

ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ ΚΕΦΑΛΑΙΟΥ 2

1. (2.3.4.) Εφαρμογές για ενεργειακό ισοζύγιο μάζας και επιφάνειας

Εφαρμογή 1.

Τμήμα αεραγωγού θέρμανσης μίας οικίας με διαστάσεις 30cmx35cm (εγκάρσια διατομή) διέρχεται από μη θερμαινόμενο χώρο. Ο θερμός αέρας εισέρχεται στον αγωγό σε θερμοκρασία 65°C, πίεση 101,325kPa και μέση ταχύτητα 5,2m/s. Η θερμοκρασία του αέρα στον αγωγό ελαττώνεται στους 55°C λόγω απώλειας θερμότητας προς το μη θερμαινόμενο χώρο. Να προσδιοριστεί ο ρυθμός απώλειας θερμότητας από τον αέρα στον αγωγό κάτω από σταθερές συνθήκες.

Απάντηση

Η μέση θερμοκρασία του θερμού αέρα θα είναι:

$$T_0 = \frac{T_{in} + T_{out}}{2} = \frac{65 + 55}{2} = 60^{\circ}\text{C}$$

Η ειδική θερμότητα υπό σταθερή πίεση του αέρα στη μέση θερμοκρασία των 60°C με βάση τα στοιχεία του Πίνακα Π13 του Παραρτήματος Ι είναι 1,007kJ/kg.K.

Επειδή το σύστημα θέρμανσης του αεραγωγού είναι σύστημα σταθερής ροής, ο ρυθμός της απώλειας θερμότητας από τον θερμό αέρα στον αγωγό προσδιορίζεται από τη σχέση:

$$\dot{Q}_{απωλ} = \dot{m}c_p \Delta T = \dot{m}c_p (T_{in} - T_{out})$$

Η πυκνότητα του αέρα στις συνθήκες εισόδου θα είναι:

$$\rho = \frac{p}{RT} = \frac{101,325\text{kPa}}{(0,287\text{kPa} \cdot \text{m}^3 / \text{kg} \cdot \text{K})(65 + 273)\text{K}} = 1,04452\text{kg} / \text{m}^3$$

Η επιφάνεια της εγκάρσιας διατομής του αεραγωγού είναι:

$$A_c = (0,30\text{m})(0,35\text{m}) = 0,105\text{m}^2$$

Η παροχή μάζας δια μέσου του αγωγού θα είναι:

$$\dot{m} = \rho A_c (5,2\text{m} / \text{s})(0,105\text{m}^2) = 0,5703\text{kg} / \text{s}$$

Επομένως ο ρυθμός της απώλειας θερμότητας θα είναι:

$$\dot{Q}_{απωλ} = \dot{m}c_p (T_{in} - T_{out}) = (0,5703\text{kg} / \text{s})(1,007\text{kJ} / \text{kg} \cdot ^{\circ}\text{C})(65 - 55)^{\circ}\text{C} = 5,742921\text{kJ} / \text{s}$$

$$\dot{h}\dot{Q}_{απωλ} = 5,742921 \cdot 3600 = 20674,5156\text{kJ} / \text{h} \quad \text{ή} \quad \dot{Q}_{απωλ} = 20674,5156 \cdot 0,239 = 4941,209\text{kcal} / \text{h}$$

Συμπέρασμα: Η απώλεια από το τμήμα του αεραγωγού που βρίσκεται σε μη θερμαινόμενο χώρο είναι μεγάλη και ο αεραγωγός πρέπει να μονωθεί.

Εφαρμογή 2

Να υπολογιστεί η ποσότητα της ενέργειας που μεταφέρεται στον αέρα θερμαινόμενης οικίας διαστάσεων 10mx12mx3,0m. Η οικία έχει αρχική ομοιόμορφη θερμοκρασία 8°C και μία μέση θερμοκρασία μετά τη θέρμανση 22°C. Η πίεση στο εσωτερικό της οικίας είναι 100kPa. Ο υπολογισμός να γίνει αρχικά υποθέτοντας ότι η οικία είναι

αεροστεγής και δεν υπάρχουν απώλειες και στη συνέχεια ότι υπάρχει κάποια ποσότητα ενέργειας που διαφεύγει από τις χαραμάδες καθώς ο θερμαινόμενος αέρας διαστέλλεται υπό καθεστώς σταθερής πίεσης.

Απάντηση

Ο όγκος του αέρα στο εσωτερικό της οικίας είναι:

$$V = (10m)(12m)(3,0m) = 360,0m^3$$

Η μάζα του αέρα στο εσωτερικό της οικίας είναι:

$$m = \frac{PV}{RT} = \frac{(100kPa)(360m^3)}{(0,287kPa \cdot m^3 / kg \cdot K)(8 + 273)} = 446,3898kg$$

Η ποσότητα της ενέργειας που μεταφέρεται στον αέρα υπό καθεστώς σταθερού όγκου είναι η μεταβολή της εσωτερικής ενέργειας και προσδιορίζεται από την εξίσωση:

$$\dot{E}_{in} - \dot{E}_{out} = \Delta E_{\text{συστημ.}}$$

Η μέση θερμοκρασία του αέρα στο εσωτερικό της οικίας θα είναι:

$$T_0 = \frac{T_{\alpha\rho\chi} + T_{\tau\epsilon\lambda}}{2} = \frac{8 + 22}{2} = 15^\circ\text{C}$$

Η ειδική θερμότητα υπό σταθερή πίεση στη μέση θερμοκρασία των 15°C με βάση τα στοιχεία του πίνακα Π13 του παραρτήματος Ι είναι $1,007\text{kJ/kg}\cdot\text{K}$

Η ειδική θερμότητα υπό σταθερό όγκο θα είναι:

$$c_v = c_p - R = 1,007 - 0,287 = 0,72\text{kJ} / \text{kg} \cdot \text{K}$$

Η ενέργεια εισόδου που μεταφέρεται στον αέρα υπό σταθερό όγκο θα είναι:

$$\begin{aligned} E_{inV} &= \Delta U_{\alpha\epsilon\rho\alpha} = mc_v \Delta T = mc_v (T_{\tau\epsilon\lambda} - T_{\alpha\rho\chi}) \Rightarrow \\ E_{inV} &= (446,3898\text{kg})(0,72\text{kJ} / \text{kg} \cdot ^\circ\text{C})(22 - 8)^\circ\text{C} = 4499,609\text{kJ} \\ \text{ή } E_{inV} &= 4499,609 \cdot 0,239 = 1075,406\text{kcal} \end{aligned}$$

Η ειδική θερμότητα υπό σταθερό όγκο θα είναι:

$$c_v = c_p - R = 1,007 - 0,287 = 0,72\text{kJ} / \text{kg} \cdot \text{K}$$

Η ποσότητα της ενέργειας που μεταφέρεται στον αέρα υπό καθεστώς σταθερής πίεσης είναι ίση με την μεταβολή στην ενθαλπία και προσδιορίζεται από τη σχέση:

$$\begin{aligned} E_{inP} &= \Delta H_{\alpha\epsilon\rho\alpha} = mc_p \Delta T = mc_p (T_{\tau\epsilon\lambda} - T_{\alpha\rho\chi}) \Rightarrow \\ E_{inP} &= (446,3898\text{kg})(1,007\text{kJ} / \text{kg} \cdot ^\circ\text{C})(22 - 8)^\circ\text{C} = 6293,203\text{kJ} \\ \text{ή } E_{inP} &= 6293,203 \cdot 0,239 = 1504,075\text{kcal} \end{aligned}$$

Συμπέρασμα: Ο δεύτερος τρόπος υπολογισμού είναι πιο κοντά στις πραγματικές συνθήκες θέρμανσης μιας οικίας.

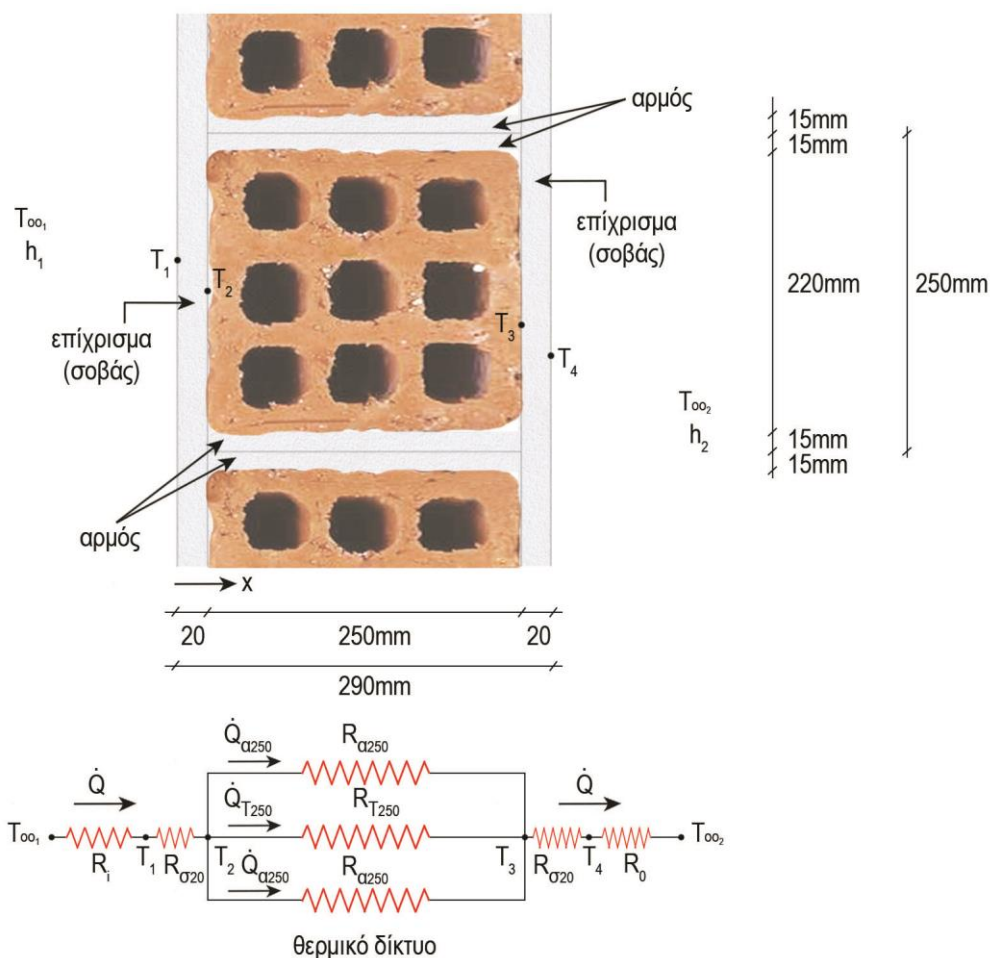
2. (2.4.3.6.) Εφαρμογές για μεταβίβαση θερμότητας με αγωγή

Εφαρμογή 1

Να υπολογιστεί ο ρυθμός απώλειας θερμότητας διαμέσου ενός τοίχου δωματίου που είναι οπτοπλινθοδομή (τοίχος κατασκευασμένος με τούβλα 250mmx250mmx330mm), πάχους 290mm, ύψους 3,50m και μήκους 8,0m με θερμική αγωγιμότητα $k_{\text{τοιχ}}=0,72\text{W/m.K}$ (στοιχεία από τον πίνακα Π16 του Παραρτήματος Ι). Ο τοίχος φέρει αρμούς σύνδεσης συνολικού πάχους 20mm και επίχρισμα (σοβάς) πάχους 20mm και από τις δύο πλευρές από ασβεστοκονίαμα και μικρή πρόσμιξη τσιμέντου με θερμική αγωγιμότητας $k_{\text{επιχρ}}=0,81\text{W/m.K}$. Η θερμοκρασία στον εσωτερικό χώρο είναι 22°C και στον εξωτερικό -8°C . Ο συντελεστής μεταφοράς θερμότητας στην εσωτερική επιφάνεια είναι $h_1=10\text{W/m}^2.\text{K}$ και στην εξωτερική $h_2=30\text{W/m}^2.\text{K}$ (περιλαμβάνει και τις επιδράσεις της ακτινοβολίας). Να προσδιοριστεί επίσης η θερμοκρασία της εσωτερικής και της εξωτερικής επιφάνειας του τοίχου.

Απάντηση

Παραδοχές: Η μεταφορά θερμότητας διαμέσου του τοίχου είναι μόνιμη και μονοδιάστατη και η θερμική αγωγιμότητα σταθερή.



Σχήμα 2.12. Σχηματική απεικόνιση του τοίχου της εφαρμογής 1

Έχουμε συναγωγή στις επιφάνειες του τοίχου και αγωγή διαμέσου του τοίχου.

Η συνολική επιφάνεια του τοίχου είναι: $A_{\text{τοιχ}}=(3,50\text{m})\times(8,0\text{m})=28\text{m}^2$.

Στην κατασκευή αυτού του τοίχου δεν υπάρχει μεταβολή ως προς την οριζόντια κατεύθυνση (290mm) ενώ το πρότυπο κατασκευής (σχήμα 2.12) επαναλαμβάνεται κάθε 250mm κατά την κάθετη κατεύθυνση.

Υποθέτοντας πως οποιαδήποτε διατομή του τοίχου κάθετη προς την κατεύθυνση x είναι ισοθερμική, το δίκτυο θερμικής αντίστασης για το αντιπροσωπευτικό τμήμα του τοίχου ($0,25\text{m}\times 1,0\text{m}=0,25\text{m}^2$) θα έχει τη μορφή του σχήματος (2.12).

