC = U_{ad} \cdot Area_{totvert} + U_{door} \cdot A_{door} + U_{roof} \cdot A_{roof} + U_d \cdot Area_{open} + (f_p \cdot \Pi (\text{απώλειες θεμελιακής πλάκας}) + c p_{air} \cdot \rho_{air} \cdot V_b \cdot k_{air} / t) = 909 \text{ W/K}$$

όπου K_{air} η ανανέωση αέρα σε χρόνο $t = 1 \text{ h}$.

Θερμικά κέρδη σε Κτίριο

Ανθρώπινη δραστηριότητα: 150 W/h, Ύπνος: 85 W, Διάβασμα: 120 W, Φωτισμός-Ηλεκτρικές συσκευές 4 W/m² για όλο το έτος

Ηλιακή συνεισφορά (από διαφανή στοιχεία): $\dot{q}_d = \sum F \cdot G \cdot A_d \cdot SHGC$ όπου F ο συντελεστής σκίασης και SHGC ο συντελεστής ηλιακών θερμικών κερδών ή ανά μήνα i:

$$\dot{q}_{rad,i} = \sum_i (F_{av,i} \cdot H_i \cdot A_d (\nu αλοπίνακες + κουφώματα) \cdot SHGC)$$

Από αδιαφανή στοιχεία:

$$\dot{q}_{ad} = \sum F \cdot G \cdot A_d \cdot \alpha (\text{συντελεστής απορρόφησης})$$

ή ανά μήνα $\dot{q}_{ad} = \sum F_{av,i} \cdot H_i \cdot A_d \cdot \alpha$

Απώλειες $\sum \dot{q}_{loss} = BLG \cdot (T_{out} - T_{in})$

Για ανάγκη θέρμανσης σε μια ημέρα $\dot{q}_{loss,day,hp} = BLG \cdot \int_{day} (T_{out} - T_{hp}) dt$ όπου $T_{hp}=19^\circ\text{C}$ ή 20°C

Για ανάγκη ψύξης σε μια ημέρα $\dot{q}_{loss,day,cp} = BLG \cdot \int_{day} (T_{out} - T_{cp}) dt$ όπου $T_{cp}=25^\circ\text{C}$

Για ανάγκες θέρμανσης στο μήνα i $\dot{q}_{loss,month,hp} = -BLG \cdot \sum_{Ni} \int_{day} (T_{hp} - T_{out}) dt$ όπου $\sum_{Ni} \int_{day} (T_{hp} - T_{out}) = DD_{HP,i}$ =βαθμοημέρες θέρμανσης μήνα i

Για ανάγκες ψύξης στο μήνα i $\dot{q}_{loss,month,cp} = BLG \cdot \sum_{Ni} \int_{day} (T_{out} - T_{cp}) dt$ όπου $\sum_{Ni} \int_{day} (T_{out} - T_{cp}) = DD_{CP,i}$ =βαθμοημέρες ψύξης μήνα i

=> $q_{heat,i} = BLC \cdot DD_{HP,i} - q_{gain,i}$

=> $q_{cool,i} = BLC \cdot DD_{CP,i} + q_{gain,i}$