- Για τη θερμική αντίσταση σε κάθε τμήμα θα έχουμε:
- Εσωτερική πλευρά τοιχώματος

$$R_i = R_{\text{συναγ},1} = \frac{1}{h_1 A} = \frac{1}{(10 \text{ W} / \text{m}^2 \cdot \text{K})(0,25 \text{ m} \times 1,0 \text{ m})} = 0,40^\circ \text{C} / \text{W}$$

$$R_{\sigma_{20}} = \frac{L_{20}}{k_{\sigma_{20}} A} = \frac{0,020 \text{ m}}{(0,81 \text{ W} / \text{m} \cdot \text{K})(0,25 \text{ m} \times 1,0 \text{ m})} = 0,09876^\circ \text{C} / \text{W}$$

$$R_{\text{εσ.πλ.}} = R_{\text{συναγ},1} + R_{\sigma_{20}} = 0,40^\circ \text{C} / \text{W} + 0,09876^\circ \text{C} / \text{W} = 0,49876^\circ \text{C} / \text{W}$$

- Τμήμα οπτοπλινθοδομής

$$R_{\alpha_{250}} = \frac{L_{250}}{k_{\alpha_{250}} A} = \frac{0,25}{0,81 \cdot (0,015 \times 1,0)} = 20,57613^\circ \text{C} / \text{W}$$

$$R_{\tau_{250}} = \frac{L_{250}}{k_{\tau_{250}} A} = \frac{0,25}{0,72 \cdot (0,22 \times 1,0)} = 1,57828^\circ \text{C} / \text{W}$$

$$R_{\text{τμ.οπτ.}} = \frac{1}{R_{\alpha_{250}}} + \frac{1}{R_{\tau_{250}}} + \frac{1}{R_{\alpha_{250}}} = \frac{R_{\alpha_{250}} \cdot R_{\tau_{250}} \cdot R_{\alpha_{250}}}{R_{\alpha_{250}} \cdot R_{\tau_{250}} + R_{\tau_{250}} \cdot R_{\alpha_{250}} + R_{\alpha_{250}} \cdot R_{\alpha_{250}}} = \frac{R_{\tau_{250}} \cdot R_{\alpha_{250}}}{2R_{\tau_{250}} + R_{\alpha_{250}}} \Rightarrow$$

$$R_{\text{τμ.οπτ.}} = \frac{1,57828 \cdot 20,57613}{2 \cdot 1,57828 + 20,57613} = 1,36836^\circ \text{C} / \text{W}$$

- Εξωτερική πλευρά τοιχώματος

$$R_{\sigma_{20}} = \frac{L_{20}}{k_{\sigma_{20}} A} = \frac{0,020 \text{ m}}{0,81(0,25 \times 1,0)} = 0,09876^\circ \text{C} / \text{W}$$

$$R_o = R_{\text{συναγ},2} = \frac{1}{h_2 A} = \frac{1}{30(0,25 \times 1,0)} = 0,13333^\circ \text{C} / \text{W}$$

$$R_{\text{εξ.πλ.}} = R_{\sigma_{20}} + R_{\text{συναγ},2} = 0,09876 + 0,13333^\circ \text{C} / \text{W} = 0,23209^\circ \text{C} / \text{W}$$

- Η ολική θερμική αντίσταση θα είναι:

$$R_{\text{ολ}} = R_{\text{εσ.πλ.}} + R_{\text{τμ.οπτ.}} + R_{\text{εξ.πλ.}} = 0,49876 + 1,36836 + 0,23209 = 2,09921^\circ \text{C} / \text{W}$$

- Ο σταθερός ρυθμός μεταφοράς θερμότητας ανά επιφάνεια εμβαδού $0,25 \text{ m}^2$ θα είναι:

$$\dot{Q} = \dot{Q}_{\alpha_{250}} + \dot{Q}_{\tau_{250}} + \dot{Q}_{\alpha_{250}} = \frac{T_{\infty 1} - T_{\infty 2}}{R_{\text{ολ}}} = \frac{[22 - (-8)]^\circ \text{C}}{2,09921^\circ \text{C} / \text{W}} = 14,29109 \text{ W}$$

- Ο σταθερός ρυθμός μεταφοράς θερμότητας ανά m^2 θα είναι:

$$\dot{q} = \dot{Q} / A = 14,29109 / 0,25 = 57,16436 \text{ W} / \text{m}^2$$

Ο σταθερός ρυθμός μεταφοράς θερμότητας διαμέσου ολόκληρου του τοίχου θα είναι:

$$\dot{Q}_{\text{ολ.τ}} = A_{\text{τ.ολ}} \dot{q} = (28 \text{ m}^2)(57,16436 \text{ W} / \text{m}^2) = 1600,60208 \text{ W}$$

$$\text{και } \dot{Q}_{\text{ολ.τ}} = 1,6006 \text{ kW} \text{ ή } 1,6006 \cdot 859,8 = 1376,19588 \text{ kcal} / \text{h}$$

Σημείωση:

$$1W / m^2 \cdot K = 0,86kcal / m^2 \cdot h \cdot K \text{ και } 1kcal / m^2 \cdot h \cdot K = 1,163W / m^2 \cdot K, \quad 1kW = 859,8kcal / h \approx 860kcal / h$$

- Για τη θερμοκρασία σε κάθε πλευρά του τοιχώματος θα έχουμε:

- Εσωτερική πλευρά τοιχώματος σημείο T_1

$$\dot{Q} = \frac{T_{\infty 1} - T_1}{R_i} \Rightarrow T_1 = T_{\infty 1} - \dot{Q}R_i = (22^\circ C) - (14,29109W \cdot 0,40^\circ C / W) = 16,28356^\circ C$$

- Εξωτερική πλευρά τοιχώματος σημείο T_4

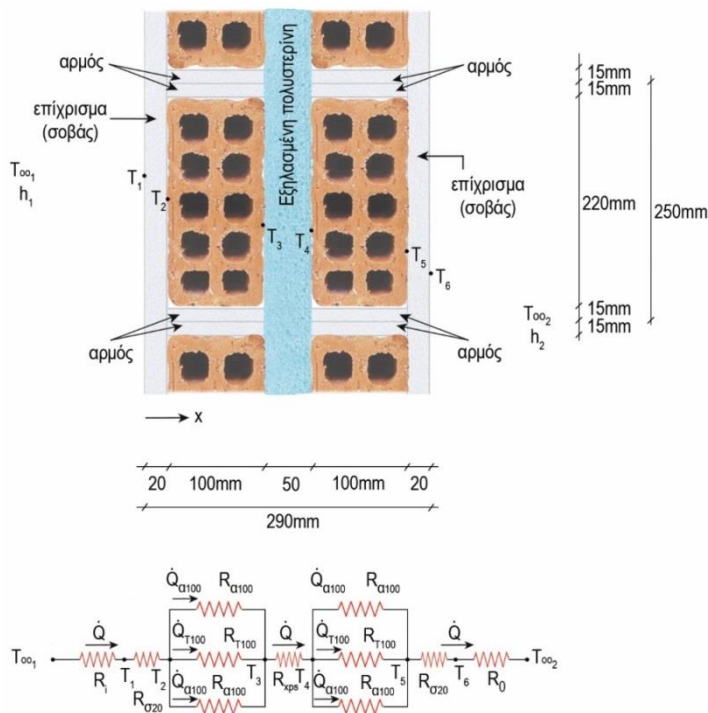
$$\dot{Q} = \frac{T_{\infty 1} - T_4}{R_{\varepsilon\sigma.\pi\lambda.} + R_{\eta\mu.\sigma\pi\tau.} + R_{\sigma 20}} \Rightarrow T_4 = T_{\infty 1} - \dot{Q}(R_{\varepsilon\sigma.\pi\lambda.} + R_{\eta\mu.\sigma\pi\tau.} + R_{\sigma 20}) \Rightarrow$$

$$T_4 = 22 - 14,29109(0,49876 + 1,36836 + 0,09876) = -6,09456^\circ C$$

Εφαρμογή 2

Αν αντί της οπτοπλινθοδομής της εφαρμογής 1, κατασκευαστεί οπτοπλινθοδομή με τις ίδιες διαστάσεις και χαρακτηριστικά αλλά με ενδιάμεσο μονωτικό στρώμα, όπως στο σκαρίφημα του σχήματος 2.13, να υπολογιστεί ο ρυθμός απώλειας θερμότητας διαμέσου του τοίχου καθώς και η θερμοκρασία της εσωτερικής και της εξωτερικής επιφάνειας του τοίχου. Ο συντελεστής αγωγιμότητας για την εξηλασμένη πολυστερίνη (xps) πάχους 50mm είναι $k_{xps} = 0,033W/m.K$.

Απάντηση



Σχήμα 2.13. Σχηματική απεικόνιση του τοίχου της εφαρμογής 2

Υποθέτοντας πως οποιαδήποτε διατομή του τοίχου κάθετη προς την κατεύθυνση x είναι ισοθερμική, το δίκτυο θερμικής αντίστασης για το αντιπροσωπευτικό τμήμα του τοίχου ($0,25m \times 1,0m = 0,25m^2$) θα έχει τη μορφή του σχήματος (2.13).

- Για τη θερμική αντίσταση σε κάθε τμήμα θα έχουμε:
- Εσωτερική πλευρά τοιχώματος

$$R_i = R_{\sigma_{\nu\alpha\gamma,1}} = \frac{1}{h_1 A} = \frac{1}{(10W / m^2 \cdot K)(0,25m \times 1,0m)} = 0,40^\circ C / W$$

$$R_{\sigma_{20}} = \frac{L_{20}}{k_{\sigma_{20}} A} = \frac{0,020m}{(0,81W / m \cdot K)(0,25m \times 1,0m)} = 0,09876^\circ C / W$$

$$R_{\sigma_{\pi\lambda}} = R_{\sigma_{\nu\alpha\gamma,1}} + R_{\sigma_{20}} = 0,40^\circ C / W + 0,09876^\circ C / W = 0,49876^\circ C / W$$

- Τμήμα εσωτερικής οπτοπλινθοδομής

$$R_{\alpha_{100}} = \frac{L_{100}}{k_{\alpha_{100}} A} = \frac{0,10}{0,81 \cdot (0,015 \times 1,0)} = 8,23045^\circ C / W$$

$$R_{\epsilon_{100}} = \frac{L_{100}}{k_{\epsilon_{100}} A} = \frac{0,10}{0,72 \cdot (0,22 \times 1,0)} = 0,63131^\circ C / W$$

$$R_{\epsilon_{\sigma\omega\tau, \tau\mu, \sigma\pi\tau}} = \frac{1}{R_{\alpha_{100}}} + \frac{1}{R_{\epsilon_{100}}} + \frac{1}{R_{\alpha_{100}}} = \frac{R_{\alpha_{100}} \cdot R_{\epsilon_{100}} \cdot R_{\alpha_{100}}}{R_{\alpha_{100}} \cdot R_{\epsilon_{100}} + R_{\epsilon_{100}} \cdot R_{\alpha_{100}} + R_{\alpha_{100}} \cdot R_{\alpha_{100}}} = \frac{R_{\epsilon_{100}} \cdot R_{\alpha_{100}}}{2R_{\epsilon_{100}} + R_{\alpha_{100}}} \Rightarrow$$

$$R_{\epsilon_{\sigma\omega\tau, \tau\mu, \sigma\pi\tau}} = \frac{0,63131 \cdot 8,23045}{2 \cdot 0,63131 + 8,23045} = 0,54734^\circ C / W$$

- Μεσαίο τμήμα

$$R_{\chi\pi\sigma} = \frac{L_{50}}{k_{\chi\pi\sigma} A} = \frac{0,05}{0,033(0,25 \times 1,0)} = 6,06060^\circ C / W$$

- Εξωτερικό τμήμα οπτοπλινθοδομής

Επειδή τα εξωτερικό τμήμα της οπτοπλινθοδομής είναι ίδιο με το εσωτερικό τμήμα θα έχουμε:

$$R_{\epsilon_{\sigma\omega\tau, \tau\mu, \sigma\pi\tau}} = R_{\epsilon_{\sigma\omega\tau, \tau\mu, \sigma\pi\tau}} = 0,54734^\circ C / W$$

- Εξωτερική πλευρά τοιχώματος

$$R_{\sigma_{20}} = 0,09876^\circ C / W, R_o = R_{\sigma_{\nu\alpha\gamma,2}} = \frac{1}{h_2 A} = \frac{1}{30(0,25 \times 1,0)} = 0,13333^\circ C / W$$

$$R_{\epsilon_{\sigma\pi\lambda}} = R_{\sigma_{20}} + R_{\sigma_{\nu\alpha\gamma,2}} = 0,09876 + 0,13333^\circ C / W = 0,23209^\circ C / W$$

- Η ολική θερμική αντίσταση θα είναι:

$$R_{\alpha\lambda} = R_{\varepsilon\sigma.\pi\lambda.} + R_{\varepsilon\sigma\omega\tau.\tau\mu.ο\pi\tau.} + R_{\chi\rho\sigma} + R_{\varepsilon\zeta\omega\tau.\tau\mu.ο\pi\tau.} + R_{\varepsilon\zeta.\pi\lambda.} \Rightarrow$$

$$R_{\alpha\lambda} = 0,49876 + 0,54734 + 6,06060 + 0,54734 + 0,23209 = 7,88613^\circ\text{C} / \text{W}$$

- Ο σταθερός ρυθμός μεταφοράς θερμότητας ανά επιφάνεια εμβαδού $0,25\text{m}^2$ θα είναι:

$$\dot{Q} = \dot{Q}_{\alpha_{250}} + \dot{Q}_{\tau_{250}} + \dot{Q}_{\alpha_{250}} = \frac{T_{\infty 1} - T_{\infty 2}}{R_{\alpha\lambda}} = \frac{[22 - (-8)]^\circ\text{C}}{7,88613^\circ\text{C} / \text{W}} = 3,80414\text{W}$$

- Ο σταθερός ρυθμός μεταφοράς θερμότητας ανά m^2 θα είναι:

$$\dot{q} = \dot{Q} / A = 3,80414 / 0,25 = 15,21656\text{W} / \text{m}^2$$

Ο σταθερός ρυθμός μεταφοράς θερμότητας διαμέσου ολόκληρου του τοίχου θα είναι:

$$\dot{Q}_{\alpha\lambda.\tau} = A_{\tau.\alpha\lambda} \dot{q} = (28\text{m}^2)(15,21656\text{W} / \text{m}^2) = 426,06368\text{W}$$

$$\text{και } \dot{Q}_{\alpha\lambda.\tau} = 0,42606\text{kW} \text{ ή } 0,42606 \cdot 859,8 = 366,32638\text{kcal} / \text{h}$$

- Για τη θερμοκρασία σε κάθε πλευρά του τοιχώματος θα έχουμε:
- Εσωτερική πλευρά τοιχώματος σημείο T_1

$$\dot{Q} = \frac{T_{\infty 1} - T_1}{R_i} \Rightarrow T_1 = T_{\infty 1} - \dot{Q} R_i = (22^\circ\text{C}) - (3,80414\text{W} \cdot 0,40^\circ\text{C} / \text{W}) = 20,47834^\circ\text{C}$$

- Εξωτερική πλευρά τοιχώματος σημείο T_6

$$\dot{Q} = \frac{T_{\infty 1} - T_6}{R_{\varepsilon\sigma.\pi\lambda.} + R_{\varepsilon\sigma\omega\tau.\tau\mu.ο\pi\tau.} + R_{\chi\rho\sigma} + R_{\varepsilon\zeta\omega\tau.\tau\mu.ο\pi\tau.} + R_{\sigma_{20}}} \Rightarrow$$

$$T_4 = T_{\infty 1} - \dot{Q}(R_{\varepsilon\sigma.\pi\lambda.} + R_{\varepsilon\sigma\omega\tau.\tau\mu.ο\pi\tau.} + R_{\chi\rho\sigma} + R_{\varepsilon\zeta\omega\tau.\tau\mu.ο\pi\tau.} + R_{\sigma_{20}}) \Rightarrow$$

$$T_4 = 22 - 3,80414(0,49876 + 0,54734 + 6,06060 + 0,54734 + 0,09876) = -5,41057^\circ\text{C}$$

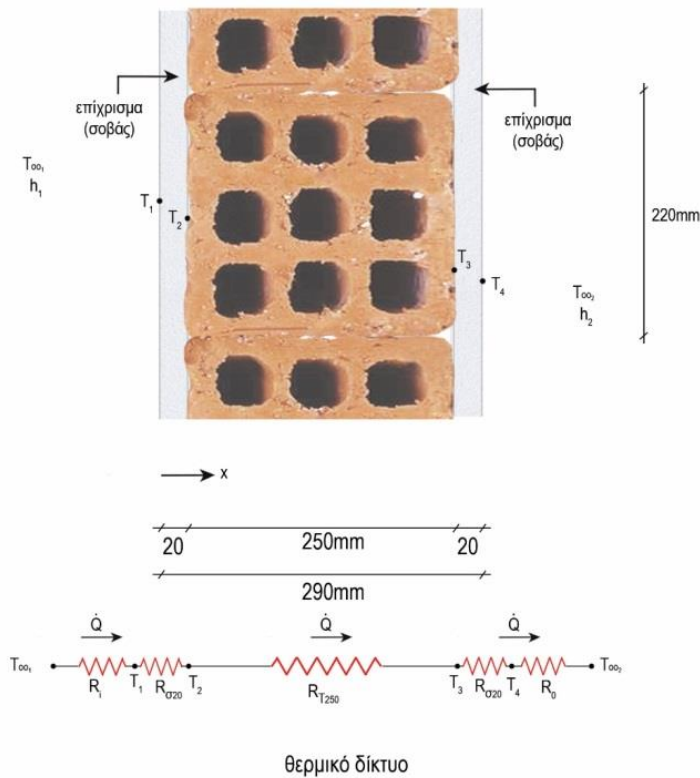
Συμπέρασμα: Η μεταφορά θερμότητας από τον εσωτερικό χώρο προς το περιβάλλον (απώλεια θερμότητας) με την τοποθέτηση μονωτικού υλικού στον τοίχο μειώνεται αισθητά. Η μείωση σε ποσοστό επί τοις εκατό είναι:

$$\varepsilon\% = 100 \frac{Q_{\alpha\lambda 1} - Q_{\alpha\lambda 2}}{Q_{\alpha\lambda 1}} = 100 \frac{1600,60208 - 426,06368}{1600,60208} = 73,381\%$$

Εφαρμογή 3

Να υπολογιστεί ο ρυθμός μεταφοράς θερμότητας διαμέσου του τοίχου της εφαρμογής 1, με τις ίδιες διαστάσεις και χαρακτηριστικά, χωρίς να ληφθούν υπόψη οι αρμοί σύνδεσης των τούβλων (οπτόπλινθων).

Απάντηση



Σχήμα 2.14. Σχηματική απεικόνιση του τοίχου της εφαρμογής 3.

Υποθέτοντας πως οποιαδήποτε διατομή του τοίχου κάθετη προς την κατεύθυνση x είναι ισοθερμική, το δίκτυο θερμικής αντίστασης για τα τρία τμήματα του τοίχου θα έχει τη μορφή του σχήματος (2.14).

- Για τη θερμική αντίσταση συναγωγής εσωτερικά του τοίχου θα έχουμε:

$$R_i = R_{\text{συναγ},1} = \frac{1}{h_1 A} = \frac{1}{(10 \text{ W} / \text{m}^2 \cdot \text{K})(3,5 \text{ m} \times 8,0 \text{ m})} = 3,57142 \cdot 10^{-3} \text{ } ^\circ\text{C} / \text{W}$$

- Για τη θερμική αντίσταση στο εσωτερικό επίχρισμα θα έχουμε:

$$R_{\sigma_{20}} = \frac{L_{20}}{k_{\sigma_{20}} A} = \frac{0,020 \text{ m}}{(0,81 \text{ W} / \text{m} \cdot \text{K})(3,50 \text{ m} \times 8,0 \text{ m})} = 0,88183 \cdot 10^{-3} \text{ } ^\circ\text{C} / \text{W}$$

- Για τη θερμική αντίσταση της οπτοπλινθοδομής θα έχουμε:

$$R_{r_{250}} = \frac{L_{250}}{k_{r_{250}} A} = \frac{0,25}{0,72 \cdot (3,50 \times 8,0)} = 12,40079 \cdot 10^{-3} \text{ } ^\circ\text{C} / \text{W}$$

- Για τη θερμική αντίσταση στο εξωτερικό επίχρισμα θα έχουμε:

$$R_{\sigma_{20}} = 0,88183 \cdot 10^{-3} \text{ } ^\circ\text{C} / \text{W}$$

- Για τη θερμική αντίσταση συναγωγής εξωτερικά του τοίχου θα έχουμε:

$$R_o = R_{\text{συναγ},2} = \frac{1}{h_2 A} = \frac{1}{(30 \text{ W} / \text{m}^2 \cdot \text{K})(3,5 \text{ m} \times 8,0 \text{ m})} = 1,19047 \cdot 10^{-3} \text{ } ^\circ\text{C} / \text{W}$$

- Η ολική θερμική αντίσταση θα είναι:

$$R_{\alpha\lambda} = R_{\sigma_{\nu\alpha\gamma},1} + R_{\sigma_{20}} + R_{r_{250}} + R_{\sigma_{20}} + R_{\sigma_{\nu\alpha\gamma},2} \Rightarrow$$

$$R_{\alpha\lambda} = (3,57142 + 0,88183 + 12,40079 + 0,88183 + 1,19047) \cdot 10^{-3} = 18,92634 \cdot 10^{-3} \text{ } ^\circ\text{C} / \text{W}$$

Ο σταθερός ρυθμός μεταφοράς θερμότητας διαμέσου ολόκληρου του τοίχου θα είναι:

$$\dot{Q}_{\alpha\lambda} = \frac{T_{\infty 1} - T_{\infty 2}}{R_{\alpha\lambda}} = \frac{[22 - (-8)]}{18,92634 \cdot 10^{-3}} = 1585,09252 \text{ W}$$

- Για τη θερμοκρασία σε κάθε πλευρά του τοιχώματος θα έχουμε:
- Εσωτερική πλευρά τοιχώματος σημείο T_1

$$\dot{Q} = \frac{T_{\infty 1} - T_1}{R_i} \Rightarrow T_1 = T_{\infty 1} - \dot{Q} R_i = (22^\circ\text{C}) - (1585,09252 \text{ W} \cdot 3,57142 \cdot 10^{-3} \text{ } ^\circ\text{C} / \text{W}) = 16,33896^\circ\text{C}$$

- Εξωτερική πλευρά τοιχώματος σημείο T_4

$$\dot{Q} = \frac{T_{\infty 1} - T_4}{R_{\sigma_{\nu\alpha\gamma},1} + R_{\sigma_{20}} + R_{r_{250}} + R_{\sigma_{20}}} \Rightarrow$$

$$T_4 = T_{\infty 1} - \dot{Q} (R_{\sigma_{\nu\alpha\gamma},1} + R_{\sigma_{20}} + R_{r_{250}} + R_{\sigma_{20}}) \Rightarrow$$

$$T_4 = 22 - 1585,09252 (3,57142 + 0,88183 + 12,40079 + 0,88183) \cdot 10^{-3} = -6,11299^\circ\text{C}$$

Το σφάλμα που προκύπτει αν δεν ληφθούν υπόψη οι αρμοί σύνδεσης των τούβλων είναι:

$$\varepsilon\% = 100 \frac{Q_{\alpha\lambda 1} - Q_{\alpha\lambda 2}}{Q_{\alpha\lambda 1}} = 100 \frac{1600,60208 - 1585,09252}{1600,60208} = 0,9689\%$$

Συμπέρασμα: Το σφάλμα είναι πολύ μικρό και για τους υπολογισμούς των απωλειών θερμότητας σε κατοικίες, γραφεία κλπ. θεωρείται αμελητέο.

Εφαρμογή 4

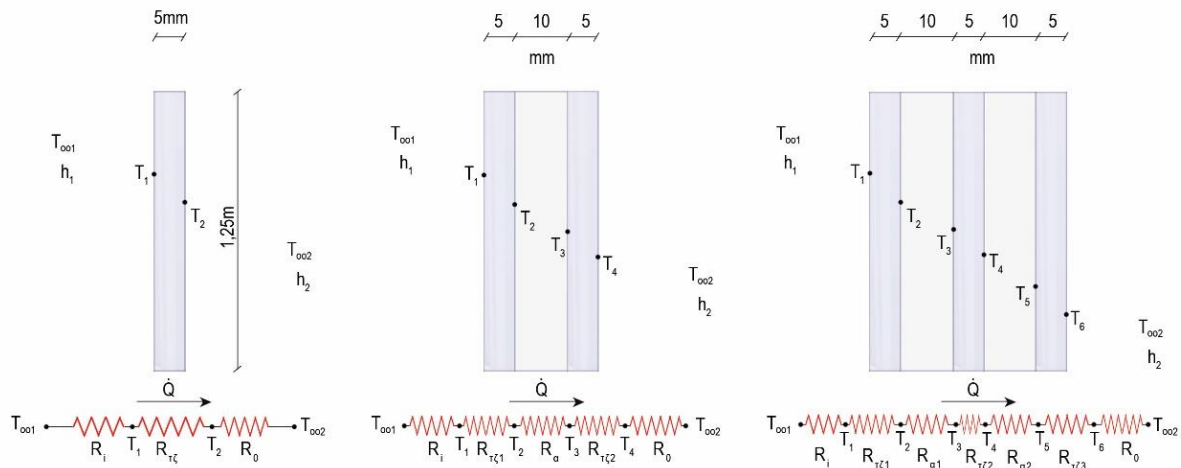
Να υπολογιστεί ο ρυθμός μόνιμης μεταφοράς θερμότητας καθώς και η θερμοκρασία της εσωτερικής και εξωτερικής επιφάνειας σε παράθυρο δωματίου διαστάσεων 1,25m ύψος και 1,40m πλάτος. Η θερμοκρασία δωματίου είναι 22°C ενώ η θερμοκρασία εξωτερικού χώρου -8°C . Ο συντελεστής μεταφοράς θερμότητας στην εσωτερική επιφάνεια του παραθύρου είναι $h_1=10\text{W/m}^2\cdot\text{K}$ ενώ στην εξωτερική $h_2=30\text{W/m}^2\cdot\text{K}$. Ο υπολογισμός να γίνει για τις εξής περιπτώσεις:

α). Για παράθυρο με μονό τζάμι πάχους 5mm και συντελεστή αγωγιμότητας $k_{\tau\zeta..}=0,78\text{W/m}\cdot\text{K}$

β). Για παράθυρο με διπλό τζάμι που περιλαμβάνει δύο στρώματα γυαλιού πάχους 5mm έκαστο με $k_{\tau\zeta..}=0,78\text{W/m}\cdot\text{K}$ που διαχωρίζονται με στάσιμο αέρα πάχους 10mm με $k_{\sigma\tau\cdot\alpha\epsilon\rho..}=0,026\text{W/m}\cdot\text{K}$

γ). Για παράθυρο με τριπλό τζάμι που περιλαμβάνει τρία στρώματα γυαλιού πάχους 5mm έκαστο με $k_{\tau\zeta..}=0,78\text{W/m}\cdot\text{K}$ που διαχωρίζονται με δύο κενά με στάσιμο αέρα πάχους 10mm έκαστο με $k_{\sigma\tau\cdot\alpha\epsilon\rho..}=0,026\text{W/m}\cdot\text{K}$.

Απάντηση



Σχήμα 2.15. Σχηματική απεικόνιση παραθύρου με μονό, διπλό και τριπλό τζάμι της εφαρμογής 4

Παραδοχές: Η μεταφορά θερμότητας διαμέσου του παραθύρου είναι μόνιμη (οι θερμοκρασίες επιφάνειας παραμένουν σταθερές σε συγκεκριμένες τιμές) και μονοδιάστατη και η θερμική αγωγιμότητα είναι σταθερή.

Στην περίπτωση αυτή έχουμε συναγωγή στις επιφάνειες των παραθύρων και αγωγή διαμέσου του γυάλινου παραθύρου. Ο υπολογισμός θα γίνει κάνοντας χρήση της έννοιας και του δικτύου της θερμικής αντίστασης.

Το εμβαδόν επιφάνειας του παραθύρου είναι:

$$A = A_{\text{παρ.ολ}} = 1,25 \cdot 1,40 = 1,75 \text{ m}^2$$

1. Παράθυρο με μονό τζάμι

- Για τις επί μέρους αντιστάσεις θα έχουμε:
- Θερμική αντίσταση συναγωγής στην εσωτερική επιφάνεια του παραθύρου:

$$R_i = R_{\text{συναγ.1}} = \frac{1}{h_1 A} = \frac{1}{(10 \text{ W / m}^2 \cdot \text{K})(1,75 \text{ m}^2)} = 57,14285 \cdot 10^{-3} \text{ }^\circ\text{C / W}$$

- Θερμική αντίσταση διαμέσου του τζαμιού

$$R_{\tau\zeta} = \frac{L_{\tau\zeta}}{k_{\tau\zeta} A} = \frac{0,005}{0,78 \cdot 1,75} = 3,66300 \cdot 10^{-3} \text{ }^\circ\text{C / W}$$

- Θερμική αντίσταση συναγωγής στην εξωτερική επιφάνεια του παραθύρου:

$$R_o = R_{\text{συναγ.2}} = \frac{1}{h_2 A} = \frac{1}{30 \cdot 1,75} = 19,04761 \cdot 10^{-3} \text{ }^\circ\text{C / W}$$

- Η ολική θερμική αντίσταση θα είναι:

$$R_{\text{ολ1}} = R_{\text{συναγ.1}} + R_{\tau\zeta} + R_{\text{συναγ.2}} \Rightarrow$$

$$R_{\text{ολ1}} = (57,14285 + 3,66300 + 19,04761) \cdot 10^{-3} = 79,85346 \cdot 10^{-3} \text{ }^\circ\text{C / W}$$

- Ο σταθερός ρυθμός μεταφοράς θερμότητας διαμέσου του παραθύρου με μονό τζάμι θα είναι:

$$\dot{Q}_{\alpha_1} = \frac{T_{\infty 1} - T_{\infty 2}}{R_{\alpha_1}} = \frac{[22 - (-8)]}{79,85346 \cdot 10^{-3}} = 375,68816W$$

- Για τη θερμοκρασία σε κάθε πλευρά του παραθύρου με μονό τζάμι θα έχουμε:
- Εσωτερική πλευρά παραθύρου (σημείο T_1)

$$\dot{Q}_{\alpha_1} = \frac{T_{\infty 1} - T_1}{R_{\text{συναγ.1}}} \Rightarrow T_1 = T_{\infty 1} - \dot{Q}_{\alpha_1} R_{\text{συναγ.1}} \Rightarrow$$

$$T_1 = (22^\circ\text{C}) - (375,68816W \cdot 57,14285 \cdot 10^{-3}^\circ\text{C} / W) = 0,53210^\circ\text{C}$$

- Εξωτερική πλευρά παραθύρου (σημείο T_2)

$$\dot{Q}_{\alpha_1} = \frac{T_{\infty 1} - T_2}{R_{\text{συναγ.1}} + R_{\tau_2}} \Rightarrow T_2 = T_{\infty 1} - \dot{Q}_{\alpha_1} (R_{\text{συναγ.1}} + R_{\tau_2}) \Rightarrow$$

$$T_2 = (22^\circ\text{C}) - (375,68816W \cdot 60,80585 \cdot 10^{-3}^\circ\text{C} / W) = -0,84403^\circ\text{C}$$

2. Παράθυρο με διπλό τζάμι

- Για τις επί μέρους αντιστάσεις θα έχουμε:
- Θερμική αντίσταση συναγωγής στην εσωτερική επιφάνεια του παραθύρου:

$$R_i = R_{\text{συναγ.1}} = \frac{1}{h_1 A} = \frac{1}{(10W / m^2 \cdot K)(1,75m^2)} = 57,14285 \cdot 10^{-3}^\circ\text{C} / W$$

- Θερμική αντίσταση διαμέσου του εσωτερικού τζαμιού:

$$R_{\tau_{\zeta_1}} = \frac{L_{\tau_{\zeta_1}}}{k_{\tau_{\zeta_1}} A} = \frac{0,005}{0,78 \cdot 1,75} = 3,66300 \cdot 10^{-3}^\circ\text{C} / W$$

- Θερμική αντίσταση διαμέσου του χώρου στάσιμου αέρα:

$$R_\alpha = \frac{L_\alpha}{k_\alpha A} = \frac{0,010}{0,026 \cdot 1,75} = 219,78021 \cdot 10^{-3}^\circ\text{C} / W$$

- Θερμική αντίσταση διαμέσου του εξωτερικού τζαμιού:

$$R_{\tau_{\zeta_2}} = \frac{L_{\tau_{\zeta_2}}}{k_{\tau_{\zeta_2}} A} = \frac{0,005}{0,78 \cdot 1,75} = 3,66300 \cdot 10^{-3}^\circ\text{C} / W$$

- Θερμική αντίσταση συναγωγής στην εξωτερική επιφάνεια του παραθύρου:

$$R_o = R_{\text{συναγ.2}} = \frac{1}{h_2 A} = \frac{1}{30 \cdot 1,75} = 19,04761 \cdot 10^{-3}^\circ\text{C} / W$$

- Η ολική θερμική αντίσταση θα είναι:

$$R_{\alpha_2} = R_{\text{συναγ.1}} + R_{\tau_{\zeta_1}} + R_\alpha + R_{\tau_{\zeta_2}} + R_{\text{συναγ.2}} \Rightarrow$$

$$R_{\alpha_2} = (57,14285 + 3,66300 + 219,78021 + 3,66300 + 19,04761) \cdot 10^{-3} \Rightarrow$$

$$R_{\alpha_2} = 303,29606 \cdot 10^{-3}^\circ\text{C} / W$$

- Ο σταθερός ρυθμός μεταφοράς θερμότητας διαμέσου του παραθύρου με διπλό τζάμι θα είναι:

$$\dot{Q}_{\alpha_2} = \frac{T_{\infty 1} - T_{\infty 2}}{R_{\alpha_2}} = \frac{[22 - (-8)]}{303,29606 \cdot 10^{-3}} = 98,91325 W$$

- Για τη θερμοκρασία σε κάθε πλευρά του παραθύρου με διπλό τζάμι θα έχουμε:
- Εσωτερική πλευρά παραθύρου (σημείο T_1)

$$\dot{Q}_{\alpha_2} = \frac{T_{\infty 1} - T_1}{R_{\text{συναγ.1}}} \Rightarrow T_1 = T_{\infty 1} - \dot{Q}_{\alpha_2} R_{\text{συναγ.1}} \Rightarrow$$

$$T_1 = (22^\circ C) - (98,91325 W \cdot 57,14285 \cdot 10^{-3} ^\circ C / W) = 16,34781^\circ C$$

- Εξωτερική πλευρά παραθύρου (σημείο T_4)

$$\dot{Q}_{\alpha_2} = \frac{T_{\infty 1} - T_4}{R_{\text{συναγ.1}} + R_{\tau_{\zeta_1}} + R_{\alpha} + R_{\tau_{\zeta_2}}} \Rightarrow T_4 = T_{\infty 1} - \dot{Q}_{\alpha_2} (R_{\text{συναγ.1}} + R_{\tau_{\zeta_1}} + R_{\alpha} + R_{\tau_{\zeta_2}}) \Rightarrow$$

$$T_4 = (22^\circ C) - (98,91325 W \cdot 284,24845 \cdot 10^{-3} ^\circ C / W) = -6,11593^\circ C$$

3. Παράθυρο με τριπλό τζάμι

- Για τις επί μέρους αντιστάσεις θα έχουμε:
- Θερμική αντίσταση συναγωγής στην εσωτερική επιφάνεια του παραθύρου:

$$R_i = R_{\text{συναγ.1}} = \frac{1}{h_i A} = \frac{1}{(10 W / m^2 \cdot K)(1,75 m^2)} = 57,14285 \cdot 10^{-3} ^\circ C / W$$

- Θερμική αντίσταση διαμέσου του εσωτερικού τζαμιού:

$$R_{\tau_{\zeta_1}} = \frac{L_{\tau_{\zeta_1}}}{k_{\tau_{\zeta_1}} A} = \frac{0,005}{0,78 \cdot 1,75} = 3,66300 \cdot 10^{-3} ^\circ C / W$$

- Θερμική αντίσταση διαμέσου του εσωτερικού χώρου στάσιμου αέρα:

$$R_{\alpha_1} = \frac{L_{\alpha_1}}{k_{\alpha_1} A} = \frac{0,010}{0,026 \cdot 1,75} = 219,78021 \cdot 10^{-3} ^\circ C / W$$

- Θερμική αντίσταση διαμέσου του μεσαίου τζαμιού:

$$R_{\tau_{\zeta_2}} = \frac{L_{\tau_{\zeta_2}}}{k_{\tau_{\zeta_2}} A} = \frac{0,005}{0,78 \cdot 1,75} = 3,66300 \cdot 10^{-3} ^\circ C / W$$

- Θερμική αντίσταση διαμέσου του εξωτερικού χώρου στάσιμου αέρα:

$$R_{\alpha_2} = \frac{L_{\alpha_2}}{k_{\alpha_2} A} = \frac{0,010}{0,026 \cdot 1,75} = 219,78021 \cdot 10^{-3} ^\circ C / W$$

- Θερμική αντίσταση διαμέσου του εξωτερικού τζαμιού:

$$R_{\tau_{\zeta_3}} = \frac{L_{\tau_{\zeta_3}}}{k_{\tau_{\zeta_3}} A} = \frac{0,005}{0,78 \cdot 1,75} = 3,66300 \cdot 10^{-3} ^\circ C / W$$

- Θερμική αντίσταση συναγωγής στην εξωτερική επιφάνεια του παραθύρου:

$$R_o = R_{\sigma u n a \gamma . 2} = \frac{1}{h_2 A} = \frac{1}{30 \cdot 1,75} = 19,04761 \cdot 10^{-3} \text{ }^{\circ}\text{C} / W$$

- Η ολική θερμική αντίσταση θα είναι:

$$R_{o \lambda_3} = R_{\sigma u n a \gamma . 1} + R_{\tau \zeta_1} + R_{a_1} + R_{\tau \zeta_2} + R_{a_2} + R_{\tau \zeta_3} + R_{\sigma u n a \gamma . 2} \Rightarrow$$

$$R_{o \lambda_3} = (57,14285 + 3,66300 + 219,78021 + 3,66300 + 219,78021 + 3,66300 + 19,04761) \cdot 10^{-3} \Rightarrow$$

$$R_{o \lambda_3} = 526,73988 \cdot 10^{-3} \text{ }^{\circ}\text{C} / W$$

- Ο σταθερός ρυθμός μεταφοράς θερμότητας διαμέσου του παραθύρου με τριπλό τζάμι θα είναι:

$$\dot{Q}_{o \lambda_3} = \frac{T_{\infty 1} - T_{\infty 2}}{R_{o \lambda_3}} = \frac{[22 - (-8)]}{526,73988 \cdot 10^{-3}} = 56,95410 W$$

- Για τη θερμοκρασία σε κάθε πλευρά του παραθύρου με τριπλό τζάμι θα έχουμε:
- Εσωτερική πλευρά παραθύρου (σημείο T_1)

$$\dot{Q}_{o \lambda_3} = \frac{T_{\infty 1} - T_1}{R_{\sigma u n a \gamma . 1}} \Rightarrow T_1 = T_{\infty 1} - \dot{Q}_{o \lambda_3} R_{\sigma u n a \gamma . 1} \Rightarrow$$

$$T_1 = (22^{\circ}\text{C}) - (56,95410 W \cdot 57,14285 \cdot 10^{-3} \text{ }^{\circ}\text{C} / W) = 18,74548^{\circ}\text{C}$$

- Εξωτερική πλευρά παραθύρου (σημείο T_6)

$$\dot{Q}_{o \lambda_3} = \frac{T_{\infty 1} - T_6}{R_{\sigma u n a \gamma . 1} + R_{\tau \zeta_1} + R_{a_1} + R_{\tau \zeta_2} + R_{a_2} + R_{\tau \zeta_3}} \Rightarrow$$

$$T_6 = T_{\infty 1} - \dot{Q}_{o \lambda_3} (R_{\sigma u n a \gamma . 1} + R_{\tau \zeta_1} + R_{a_1} + R_{\tau \zeta_2} + R_{a_2} + R_{\tau \zeta_3}) \Rightarrow$$

$$T_6 = (22^{\circ}\text{C}) - (56,95410 W \cdot 507,69227 \cdot 10^{-3} \text{ }^{\circ}\text{C} / W) = -6,91515^{\circ}\text{C}$$

Συμπέρασμα: Ο ρυθμός μεταφοράς θερμότητας (απώλειες) δια μέσου του παραθύρου μειώνεται πάρα πολύ με την τοποθέτηση διπλού τζαμιού και ακόμη περισσότερο με την τοποθέτηση τριπλού τζαμιού. Η μείωση σε ποσοστό επί τοις εκατό για κάθε περίπτωση είναι:

α). Διπλό τζάμι σε σχέση με το μονό τζάμι

$$\varepsilon_{1,2} \% = 100 \frac{Q_{o \lambda_1} - Q_{o \lambda_2}}{Q_{o \lambda_1}} = 100 \frac{375,68816 - 98,91325}{375,68816} = 73,671\%$$

β). Τριπλό τζάμι σε σχέση με το μονό τζάμι

$$\varepsilon_{1,3} \% = 100 \frac{Q_{o \lambda_1} - Q_{o \lambda_3}}{Q_{o \lambda_1}} = 100 \frac{375,68816 - 56,95410}{375,68816} = 84,84\%$$

γ). Τριπλό τζάμι σε σχέση με το διπλό τζάμι

$$\varepsilon_{2,3} \% = 100 \frac{Q_{o \lambda_2} - Q_{o \lambda_3}}{Q_{o \lambda_2}} = 100 \frac{98,91325 - 56,95410}{98,91325} = 42,42\%$$

Εφαρμογή 5

Να προσδιοριστεί η συνολική μοναδιαία θερμική αντίσταση R και ο συνολικός συντελεστής μεταφοράς θερμότητας σε ένα εξωτερικό τοίχο σπιτιού με τα χαρακτηριστικά και τις επεξηγήσεις του σχήματος 2.16. Η μονωμένη κοιλότητα καλύπτει το 80% της επιφάνειας εκπομπής (τομή στην κοιλότητα) ενώ οι δοκοί με τις πλάκες το 20%. Αν το συνολικό μήκος του τοίχου είναι 40m και το ύψος 3,0m να υπολογιστεί ο ρυθμός απώλειας θερμότητας δια μέσου του τοίχου θεωρώντας ότι τα εξωτερικά ανοίγματα καλύπτουν το 20% της συνολικής επιφάνειας. Η θερμοκρασία στο εσωτερικό του τοίχου είναι 22°C ενώ στο εξωτερικό του τοίχου -8°C.

Να προσδιοριστεί η συνολική μοναδιαία θερμική αντίσταση και ο ρυθμός απώλειας θερμότητας αν ο εξωτερικός τοίχος του σπιτιού είναι κατασκευασμένος από οπτοπλινθοδομή που φέρει εξωτερικά και εσωτερικά τούβλα πάχους 10cm ($R_{\text{τουβ}}=0,1389\text{m}^2\cdot^\circ\text{C/W}$) και ενδιάμεση μόνωση (τύπου πυρήνα) από εξηλασμένη πολυστερίνη πάχους 5cm με $R_{\text{exp}}=1,515\text{m}^2\cdot^\circ\text{C/W}$. Ο τοίχος εσωτερικά και εξωτερικά φέρει επίχρισμα από ασβεστοκονίαμα πάχους 2cm με $R_{\text{επιχ}}=0,0247\text{m}^2\cdot^\circ\text{C/W}$. (Σχήμα 2.17).

Απάντηση

Παραδοχές: Θεωρούμε ότι υφίστανται μόνιμες συνθήκες λειτουργίας, η μεταφορά θερμότητας μέσα από τον τοίχο είναι μονοδιάστατη και οι θερμικές ιδιότητες του τοίχου και των συντελεστών μεταφοράς θερμότητας είναι σταθερές.

1. Εξωτερικός τοίχος με κατασκευή όπως αυτή του σχήματος 2.16.



1. Εξωτερική επιφάνεια (χειμώνας) με άνεμο 24km/h
2. Εξωτερική επένδυση τοιχοποιίας ξύλινη
3. Θερμομονωτικό υλικό σκληρό από ινοσανίδα πάχους 13mm
4. Μόνωση από γυάλινη ίνα πάχους 90mm
5. Ξύλινη δοκός 40mm x 90mm
6. Γυψοσανίδα πάχους 13mm
7. Εσωτερικές επιφάνειες με ακίνητο αέρα

Σχήμα 2.16. Σχηματική απεικόνιση για την εφαρμογή 5

Με βάση τις τιμές του R από τον πίνακα (2.4) του Παραρτήματος πινάκων ΙΙΙ θα έχουμε:

Ονομασία κατασκευής (τμήμα τοιχοποιίας)	Τιμή του R σε $\text{m}^2\cdot^\circ\text{C/W}$ στο τμήμα κοιλότητα	Τιμή του R σε $\text{m}^2\cdot^\circ\text{C/W}$ στο τμήμα της δοκού
Εξωτερική επιφάνεια (χειμώνας) με άνεμο 24km/h	0,030	0,030

Εξωτερική επένδυση τοιχοποιίας ξύλινη	0,14	0,14
Θερμομονωτικό υλικό σκληρό από ινοσανίδα πάχους 13mm	0,23	0,23
Μόνωση από γυάλινη ίνα πάχους 90mm	2,45	-
Ξύλινη δοκός 40mmx90mm	-	0,63
Γυψοσανίδα πάχους 13mm	0,079	0,079
Εσωτερική επιφάνεια με ακίνητο αέρα	0,12	0,12
Σύνολο του R για κάθε περιοχή	3,049	1,229

Ο ρυθμός απώλειας θερμότητας (παράγοντας) για κάθε περιοχή θα είναι:

$$U_{\text{τοιχ}_1} = \frac{1}{R_{\text{τοιχ}_1}} = \frac{1}{3,049} = 0,32797 \text{ W / m}^2 \cdot ^\circ\text{C}, U_{\text{τοιχ}_2} = \frac{1}{R_{\text{τοιχ}_2}} = \frac{1}{1,229} = 0,81367 \text{ W / m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$$

Το κλάσμα της κάθε περιοχής είναι:

$$f_{s_1} = 0,80 \text{ και } f_{s_2} = 0,20$$

Ο συνολικός ρυθμός απώλειας θερμότητας θα είναι:

$$U_{\text{ολ.τοιχ}} = \sum f_s U_i = f_{s_1} U_{\text{ολ}_1} + f_{s_2} U_{\text{ολ}_2} = 0,80 \cdot 0,32797 + 0,20 \cdot 0,81367 = 0,42511 \text{ W / m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$$

Η συνολική μοναδιαία θερμική αντίσταση θα είναι:

$$R_{\text{ολ.τοιχ}} = \frac{1}{U_{\text{ολ.τοιχ}}} = \frac{1}{0,42511} = 2,35233 \text{ m}^2 \cdot ^\circ\text{C / W}$$

Η συνολική επιφάνεια του τοίχου θα είναι:

$$A_{\text{τοιχ}} = A_{\text{ολ.τοιχ}} - A_{\text{ανοιγ.τοιχ}} = A_{\text{ολ.τοιχ}} - 0,2A_{\text{ολ.τοιχ}} = 0,8A_{\text{ολ.τοιχ}} \Rightarrow A_{\text{τοιχ}} = 0,8(40\text{m} \cdot 3\text{m}) = 96\text{m}^2$$

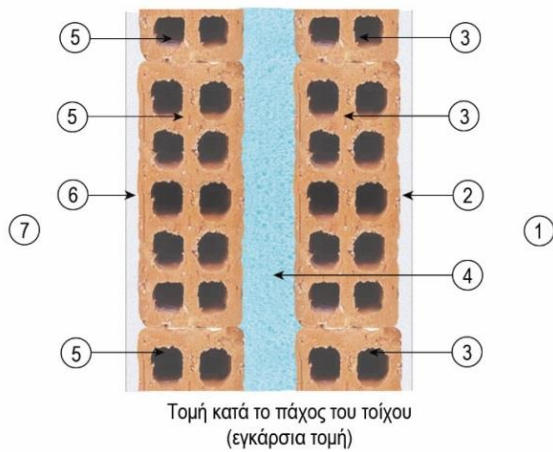
Ο ρυθμός απώλειας θερμότητας μέσα από τους εξωτερικούς τοίχους για τις συγκεκριμένες συνθήκες θα είναι:

$$Q_{\text{ολ.τοιχ}} = (U_{\text{ολ.τοιχ}} A_{\text{τοιχ}})(T_i - T_o) \Rightarrow$$

$$Q_{\text{ολ.τοιχ}} = (0,42511 \text{ W / m}^2 \cdot ^\circ\text{C})(96\text{m}^2)[22 - (-8)] ^\circ\text{C} = 1224,3168 \text{ W}$$

$$\text{ή } Q_{\text{ολ.τοιχ}} = 1224,3168 \cdot 0,86 = 1052,912 \text{ kcal / h}$$

2. Εξωτερικός τοίχος με κατασκευή όπως αυτή του σχήματος 2.17.



1. Εξωτερική επιφάνεια (χειμώνας) με άνεμο 24 km/h
2. Εξωτερικό επίχρισμα πάχους 20mm
3. Εξωτερικό τμήμα σποτοπλινθοδομής με πλίνθους (τούβλα) 100mm
4. Εξηλασμένη πολυστερίνη (xps) πάχους 50mm
5. Εσωτερικό τμήμα σποτοπλινθοδομής με πλίνθους (τούβλα) 100mm
6. Επίχρισμα πάχους 20mm
7. Εσωτερικές επιφάνειες με ακίνητο αέρα

Σχήμα 2.17. Σχηματική απεικόνιση για την εφαρμογή 5

Με βάση τις τιμές του R από τον πίνακα (2.4) του παραρτήματος πινάκων ΙΙΙ και τα δεδομένα για το R θα έχουμε:

Ονομασία κατασκευής (τμήμα τοιχοποιίας)	Τιμή του R σε $m^2 \cdot ^\circ C / W$
Εξωτερική επιφάνεια (χειμώνας) με άνεμο 24km/h	0,030
Εξωτερικό επίχρισμα πάχους 20mm	0,0247
Εξωτερικά τούβλα πάχους 100mm	0,1389
Μόνωση εξηλασμένης πολυστερίνης πάχους 50mm	1,515
Εσωτερικά τούβλα πάχους 100mm	0,1389
Εσωτερικό επίχρισμα πάχους 20mm	0,0247
Εσωτερική επιφάνεια με ακίνητο αέρα	0,12
Σύνολο του R για κάθε περιοχή	1,9922

Η συνολική μοναδιαία θερμική αντίσταση είναι $R_{\text{τοιχ}} = 1,9922 \, m^2 \cdot ^\circ C / W$

Ο ρυθμός απώλειας θερμότητας (παράγοντας) για τον εξωτερικό τοίχο θα είναι:

$$U_{\text{τοιχ}} = \frac{1}{R_{\text{τοιχ}}} = \frac{1}{1,9922} = 0,50195 \text{ W / m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$$

Σημείωση: Για την συγκεκριμένη περίπτωση έχουμε $f_s=1,0$

Η συνολική επιφάνεια του τοίχου είναι: $A_{\text{τοιχ}}=0,8(40\text{m}\times 3\text{m})=96\text{m}^2$

Ο ρυθμός απώλειας θερμότητας μέσα από τους εξωτερικούς τοίχους για τις συγκεκριμένες συνθήκες θα είναι:

$$Q_{\text{τοιχ}} = (U_{\text{τοιχ}} A_{\text{τοιχ}})(T_i - T_o) \Rightarrow Q_{\text{τοιχ}} = (0,50195 \text{ W / m}^2 \cdot ^\circ\text{C})(96\text{m}^2)[22 - (-8)] ^\circ\text{C} = 1445,616 \text{ W}$$

$$\text{ή } Q_{\text{τοιχ}} = 1445,616 \cdot 0,86 = 1243,229 \text{ kcal / h}$$

Συμπέρασμα: Οι απώλειες από τους εξωτερικούς τοίχους του σπιτιού στην περίπτωση 2 είναι περισσότερες από τις απώλειες στην περίπτωση 1 σε ποσοστό επί τοις εκατό:

$$\varepsilon_{2,1}\% = 100 \frac{Q_{\text{ολ2}} - Q_{\text{ολ1}}}{Q_{\text{ολ2}}} = 100 \frac{1445,616 - 1224,316}{1445,616} = 15,308\%$$

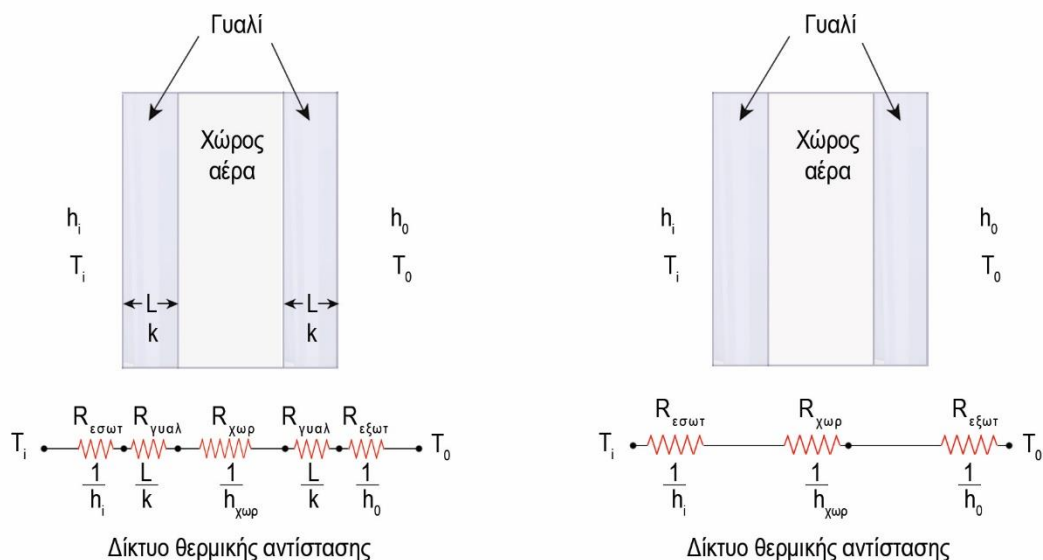
3. (2.4.3.12.) Εφαρμογές για φυσική συναγωγή

Εφαρμογή 1

Να υπολογιστεί ο παράγοντας U για το κέντρο γυαλιού παραθύρου με διπλό τζάμι (πάχος κάθε τζαμιού 3mm και θερμικής αγωγιμότητας 0,92W/m.K) με διάκενο αέρα πάχους 6,0mm σε χειμερινές συνθήκες (σχήμα 2.23). Οι διαφανείς επιφάνειες είναι κατασκευασμένες από καθαρό γυαλί με ικανότητα εκπομπής 0,84 και με μέση θερμοκρασία του χώρου του αέρα 0°C. Να υπολογιστεί η διαφορά και το σχετικό σφάλμα που προκύπτει για τον παράγοντα U, αν θεωρηθεί ότι η θερμική αντίσταση του γυαλιού είναι αμελητέα.

Απάντηση

Παραδοχές: Οι συνθήκες λειτουργίας είναι μόνιμες, η μεταφορά θερμότητας διαμέσου του παραθύρου είναι μονοδιάστατη.



(α) Με την θερμική αντίσταση του γυαλινού φύλλου

(β) Χωρίς την θερμική αντίσταση του γυαλινού φύλλου

Σχήμα 2.23. Σχηματική διάταξη για την εφαρμογή 1

- Με την θερμική αντίσταση του γυάλινου φύλλου να λαμβάνεται υπόψη

Για τις χειμερινές συνθήκες λειτουργίας έχουμε $h_i = 8,29 \text{ W} / \text{m}^2 \cdot \text{K}$ και $h_o = 34,0 \text{ W} / \text{m}^2 \cdot \text{K}$

Η ενεργός ικανότητα εκπομπής του χώρου του αέρα του παραθύρου με διπλό τζάμι είναι:

$\varepsilon_{\text{ενεργ}} = \frac{1}{1/\varepsilon_1 + 1/\varepsilon_2 - 1} = \frac{1}{1/0,84 + 1/0,84 - 1} = 0,724$, από τον πίνακα (2.8) για $\varepsilon_{\text{ενεργ}}=0,72$ και μέση θερμοκρασία του χώρου αέρα πάχους 6mm, ίση με 0°C έχουμε $h_{\text{χωρ}}=7,2 \text{ W} / \text{m}^2 \cdot \text{K}$

Από το δίκτυο θερμικής αντίστασης του σχήματος 2.23(α), έχουμε:

$$\begin{aligned} R_{\text{συνολ}} &= R_{\text{εσωτ.χωρ}} + R_{\text{γυαλ}} + R_{\text{χωρ}} + R_{\text{γυαλ}} + R_{\text{εξωτ.χωρ}} \Rightarrow \\ R_{\text{συνολ}} &= \frac{1}{h_i} + \frac{L}{k} + \frac{1}{h_{\text{χωρ}}} + \frac{L}{k} + \frac{1}{h_o} \Rightarrow \\ R_{\text{συνολ}} &= \frac{1}{8,29 \text{ W} / \text{m}^2 \cdot \text{K}} + \frac{0,003 \text{ m}}{0,92 \text{ W} / \text{m} \cdot \text{K}} + \frac{1}{7,2 \text{ W} / \text{m}^2 \cdot \text{K}} + \frac{0,003 \text{ m}}{0,92 \text{ W} / \text{m} \cdot \text{K}} + \frac{1}{34,0 \text{ W} / \text{m}^2 \cdot \text{K}} \Rightarrow \\ R_{\text{συνολ}} &= 0,29545 \text{ m}^2 \cdot \text{K} / \text{W} \end{aligned}$$

Ο παράγοντας U θα είναι:

$$U = \frac{1}{R_{\text{συνολ}}} = \frac{1}{0,29545 \text{ m}^2 \cdot \text{K} / \text{W}} = 3,3846 \text{ W} / \text{m}^2 \cdot \text{K}$$

- Χωρίς τη θερμική αντίσταση του γυάλινου φύλλου

Από το δίκτυο θερμικής αντίστασης του σχήματος 2.23(β), έχουμε:

$$\begin{aligned} R_{\text{συνολ}} &= R_{\text{εσωτ.χωρ}} + R_{\text{χωρ}} + R_{\text{εξωτ.χωρ}} = \frac{1}{h_i} + \frac{1}{h_{\text{χωρ}}} + \frac{1}{h_o} \Rightarrow \\ R_{\text{συνολ}} &= \frac{1}{8,29 \text{ W} / \text{m}^2 \cdot \text{K}} + \frac{1}{7,2 \text{ W} / \text{m}^2 \cdot \text{K}} + \frac{1}{34,0 \text{ W} / \text{m}^2 \cdot \text{K}} = 0,28892 \text{ m}^2 \cdot \text{K} / \text{W} \end{aligned}$$

Ο παράγοντας U θα είναι:

$$U = \frac{1}{R_{\text{συνολ}}} = \frac{1}{0,28892 \text{ m}^2 \cdot \text{K} / \text{W}} = 3,4611 \text{ W} / \text{m}^2 \cdot \text{K}$$

Η διαφορά ανάμεσα στις δύο περιπτώσεις είναι:

$$\Delta U = U_2 - U_1 = 3,4611 - 3,3846 = 0,07653 \text{ W} / \text{m}^2 \cdot \text{K}$$

Το σχετικό σφάλμα που προκύπτει στην περίπτωση αυτή είναι:

$$\varepsilon\% = 100 \frac{U_2 - U_1}{U_2} = 100 \frac{0,07653}{3,4611} = 2,21\%$$

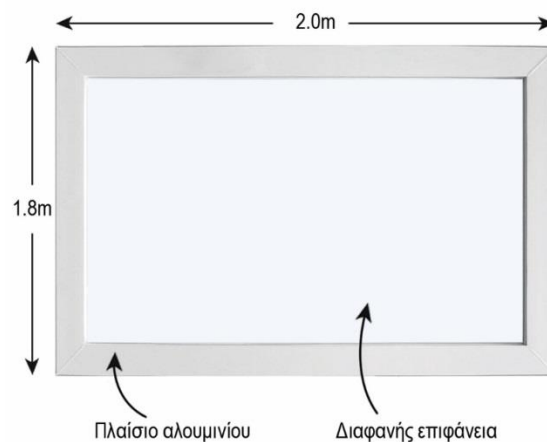
Συμπέρασμα: Το σφάλμα που προκύπτει είναι πολύ μικρό και στους υπολογισμούς μπορούμε να αγνοήσουμε τη θερμική αντίσταση των γυάλινων φύλλων.

Εφαρμογή 2

Ένα σταθερό παραθύρο με γυάλινη επιφάνεια πρόκειται να τοποθετηθεί σε εξωτερικό άνοιγμα ύψους 1,8m και πλάτους 2,0m στον τοίχο σπιτιού που διατηρείται σε θερμοκρασία 22°C. Να προσδιοριστεί ο ρυθμός απώλειας θερμότητας διαμέσου του παραθύρου καθώς και η θερμοκρασία της εσωτερικής επιφάνειας του γυαλιού του παραθύρου που βλέπει το δωμάτιο, όταν η θερμοκρασία του αέρα στο εξωτερικό περιβάλλον είναι -8°C αν το πλαίσιο του παραθύρου θα είναι κατασκευασμένο από αλουμίνιο με επιφάνεια: (α) απλή με πάχος 3mm, (β) διπλή με χώρο αέρα 12,7mm, (γ) διπλή με χώρο αέρα 12,7mm με επικάλυψη ($\epsilon=0,1$) σε μία από της επιφάνειες του χώρου αέρα (2 ή 3) από έξω προς τα μέσα (χαμηλής θερμικής αγωγιμότητας), (δ) τριπλή με χώρο αέρα 12,7mm και (ε) τριπλή με χώρο αέρα 12,7mm με επικάλυψη ($\epsilon=0,1$) σε μία από της επιφάνειες του χώρου αέρα (3 ή 5) από έξω προς τα μέσα (χαμηλής θερμικής αγωγιμότητας). Να υπολογιστούν οι διαφορές για πλαίσιο κατασκευασμένο από βινύλιο.

Απάντηση

Παραδοχές: Οι συνθήκες λειτουργίας είναι μόνιμες, η μεταφορά θερμότητας διαμέσου του παραθύρου είναι μονοδιάστατη, οι θερμικές ιδιότητες των παραθύρων και οι συντελεστές μεταφοράς θερμότητας έχουν σταθερές τιμές.



Σχήμα 2.24. Σχηματική απεικόνιση για την εφαρμογή 2.

- Πλαίσιο κατασκευασμένο από αλουμίνιο

(α). Για απλή επιφάνεια με πάχος 3mm, από τον πίνακα 2.11. ο συνολικός παράγοντας είναι: $U_{\text{συνολ}} = 6,63W / m^2 \cdot K$

Η επιφάνεια του παραθύρου είναι:

$$A_{\text{παραθ}} = \text{ύψος} \times \text{πλάτος} = (1,8m) \times (2,0m) = 3,6m^2$$

Ο ρυθμός μεταφοράς θερμότητας είναι:

$$\dot{Q}_{\text{παραθ}} = U_{\text{συνολ}} A_{\text{παραθ}} (T_i - T_o) = (6,63W / m^2 \cdot K)(3,6m^2)[22 - (-8)]^\circ C = 716,04W$$

$$\text{ή } \dot{Q}_{\text{παραθ}} = 716,04 \cdot 0,86 = 615,7944kcal / h$$

Η θερμοκρασία της εσωτερικής επιφάνειας του γυάλινου παραθύρου θα είναι:

$$\begin{aligned} \dot{Q}_{\text{παραθ}} &= h_i A_{\text{παραθ}} (T_i - T_{\text{γυαλ}}) \Rightarrow \\ T_{\text{γυαλ}} &= T_i - \frac{\dot{Q}_{\text{παραθ}}}{h_i A_{\text{παραθ}}} = 22^\circ C - \frac{716,04W}{(8,3W / m^2 \cdot K)(3,6m^2)} = -1,9638^\circ C \end{aligned}$$

Σημείωση: Από τον πίνακα 2.10. έχουμε $h_i = 8,3W / m^2 \cdot K$

(β). Για διπλή επιφάνεια με χώρο αέρα πάχους 12,7mm, από τον πίνακα 2.11. ο συνολικός παράγοντας είναι: $U_{\text{συνολ}}=3,51 \text{ W/m}^2 \cdot K$

Ο ρυθμός μεταφοράς θερμότητας είναι:

$$\dot{Q}_{\text{παραθ}} = (3,51 \text{ W/m}^2 \cdot K)(3,6 \text{ m}^2)[22 - (-8)]^\circ\text{C} = 379,08 \text{ W}$$

$$\text{ή } \dot{Q}_{\text{παραθ}} = 379,08 \cdot 0,86 = 326,008 \text{ kcal/h}$$

Η θερμοκρασία της εσωτερικής επιφάνειας του γυάλινου παραθύρου θα είναι:

$$T_{\text{γυαλ}} = T_i - \frac{\dot{Q}_{\text{παραθ}}}{h_i A_{\text{παραθ}}} = 22^\circ\text{C} - \frac{379,08 \text{ W}}{(8,3 \text{ W/m}^2 \cdot K)(3,6 \text{ m}^2)} = 9,313^\circ\text{C}$$

(γ). Για διπλή επιφάνεια με χώρο αέρα πάχους 12,7mm και επικάλυψη, από τον πίνακα 2.11. ο συνολικός παράγοντας είναι: $U_{\text{συνολ}}=2,67 \text{ W/m}^2 \cdot K$

Ο ρυθμός μεταφοράς θερμότητας είναι:

$$\dot{Q}_{\text{παραθ}} = (2,67 \text{ W/m}^2 \cdot K)(3,6 \text{ m}^2)[22 - (-8)]^\circ\text{C} = 288,36 \text{ W}$$

$$\text{ή } \dot{Q}_{\text{παραθ}} = 288,36 \cdot 0,86 = 347,989 \text{ kcal/h}$$

Η θερμοκρασία της εσωτερικής επιφάνειας του γυάλινου παραθύρου θα είναι:

$$T_{\text{γυαλ}} = T_i - \frac{\dot{Q}_{\text{παραθ}}}{h_i A_{\text{παραθ}}} = 22^\circ\text{C} - \frac{288,36 \text{ W}}{(8,3 \text{ W/m}^2 \cdot K)(3,6 \text{ m}^2)} = 12,349^\circ\text{C}$$

(δ). Για τριπλή επιφάνεια με χώρο αέρα πάχους 12,7mm, από τον πίνακα 2.11. ο συνολικός παράγοντας είναι: $U_{\text{συνολ}}=2,62 \text{ W/m}^2 \cdot K$

Ο ρυθμός μεταφοράς θερμότητας είναι:

$$\dot{Q}_{\text{παραθ}} = (2,62 \text{ W/m}^2 \cdot K)(3,6 \text{ m}^2)[22 - (-8)]^\circ\text{C} = 282,96 \text{ W}$$

$$\text{ή } \dot{Q}_{\text{παραθ}} = 282,96 \cdot 0,86 = 243,345 \text{ kcal/h}$$

Η θερμοκρασία της εσωτερικής επιφάνειας του γυάλινου παραθύρου θα είναι:

$$T_{\text{γυαλ}} = T_i - \frac{\dot{Q}_{\text{παραθ}}}{h_i A_{\text{παραθ}}} = 22^\circ\text{C} - \frac{282,96 \text{ W}}{(8,3 \text{ W/m}^2 \cdot K)(3,6 \text{ m}^2)} = 9,47^\circ\text{C}$$

(ε). Για τριπλή επιφάνεια με χώρο αέρα πάχους 12,7mm και επικάλυψη, από τον πίνακα 2.11. ο συνολικός παράγοντας είναι: $U_{\text{συνολ}}=1,92 \text{ W/m}^2 \cdot K$

Ο ρυθμός μεταφοράς θερμότητας είναι:

$$\dot{Q}_{\text{παραθ}} = (1,92 \text{ W/m}^2 \cdot K)(3,6 \text{ m}^2)[22 - (-8)]^\circ\text{C} = 207,36 \text{ W}$$

$$\text{ή } \dot{Q}_{\text{παραθ}} = 207,36 \cdot 0,86 = 178,329 \text{ kcal/h}$$

Η θερμοκρασία της εσωτερικής επιφάνειας του γυάλινου παραθύρου θα είναι:

$$T_{\text{γυαλ}} = T_i - \frac{\dot{Q}_{\text{παραθ}}}{h_i A_{\text{παραθ}}} = 22^\circ\text{C} - \frac{207,36 \text{ W}}{(8,3 \text{ W/m}^2 \cdot K)(3,6 \text{ m}^2)} = 9,47^\circ\text{C}$$

Η μείωση σε ποσοστό επί τοις εκατό, σχέση με το απλό τζάμι, θα είναι:

- Με διπλό τζάμι με χώρο πάχους 12,7mm

$$\varepsilon_1 \% = 100 \frac{\dot{Q}_1 - \dot{Q}_2}{\dot{Q}_1} = 100 \frac{716,04 - 379,08}{716,04} = 47,058\%$$

- Με διπλό τζάμι με χώρο πάχους 12,7mm και επικάλυψη (χαμηλή θερμική αγωγιμότητα)

$$\varepsilon_2 \% = 100 \frac{\dot{Q}_1 - \dot{Q}_3}{\dot{Q}_1} = 100 \frac{716,04 - 288,36}{716,04} = 59,728\%$$

- Με τριπλό τζάμι με χώρο πάχους 12,7mm

$$\varepsilon_3 \% = 100 \frac{\dot{Q}_1 - \dot{Q}_3}{\dot{Q}_1} = 100 \frac{716,04 - 282,96}{716,04} = 60,482\%$$

- Με τριπλό τζάμι με χώρο πάχους 12,7mm και επικάλυψη (χαμηλή θερμική αγωγιμότητα)

$$\varepsilon_4 \% = 100 \frac{\dot{Q}_1 - \dot{Q}_4}{\dot{Q}_1} = 100 \frac{716,04 - 207,36}{716,04} = 71,040\%$$

- **Πλαίσιο κατασκευασμένο από βινύλιο**

(α). Για απλή επιφάνεια με πάχος 3mm, από τον πίνακα (2.11) του Παραρτήματος πινάκων III ο συνολικός παράγοντας, για διαχωριστή μεταλλικό, είναι: $U_{\text{συνολ}} = 5,93 \text{ W/m}^2 \cdot K$

Η επιφάνεια του παραθύρου είναι: $A_{\text{παραθ}} = 3,6 \text{ m}^2$

Ο ρυθμός μεταφοράς θερμότητας είναι:

$$\dot{Q}_{\text{παραθ}} = 640,44 \text{ W} \quad \text{ή} \quad \dot{Q}_{\text{παραθ}} = 597,24 \cdot 0,86 = 550,778 \text{ kcal / h}$$

Η θερμοκρασία της εσωτερικής επιφάνειας του γυάλινου παραθύρου θα είναι: $T_{\text{γυαλ}} = 0,566^\circ C$

(β). Για διπλή επιφάνεια με χώρο αέρα πάχους 12,7mm, από τον πίνακα 2.11. ο συνολικός παράγοντας, για διαχωριστή μεταλλικό, είναι: $U_{\text{συνολ}} = 2,88 \text{ W/m}^2 \cdot K$

Ο ρυθμός μεταφοράς θερμότητας είναι:

$$\dot{Q}_{\text{παραθ}} = 311,04 \text{ W} \quad \text{ή} \quad \dot{Q}_{\text{παραθ}} = 311,04 \cdot 0,86 = 267,494 \text{ kcal / h}$$

Η θερμοκρασία της εσωτερικής επιφάνειας του γυάλινου παραθύρου θα είναι: $T_{\text{γυαλ}} = 11,59^\circ C$

(γ). Για διπλή επιφάνεια με χώρο αέρα πάχους 12,7mm και επικάλυψη, από τον πίνακα 2.11. ο συνολικός παράγοντας, για διαχωριστή μεταλλικό, είναι: $U_{\text{συνολ}} = 2,06 \text{ W/m}^2 \cdot K$

Ο ρυθμός μεταφοράς θερμότητας είναι:

$$\dot{Q}_{\text{παραθ}} = (2,06 \text{ W / m}^2 \cdot K)(3,6 \text{ m}^2)[22 - (-8)]^\circ C = 222,48 \text{ W}$$

$$\text{ή} \quad \dot{Q}_{\text{παραθ}} = 222,48 \cdot 0,86 = 191,332 \text{ kcal / h}$$

Η θερμοκρασία της εσωτερικής επιφάνειας του γυάλινου παραθύρου θα είναι: $T_{\text{γυαλ}} = 14,554^\circ C$

δ). Για τριπλή επιφάνεια με χώρο αέρα πάχους 12,7mm, από τον πίνακα (2.11) ο συνολικός παράγοντας, για διαχωριστή μεταλλικό, είναι: $U_{\text{συνολ}}=2,01 \text{ W/m}^2 \cdot K$

Ο ρυθμός μεταφοράς θερμότητας είναι:

$$\dot{Q}_{\text{παραθ}} = (2,62 \text{ W/m}^2 \cdot K)(3,6 \text{ m}^2)[22 - (-8)]^\circ\text{C} = 217,08 \text{ W}$$

$$\dot{Q}_{\text{παραθ}} = 217,08 \cdot 0,86 = 186,688 \text{ kcal/h}$$

Η θερμοκρασία της εσωτερικής επιφάνειας του γυάλινου παραθύρου θα είναι:

$$T_{\text{γυαλ}} = 14,735^\circ\text{C}$$

(ε). Για τριπλή επιφάνεια με χώρο αέρα πάχους 12,7mm και επικάλυψη, από τον πίνακα (2.11) ο συνολικός παράγοντας, για διαχωριστή μεταλλικό, είναι: $U_{\text{συνολ}}=1,33 \text{ W/m}^2 \cdot K$

Ο ρυθμός μεταφοράς θερμότητας είναι:

$$\dot{Q}_{\text{παραθ}} = (1,33 \text{ W/m}^2 \cdot K)(3,6 \text{ m}^2)[22 - (-8)]^\circ\text{C} = 143,64 \text{ W}$$

$$\dot{Q}_{\text{παραθ}} = 143,64 \cdot 0,86 = 123,53 \text{ kcal/h}$$

Η θερμοκρασία της εσωτερικής επιφάνειας του γυάλινου παραθύρου θα είναι: $T_{\text{γυαλ}}=17,193^\circ\text{C}$

Η μείωση σε ποσοστό επί τοις εκατό, σε σχέση με το απλό τζάμι και πλαίσιο αλουμινίου, θα είναι:

- Με απλό τζάμι πάχους 3mm και πλαίσιο από βινύλιο

$$\varepsilon_1\% = 100 \frac{\dot{Q}_1 - \dot{Q}_2}{\dot{Q}_1} = 100 \frac{716,04 - 640,44}{716,04} = 10,558\%$$

- Με διπλό τζάμι με χώρο πάχους 12,7mm

$$\varepsilon_2\% = 100 \frac{\dot{Q}_1 - \dot{Q}_2}{\dot{Q}_1} = 100 \frac{716,04 - 311,04}{716,04} = 56,561\%$$

- Με διπλό τζάμι με χώρο πάχους 12,7mm και επικάλυψη (χαμηλή θερμική αγωγιμότητα)

$$\varepsilon_3\% = 100 \frac{\dot{Q}_1 - \dot{Q}_3}{\dot{Q}_1} = 100 \frac{716,04 - 222,48}{716,04} = 68,929\%$$

- Με τριπλό τζάμι με χώρο πάχους 12,7mm

$$\varepsilon_4\% = 100 \frac{\dot{Q}_1 - \dot{Q}_3}{\dot{Q}_1} = 100 \frac{716,04 - 217,08}{716,04} = 69,683\%$$

- Με τριπλό τζάμι με χώρο πάχους 12,7mm και επικάλυψη (χαμηλή θερμική αγωγιμότητα)

$$\varepsilon_5\% = 100 \frac{\dot{Q}_1 - \dot{Q}_4}{\dot{Q}_1} = 100 \frac{716,04 - 143,69}{716,04} = 79,932\%$$

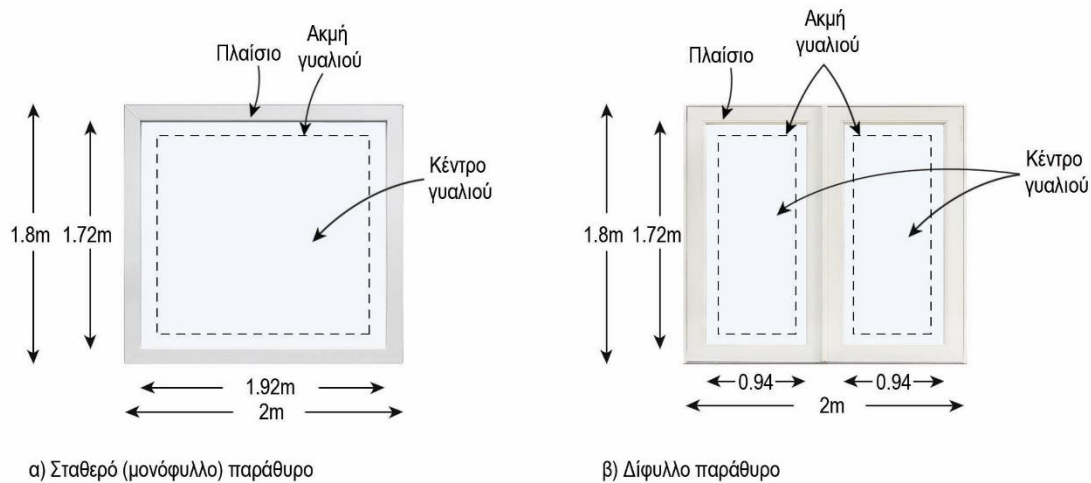
Συμπέρασμα: Στην περίπτωση που χρησιμοποιηθεί απλό τζάμι, εκτός της πολύ αυξημένης απώλειας θερμότητας, η χαμηλή θερμοκρασία του εσωτερικού τζαμιού θα προκαλεί έντονη δυσφορία στα άτομα που διαμένουν στην οικία λόγω εκτεταμένης απώλειας θερμότητας από το σώμα με ακτινοβολία.

Εφαρμογή 3

Να προσδιοριστεί ο συνολικός παράγοντας U για σταθερό (μονόφυλλο) και δίφυλλο (διπλή πόρτα) παράθυρο με διπλό τζάμι (χώρος αέρα 12,7mm), πλαίσιο από βινύλιο και μονωτικούς διαχωριστές και τα αποτελέσματα να συγκριθούν με τις τιμές που υπάρχουν στον πίνακα (2.11). Οι διαστάσεις του παραθύρου για την κάθε περίπτωση παρουσιάζονται στο σχήμα 2.25.

Απάντηση

Παραδοχές: Οι συνθήκες λειτουργίας είναι μόνιμες, η μεταφορά θερμότητας διαμέσου του παραθύρου είναι μονοδιάστατη.



Σχήμα 2.25. Σχηματική διάταξη για την εφαρμογή 3

- Σταθερό (μονόφυλλο) παράθυρο

Το εμβαδόν επιφάνειας για το παράθυρο, το γυαλί και το πλαίσιο είναι:

$$A_{\text{παραθ}} = \text{ύψος} \times \text{πλάτος} = (1,8\text{m})(2,0\text{m}) = 3,6\text{m}^2$$

$$A_{\text{τζαμι}} = \text{ύψος} \times \text{πλάτος} = (1,72\text{m})(1,92\text{m}) = 3,3024\text{m}^2$$

$$A_{\text{πλαισ}} = A_{\text{παραθ}} - A_{\text{τζαμι}} = (3,6 - 3,3024)\text{m}^2 = 0,2976\text{m}^2$$

Για το εμβαδόν της κεντρικής περιοχής και της περιοχής των ακμών (ζώνη πλάτους 65mm κατά μήκος του περιγράμματος) της γυάλινης επιφάνειας, θα έχουμε:

$$A_{\text{κεντρ}} = (1,72 - 2 \cdot 0,065)\text{m}(1,92 - 2 \cdot 0,065)\text{m} = (1,59\text{m})(1,79\text{m}) = 2,8461\text{m}^2$$

$$A_{\text{ακμη}} = A_{\text{τζαμι}} - A_{\text{κεντρ}} = (3,3024 - 2,8461)\text{m}^2 = 0,4563\text{m}^2$$

$$\text{Επίσης } A_{\text{ακμη}} = [2(1,72 - 2 \cdot 0,065)\text{m} + (2 \cdot 1,92)\text{m}]0,065\text{m} = 0,4563\text{m}^2$$

Από τον πίνακα (2.8) για πλαίσιο από βινύλιο ο παράγοντας U είναι: $U_{\text{πλαισ}} = 2,8 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$

Από τον πίνακα (2.11) για την κεντρική περιοχή του τζαμιού ο παράγοντας U (Διπλή επιφάνεια, χωρίς επικάλυψη, αέρας 12,7mm) είναι: $U_{\text{κεντρ}} = 2,78 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$

Από τον πίνακα (2.11) για την περιοχή των ακμών ο παράγοντας U (Διπλή επιφάνεια, χωρίς επικάλυψη, αέρας 12,7mm, τύπος διαχωριστή μονωτικός) είναι: $U_{\text{ακμη}} = 2,91 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$

Ο συνολικός παράγοντας U για ολόκληρο το παράθυρο, θα είναι:

$$U_{\text{παραθ}} = (U_{\text{κεντρ}} A_{\text{κεντρ}} + U_{\text{ακμ}} A_{\text{ακμ}} + U_{\text{πλαίσιο}} A_{\text{πλαίσιο}}) / A_{\text{παραθ}} \Rightarrow$$

$$U_{\text{παραθ}} = (2,78 \cdot 2,8461 + 2,91 \cdot 0,4563 + 2,8 \cdot 0,2976) / 3,6 = 2,7981 \text{ W} / \text{m}^2 \cdot \text{K}$$

Από τον πίνακα (2.11) ο συνολικός παράγοντας για το συγκεκριμένο παράθυρο (πλαίσιο από ξύλο ή βινύλιο, τύπος πλαισίου σταθερό, πλάτος πλαισίου 41mm, τύπος διαχωριστή μονωτικός, διπλή επιφάνεια χωρίς επικάλυψη, αέρας 12,7mm) είναι : $U=2,76 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$ και είναι πολύ κοντά σε αυτή που υπολογίστηκε.

- Δίφυλλο παράθυρο

Το εμβαδόν επιφάνειας για το παράθυρο, το γυαλί και το πλαίσιο είναι:

$$A_{\text{παραθ}} = \text{ύψος} \times \text{πλάτος} = (1,8\text{m})(2,0\text{m}) = 3,6\text{m}^2$$

$$A_{\text{τζαμι}} = 2(\text{ύψος} \times \text{πλάτος}) = 2(1,72\text{m})(0,94\text{m}) = 3,2336\text{m}^2$$

$$A_{\text{πλαίσ}} = A_{\text{παραθ}} - A_{\text{τζαμι}} = (3,6 - 3,2336)\text{m}^2 = 0,3664\text{m}^2$$

Για το εμβαδόν της κεντρικής περιοχής και της περιοχής των ακμών (ζώνη πλάτους 65mm κατά μήκος του περιγράμματος) της γυάλινης επιφάνειας, θα έχουμε:

$$A_{\text{κεντρ}} = 2(\text{ύψος} \times \text{πλάτος}) \Rightarrow$$

$$A_{\text{κεντρ}} = 2[(1,72 - 2 \cdot 0,065)\text{m}(0,94 - 2 \cdot 0,065)\text{m}] = 2(1,59\text{m})(0,81\text{m}) = 2,5758\text{m}^2$$

$$A_{\text{ακμ}} = A_{\text{τζαμι}} - A_{\text{κεντρ}} = (3,2336 - 2,5758)\text{m}^2 = 0,6578\text{m}^2$$

$$\text{Επίσης } A_{\text{ακμ}} = [4(1,72 - 2 \cdot 0,065)\text{m} + (4 \cdot 0,94)\text{m}]0,065\text{m} = 0,6578\text{m}^2$$

Από τον πίνακα (2.11) για πλαίσιο από βινύλιο έχουμε: $U_{\text{κεντρ}}=2,78 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$

Από τον πίνακα (2.11) για την περιοχή των ακμών έχουμε: $U_{\text{ακμ}}=2,91 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$

Ο συνολικός παράγοντας U για ολόκληρο το παράθυρο, θα είναι:

$$U_{\text{παραθ}} = (U_{\text{κεντρ}} A_{\text{κεντρ}} + U_{\text{ακμ}} A_{\text{ακμ}} + U_{\text{πλαίσιο}} A_{\text{πλαίσιο}}) / A_{\text{παραθ}} \Rightarrow$$

$$U_{\text{παραθ}} = (2,78 \cdot 2,5758 + 2,91 \cdot 0,6578 + 2,8 \cdot 0,3664) / 3,6 = 2,8057 \text{ W} / \text{m}^2 \cdot \text{K}$$

Από τον πίνακα (2.11) ο συνολικός παράγοντας για το συγκεκριμένο παράθυρο (πλαίσιο από ξύλο ή βινύλιο, τύπος πλαισίου διπλή πόρτα, πλάτος πλαισίου 88mm, τύπος διαχωριστή μονωτικός, διπλή επιφάνεια χωρίς επικάλυψη, αέρας 12,7mm) είναι $U=2,74 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$ και είναι πολύ κοντά σε αυτή που υπολογίστηκε.

4. (2.4.4.5) Εφαρμογές για μεταφορά θερμότητας με ακτινοβολία

Εφαρμογή 1

Ένα σπίτι βρίσκεται σε περιοχή με γεωγραφικό πλάτος 40° Βόρεια και τα εξωτερικά ανοίγματα (παράθυρα) είναι κατασκευασμένα με διπλό τζάμι πάχους κάθε πλάκας 6mm. Το εμβαδόν των εξωτερικών ανοιγμάτων σε κάθε πλευρά του σπιτιού είναι 4m^2 στον βόρειο τοίχο, 8m^2 στο μεταξύ των δύο επιφανειών ανατολικό τοίχο, 8m^2 στον δυτικό τοίχο και 10m^2 στο νότιο τοίχο. Να προσδιοριστεί το συνολικό κέρδος ηλιακής θερμότητας του σπιτιού στις 9.00, 12.00 και 15.00 ηλιακή ώρα τον Ιούλιο και η συνολική ποσότητα κέρδους ηλιακής θερμότητας μίας μέσης ημέρας του Ιανουαρίου με βάση τα στοιχεία του πίνακα (2.13). Ποιο θα ήταν το αποτέλεσμα για το μήνα Ιούλιο και Ιανουάριο στο παραπάνω σπίτι αν τα διπλά παράθυρα είχαν γκρίζο τόνο;

Απάντηση

- Με βάση τα στοιχεία του πίνακα (2.13) για τον μήνα Ιούλιο και τις αντίστοιχες ώρες θα έχουμε:

Μήνας	Ηλιακή ώρα	Ηλιακή ακτινοβολία που προσπίπτει στην επιφάνεια σε W/m ²			
		Βορράς	Ανατολή	Νότος	Δύση
Ιούλιος	9.00	117	701	190	114
	12.00	138	149	395	149
	15.00	117	114	190	701

Η τιμή του συντελεστή σκίασης SC για παράθυρο με διπλό τζάμι και πάχος κάθε πλάκας τζαμιού 6mm, από τα στοιχεία του πίνακα (2.14) είναι 0,82 και η τιμή του συντελεστή κέρδους ηλιακής θερμότητας θα είναι:

$$SHGC=0,87 \times SC=0,87 \times 0,82=0,7134$$

Το ολικό κέρδος θερμότητας διαμέσου των παραθύρων του σπιτιού για την ηλιακή ώρα 9.00 θα είναι:

- Παράθυρα βόρειας πλευράς:

$$\dot{Q}_{\eta\lambda\iota\alpha\kappa.\kappa\epsilon\rho\delta 9.00,N} = SHGC \cdot A_{\tau\zeta\alpha\mu\iota N} \cdot \dot{q}_{\eta\lambda\iota\alpha\kappa.\pi\rho\sigma\pi.N} = 0,7134 \cdot 4 \cdot 117 = 333,871W$$

- Παράθυρα ανατολικής πλευράς:

$$\dot{Q}_{\eta\lambda\iota\alpha\kappa.\kappa\epsilon\rho\delta 9.00,E} = SHGC \cdot A_{\tau\zeta\alpha\mu\iota E} \cdot \dot{q}_{\eta\lambda\iota\alpha\kappa.\pi\rho\sigma\pi.E} = 0,7134 \cdot 8 \cdot 701 = 4000,747W$$

- Παράθυρα δυτικής πλευράς:

$$\dot{Q}_{\eta\lambda\iota\alpha\kappa.\kappa\epsilon\rho\delta 9.00,W} = SHGC \cdot A_{\tau\zeta\alpha\mu\iota W} \cdot \dot{q}_{\eta\lambda\iota\alpha\kappa.\pi\rho\sigma\pi.W} = 0,7134 \cdot 8 \cdot 114 = 650,621W$$

- Παράθυρα νότιας πλευράς:

$$\dot{Q}_{\eta\lambda\iota\alpha\kappa.\kappa\epsilon\rho\delta 9.00,S} = SHGC \cdot A_{\tau\zeta\alpha\mu\iota S} \cdot \dot{q}_{\eta\lambda\iota\alpha\kappa.\pi\rho\sigma\pi.S} = 0,7134 \cdot 10 \cdot 190 = 1355,46W$$

Το ολικό κέρδος θα είναι:

$$\begin{aligned} \dot{Q}_{\eta\lambda\iota\alpha\kappa.\kappa\epsilon\rho\delta 9.00,\sigma\lambda} &= \dot{Q}_{\eta\lambda\iota\alpha\kappa.\kappa\epsilon\rho\delta 9.00,N} + \dot{Q}_{\eta\lambda\iota\alpha\kappa.\kappa\epsilon\rho\delta 9.00,E} + \dot{Q}_{\eta\lambda\iota\alpha\kappa.\kappa\epsilon\rho\delta 9.00,W} + \dot{Q}_{\eta\lambda\iota\alpha\kappa.\kappa\epsilon\rho\delta 9.00,S} \Rightarrow \\ \dot{Q}_{\eta\lambda\iota\alpha\kappa.\kappa\epsilon\rho\delta 9.00,\sigma\lambda} &= 333,871 + 4000,747 + 650,621 + 1355,46 = 6340,699W \end{aligned}$$

Το ολικό κέρδος θερμότητας διαμέσου των παραθύρων του σπιτιού για την ηλιακή ώρα 12.00 (ηλιακό μεσημέρι) θα είναι:

- Παράθυρα βόρειας πλευράς:

$$\dot{Q}_{\eta\lambda\iota\alpha\kappa.\kappa\epsilon\rho\delta 12.00,N} = SHGC \cdot A_{\tau\zeta\alpha\mu\iota N} \cdot \dot{q}_{\eta\lambda\iota\alpha\kappa.\pi\rho\sigma\pi.N} = 0,7134 \cdot 4 \cdot 138 = 393,797W / m^2$$

- Παράθυρα ανατολικής πλευράς:

$$\dot{Q}_{\eta\lambda\iota\alpha\kappa.\kappa\epsilon\rho\delta 12.00,E} = SHGC \cdot A_{\tau\zeta\alpha\mu\iota E} \cdot \dot{q}_{\eta\lambda\iota\alpha\kappa.\pi\rho\sigma\pi.E} = 0,7134 \cdot 8 \cdot 149 = 850,373W$$

- Παράθυρα δυτικής πλευράς:

$$\dot{Q}_{\eta\lambda\iota\alpha\kappa.\kappa\epsilon\rho\delta 12.00,W} = SHGC \cdot A_{\tau\zeta\alpha\mu\iota W} \cdot \dot{q}_{\eta\lambda\iota\alpha\kappa.\pi\rho\sigma\pi.W} = 0,7134 \cdot 8 \cdot 149 = 850,373W$$

- Παράθυρα νότιας πλευράς:

$$\dot{Q}_{\etaλιακ.κερδ12.00,S} = SHGC \cdot A_{\tauζαμiS} \cdot \dot{q}_{\etaλιακ.προσπ.S} = 0,7134 \cdot 10 \cdot 395 = 2817,93W$$

Το ολικό κέρδος θα είναι:

$$\begin{aligned}\dot{Q}_{\etaλιακ.κερδ12.00,ολ} &= \dot{Q}_{\etaλιακ.κερδ12.00,N} + \dot{Q}_{\etaλιακ.κερδ12.00,E} + \dot{Q}_{\etaλιακ.κερδ12.00,W} + \dot{Q}_{\etaλιακ.κερδ12.00,S} \Rightarrow \\ \dot{Q}_{\etaλιακ.κερδ12.00,ολ} &= 393,797 + 850,373 + 850,373 + 1355,46 = 3450,003W\end{aligned}$$

Το ολικό κέρδος θερμότητας διαμέσου των παραθύρων του σπιτιού για την ηλιακή ώρα 15.00 θα είναι:

- Παράθυρα βόρειας πλευράς:

$$\dot{Q}_{\etaλιακ.κερδ15.00,N} = SHGC \cdot A_{\tauζαμiN} \cdot \dot{q}_{\etaλιακ.προσπ.N} = 0,7134 \cdot 4 \cdot 117 = 333,871W$$

- Παράθυρα ανατολικής πλευράς:

$$\dot{Q}_{\etaλιακ.κερδ15.00,E} = SHGC \cdot A_{\tauζαμiE} \cdot \dot{q}_{\etaλιακ.προσπ.E} = 0,7134 \cdot 8 \cdot 114 = 650,621W$$

- Παράθυρα δυτικής πλευράς:

$$\dot{Q}_{\etaλιακ.κερδ15.00,W} = SHGC \cdot A_{\tauζαμiW} \cdot \dot{q}_{\etaλιακ.προσπ.W} = 0,7134 \cdot 8 \cdot 701 = 4000,747W$$

- Παράθυρα νότιας πλευράς:

$$\dot{Q}_{\etaλιακ.κερδ15.00,S} = SHGC \cdot A_{\tauζαμiS} \cdot \dot{q}_{\etaλιακ.προσπ.S} = 0,7134 \cdot 10 \cdot 190 = 1355,46W$$

Το ολικό κέρδος θα είναι:

$$\begin{aligned}\dot{Q}_{\etaλιακ.κερδ15.00,ολ} &= \dot{Q}_{\etaλιακ.κερδ15.00,N} + \dot{Q}_{\etaλιακ.κερδ15.00,E} + \dot{Q}_{\etaλιακ.κερδ15.00,W} + \dot{Q}_{\etaλιακ.κερδ15.00,S} \Rightarrow \\ \dot{Q}_{\etaλιακ.κερδ15.00,ολ} &= 333,871 + 650,621 + 4000,747 + 1355,46 = 6340,699W\end{aligned}$$

Συμπέρασμα: Με βάση τους υπολογισμούς το μεγαλύτερο κέρδος θερμότητας το έχουμε στις 9.00 και στις 15.00 και προέρχεται κατά κύριο λόγο από τα παράθυρα της ανατολικής ή της δυτικής πλευράς αντίστοιχα. Για τη μείωση του κέρδους θερμότητας και επομένως και του ψυκτικού φορτίου θα πρέπει να τοποθετηθούν διατάξεις σκίασης ή μεμβράνη ανάκλασης στα παράθυρα της ανατολικής και της δυτικής πλευράς.

- Με βάση τα στοιχεία του πίνακα (2.13) για μία μέση ημέρα το μήνα Ιανουάριο θα έχουμε:

Μήνας	Διάρκεια	Ημερήσια συνολική προσπίπτουσα ηλιακή ακτινοβολία στην επιφάνεια, Wh / m ²			
		Βορράς	Ανατολή	Νότος	Δύση
Ιανουάριος	Ημερήσιο σύνολο	446	1863	5897	1863

Το κέρδος ηλιακής θερμότητας μέσω των παραθύρων κάθε πλευράς γίνεται:

- Παράθυρα βόρειας πλευράς

$$\dot{Q}_{\text{συνολ.}\etaλιακ.κερδ,N} = SHGC \cdot A_{\tauζαμiN} \cdot \dot{q}_{\text{συνολ.}\etaλιακ.προσπ.N} = 0,7134 \cdot 4 \cdot 446 = 1272,705Wh$$

$$\dot{Q}_{\text{συνολ.}\etaλιακ.κερδ,N} = 1,2727kWh$$

- Παράθυρα ανατολικής πλευράς

$$\dot{Q}_{\text{συνολ.ηλιακ.κερδ},E} = SHGC \cdot A_{\text{τζαμι}E} \cdot \dot{q}_{\text{συνολ.ηλιακ.προσπ},E} = 0,7134 \cdot 8 \cdot 1863 = 10632,513Wh$$

$$\text{ή } \dot{Q}_{\text{συνολ.ηλιακ.κερδ},E} = 10,6325kWh$$

- Παράθυρα νότιας πλευράς

$$\dot{Q}_{\text{συνολ.ηλιακ.κερδ},S} = SHGC \cdot A_{\text{τζαμι}S} \cdot \dot{q}_{\text{συνολ.ηλιακ.προσπ},S} = 0,7134 \cdot 10 \cdot 5897 = 42069,198Wh$$

$$\text{ή } \dot{Q}_{\text{συνολ.ηλιακ.κερδ},S} = 42,0692kWh$$

Παράθυρα δυτικής πλευράς

$$\dot{Q}_{\text{συνολ.ηλιακ.κερδ},W} = SHGC \cdot A_{\text{τζαμι}W} \cdot \dot{q}_{\text{συνολ.ηλιακ.προσπ},W} = 0,7134 \cdot 8 \cdot 1863 = 10632,513Wh$$

$$\text{ή } \dot{Q}_{\text{συνολ.ηλιακ.κερδ},W} = 10,6325kWh$$

Το συνολικό κέρδος θερμότητας του σπιτιού κατά τη διάρκεια της ημέρας είναι:

$$\dot{Q}_{\text{συνολ.ηλιακ.κερδ,ημέρας}} = 1272,705 + 10632,513 + 42069,198 + 10632,513 = 64606,929Wh$$

$$\text{ή } \dot{Q}_{\text{συνολ.ηλιακ.κερδ,ημέρας}} = 64,6069kWh$$

Συμπέρασμα: Με βάση τους υπολογισμούς το μεγαλύτερο κέρδος θερμότητας σε ημερήσια βάση το έχουμε από τα παράθυρα της νότιας πλευράς. Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι ο ήλιος στο βόρειο ημισφαίριο βρίσκεται χαμηλά την χειμερινή περίοδο και τα νότια εξωτερικά ανοίγματα δέχονται απευθείας την άμεση ηλιακή ακτινοβολία (βλέπε σχήμα 2.29 και 2.30).

Αν τα παράθυρα του σπιτιού είχαν γκρίζο τόνο, η τιμή του συντελεστή σκίασης SC για παράθυρο με διπλό τζάμι και πάχος κάθε πλάκας τζαμιού 6mm, από τα στοιχεία του πίνακα (2.14) είναι 0,58 και η τιμή του συντελεστή κέρδους ηλιακής θερμότητας θα είναι:

$SHGC=0,87 \times SC=0,87 \times 0,58=0,5046$ δηλαδή μειωμένος σε ποσοστό επί τοις εκατό:

$$\varepsilon\% = \frac{SHGC_1 - SHGC_2}{SHGC_1} \cdot 100 = \frac{0,7134 - 0,5046}{0,7134} = 29,268\%$$

Επομένως το κέρδος θερμότητας τόσο κατά τον μήνα Ιούλιο όσο και κατά το μήνα Ιανουάριο θα μειωθεί τόσο ανά πλευρά όσο και συνολικά κατά 29,268%.

Εφαρμογή 2

Ένα σπίτι που βρίσκεται σε περιοχή με γεωγραφικό πλάτος 40° βόρεια έχει εξωτερικά παράθυρα αλουμινίου με διπλή πόρτα και διπλό τζάμι με πάχος του κάθε τζαμιού 3mm και ενδιάμεσο χώρο αέρα 6,4mm με διαχωριστικά αλουμινίου. Η εσωτερική θερμοκρασία του σπιτιού διατηρείται συνεχώς στους 22°C . Να προσδιοριστεί αν το σπίτι κατά τη διάρκεια μιας συνηθισμένης ηλιόλουστης ημέρας του Ιανουαρίου και σε διάρκεια 24 ωρών χάνει περισσότερη ή λιγότερη θερμότητα από αυτή που κερδίζει από τον ήλιο διαμέσου των παραθύρων για όλους τους προσανατολισμούς. Η μέση εξωτερική θερμοκρασία είναι 8°C .

Απάντηση

Η τιμή του συντελεστή σκίασης SC για παράθυρο με διπλό τζάμι και πάχος κάθε πλάκας τζαμιού 3mm, από τα στοιχεία του πίνακα (2.14) είναι 0,88 και η τιμή του συντελεστή κέρδους ηλιακής θερμότητας θα είναι:

$$SHGC=0,87 \times SC=0,87 \times 0,88=0,7656$$

Από τον πίνακα (2.11) ο συνολικός παράγοντας U για παράθυρα με διπλή επιφάνεια (χωρίς επικάλυψη), με αέρα 6,4mm, πλαίσιο από αλουμίνιο, διπλή πόρτα και για όλους τους τύπους διαχωριστή είναι $4,55\text{W/m}^2\cdot\text{K}$ ή $4,55\text{W/m}^2\cdot^\circ\text{C}$

Η ημερήσια συνολική ηλιακή ακτινοβολία τον μήνα Ιανουάριο για περιοχή με γεωγραφικό πλάτος 40° βόρεια, ανά κατεύθυνση επιφάνειας, από τα στοιχεία του πίνακα (2.13) είναι:

Μήνας	Διάρκεια	Ημερήσια συνολική προσπίπτουσα ηλιακή ακτινοβολία στην επιφάνεια, Wh / m ²			
		Βορράς	Ανατολή	Νότος	Δύση
Ιανουάριος	Ημερήσιο σύνολο	446	1863	5897	1863

- Παράθυρα βόρειας πλευράς

Το κέρδος ηλιακής θερμότητας μέσω των παραθύρων ανά μονάδα επιφάνειας θα είναι:

$$\dot{Q}_{\text{συνολ.ηλιακ.κερδ},N} = SHGC \cdot A_{\tau\zeta\alpha\mu N} \cdot \dot{q}_{\text{συνολ.ηλιακ.προσπ.},N} = 0,7656(1\text{m}^2)(446\text{Wh} / \text{m}^2) \Rightarrow$$

$$\dot{Q}_{\text{συνολ.ηλιακ.κερδ},N} = 341,457\text{Wh} \quad \text{ή} \quad \dot{Q}_{\text{συνολ.ηλιακ.κερδ},N} = 0,3414\text{kWh}$$

Η απώλεια θερμότητας μέσω των παραθύρων ανά μονάδα επιφάνειας κατά τη διάρκεια του 24ωρου θα είναι:

$$Q_{\text{απωλ.παραθ.}} = \dot{Q}_{\text{απωλ.παραθ.}} \cdot \Delta t = U_{\text{παραθ}} A_{\text{παραθ}} (T_i - T_o)(24h) \Rightarrow$$

$$Q_{\text{απωλ.παραθ.}} = (4,55\text{W} / \text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C})(1\text{m}^2)(22 - 8)^\circ\text{C}(24h) = 1528,8\text{Wh} \quad \text{ή} \quad 1,5288\text{kWh}$$

Από τα παράθυρα που βρίσκονται στη βόρεια πλευρά στη διάρκεια του 24ωρου έχουμε απώλεια θερμότητας για κάθε m²:

$$\dot{Q}_{\text{απωλ.παραθ.},N} = Q_{\text{απωλ.παραθ.}} - \dot{Q}_{\text{συνολ.ηλιακ.κερδ},N} = 1528,8 - 341,457 = 1187,343\text{Wh}$$

$$\text{ή} \quad \dot{Q}_{\text{απωλ.παραθ.},N} = 1,1873\text{kWh}$$

- Παράθυρα ανατολικής πλευράς

Το κέρδος ηλιακής θερμότητας μέσω των παραθύρων ανά μονάδα επιφάνειας θα είναι:

$$\dot{Q}_{\text{συνολ.ηλιακ.κερδ},E} = SHGC \cdot A_{\tau\zeta\alpha\mu E} \cdot \dot{q}_{\text{συνολ.ηλιακ.προσπ.},E} = 0,7656(1\text{m}^2)(1863\text{Wh} / \text{m}^2) \Rightarrow$$

$$\dot{Q}_{\text{συνολ.ηλιακ.κερδ},E} = 1426,312\text{Wh} \quad \text{ή} \quad \dot{Q}_{\text{συνολ.ηλιακ.κερδ},E} = 1,4263\text{kWh}$$

Από τα παράθυρα που βρίσκονται στην ανατολική πλευρά στη διάρκεια του 24ωρου έχουμε απώλεια θερμότητας για κάθε m²:

$$\dot{Q}_{\text{απωλ.παραθ.},E} = Q_{\text{απωλ.παραθ.}} - \dot{Q}_{\text{συνολ.ηλιακ.κερδ},E} = 1528,8 - 1426,312 = 102,488\text{Wh}$$

$$\text{ή} \quad \dot{Q}_{\text{απωλ.παραθ.},E} = 0,1024\text{kWh}$$

Από τα παράθυρα που βρίσκονται στην δυτική πλευρά στη διάρκεια του 24ωρου έχουμε απώλεια θερμότητας για κάθε m² όση και από τα παράθυρα της ανατολικής πλευράς:

$$\dot{Q}_{\text{απωλ.παραθ.},W} = \dot{Q}_{\text{απωλ.παραθ.},E} = 102,488\text{Wh} \quad \text{ή} \quad 0,1024\text{kWh}$$

- Παράθυρα νότιας πλευράς

Το κέρδος ηλιακής θερμότητας μέσω των παραθύρων ανά μονάδα επιφάνειας θα είναι:

$$\dot{Q}_{\text{συνολ.ηλιακ.κερδ},S} = SHGC \cdot A_{\text{τζαμι}S} \cdot \dot{q}_{\text{συνολ.ηλιακ.προσπ.}S} = 0,7656(1m^2)(5897Wh / m^2) \Rightarrow$$

$$\dot{Q}_{\text{συνολ.ηλιακ.κερδ},S} = 4514,743Wh \text{ ή } \dot{Q}_{\text{συνολ.ηλιακ.κερδ},S} = 4,5147kWh$$

Από τα παράθυρα που βρίσκονται στη νότια πλευρά στη διάρκεια του 24ωρου έχουμε κέρδος θερμότητας για κάθε m^2 :

$$\dot{Q}_{\text{ηλιακ.κερδ.παρθ},S} = \dot{Q}_{\text{συνολ.ηλιακ.κερδ},S} - \dot{Q}_{\text{απωλ.παρθ.}} = 4514,743 - 1528,8 = 2985,943Wh$$

$$\text{ή } \dot{Q}_{\text{ηλιακ.κερδ.παρθ},S} = 2,9859kWh$$

Εφαρμογή 3

Ένα κτίριο που βρίσκεται σε περιοχή με γεωγραφικό πλάτος 40° βόρεια έχει στην νότια πλευρά εξωτερικά παράθυρα συνολικού εμβαδού $50m^2$. Τα παράθυρα είναι κατασκευασμένα με διπλό απορροφητικό τζάμι και φέρουν επιπλέον ανοιχτόχρωμες οριζόντιες περσίδες με συντελεστή σκίασης $SC=0,30$. Να υπολογιστεί το συνολικό κέρδος ηλιακής θερμότητας του κτιρίου διαμέσου των νότιων παραθύρων κάποιο μεσημέρι τον μήνα Ιούλιο. Ποια θα ήταν η διαφορά στο συνολικό κέρδος ηλιακής θερμότητας αν δεν υπήρχαν οι περσίδες;

Απάντηση

Η τιμή του συντελεστή σκίασης SC για παράθυρο με διπλό απορροφητικό τζάμι, από τα στοιχεία του πίνακα (2.14) είναι 0,58 και η τιμή του συντελεστή κέρδους ηλιακής θερμότητας θα είναι:

$$SHGC=0,87 \times SC=0,87 \times 0,58=0,5046$$

Η ωριαία συνολική ηλιακή ακτινοβολία τον μήνα Ιούλιο για περιοχή με γεωγραφικό πλάτος 40° βόρεια, στην νότια πλευρά το ηλιακό μεσημέρι (12.00), από τα στοιχεία του πίνακα (2.13) είναι $395W/m^2$.

Για την περίπτωση που τα παράθυρα έχουν περσίδες το ηλιακό κέρδος θα είναι:

$$\dot{Q}_{\text{ηλιακ.κερδ}12.00,S+\text{περσ}} = SHGC_{\text{περσ}} \cdot A_{\text{τζαμι}S} \cdot \dot{q}_{\text{ηλιακ.προσπ.}S} \Rightarrow$$

$$\dot{Q}_{\text{ηλιακ.κερδ}12.00,S+\text{περσ}} = (0,30)(50m^2)(395W / m^2) = 5925W$$

Για την περίπτωση που τα παράθυρα δεν έχουν περσίδες το ηλιακό κέρδος θα είναι:

$$\dot{Q}_{\text{ηλιακ.κερδ}12.00,S} = SHGC \cdot A_{\text{τζαμι}S} \cdot \dot{q}_{\text{ηλιακ.προσπ.}S} \Rightarrow$$

$$\dot{Q}_{\text{ηλιακ.κερδ}12.00,S} = (0,5046)(50m^2)(395W / m^2) = 9965,85W$$

Η διαφορά στο συνολικό κέρδος, χωρίς τις περσίδες, διαμέσου των νότιων παραθύρων κατά το ηλιακό μεσημέρι θα είναι:

$$\dot{Q}_{\text{διαφ.ηλιακ.κερδ}12.00,S} = \dot{Q}_{\text{ηλιακ.κερδ}12.00,S} - \dot{Q}_{\text{ηλιακ.κερδ}12.00,S+\text{περσ}} = 9965,85 - 5925 = 4040,85W$$