



ΕΛΛΗΝΙΚΟ ΜΕΣΟΓΕΙΑΚΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΤΜΗΜΑ ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ

Ενεργειακή Διαχείριση & Εξοικονόμηση Ενέργειας

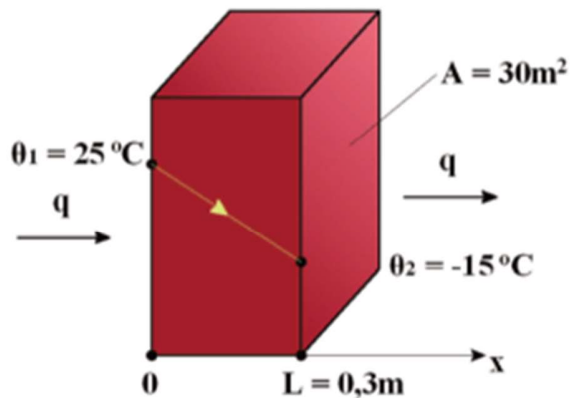
Δρ. Τριανταφυλλιά Νικολάου

ΕΝΟΤΗΤΑ 04: ΘΕΡΜΙΚΗ ΣΥΜΠΕΡΙΦΟΡΑ ΚΤΙΡΙΟΥ Ι

Άσκηση 1

Υπολογισμός της θερμοροής διά μέσου ενός δομικού στοιχείου

Ένα διαχωριστικό τοίχωμα από ελαφρό σκυροδέμα επιφάνειας 30m^2 βρίσκεται ανάμεσα σε επιφανειακές θερμοκρασίες 20°C και -15°C , ενώ έχει πάχος $0,30\text{m}$ (σχήμα 2.3). Αν ο συντελεστής θερμικής αγωγιμότητας του ελαφρού σκυροδέματος είναι $1,1\text{W/m}\cdot\text{K}$, να υπολογισθούν οι απώλειες θερμότητας μέσω του τοιχώματος.



Σχήμα 2.3: Θερμοροή μέσω δομικού στοιχείου.

Λύση:

Υποθέτουμε μονοδιάστατη ροή θερμότητας, σταθερής κατάστασης με αγωγιμότητα. Εφαρμόζοντας το νόμο του Fourier για το τοίχωμά μας με λ , A σταθερές και χωρίς παραγωγή θερμότητας μέσα στο τοίχωμα, θα έχουμε:

$$q = -\lambda \cdot A \cdot \frac{\Delta\theta}{L} = -\lambda \cdot A \cdot \frac{(\theta_2 - \theta_1)}{L} = -(1.1 \text{ W/mK} \cdot 30 \text{ m}^2 \cdot \frac{(-15 - 25)^\circ \text{C}}{0.3 \text{ m}} = 4.400 \text{ W} = 4.4 \text{ kW} .$$

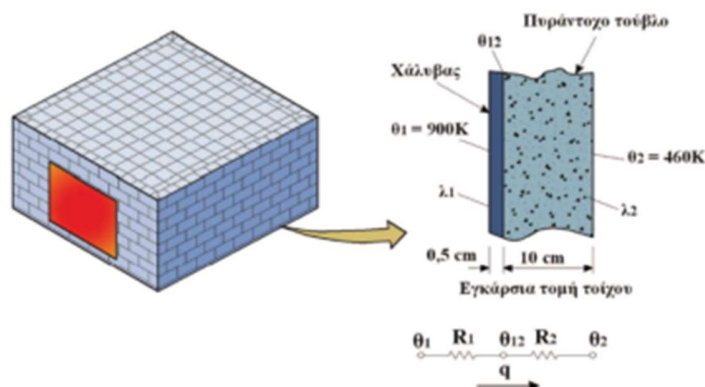
Επισημαίνεται η ισότητα $\Delta\theta$ ($^\circ\text{C}$) = $\Delta\theta$ (K).

14

Άσκηση 2

Εύρεση θερμοκρασίας διεπαφής σε διαδοχικές στρώσεις υλικών

Υπολογίστε το ποσοστό απώλειας θερμότητας ανά μονάδα επιφάνειας από ένα τοίχωμα κλιβάνου. Το τοίχωμα κατασκευάζεται από ένα εσωτερικό στρώμα πάχους 0,5cm από χάλυβα ($\lambda_1 = 40 \text{ W/mK}$) και από ένα εξωτερικό στρώμα πάχους 10cm από πυράντοχο τούβλο ($\lambda_2 = 2.5 \text{ W/mK}$), όπως φαίνεται στο σχήμα 2.6. Η θερμοκρασία της εσωτερικής επιφάνειας του τοιχώματος είναι 900K και η εξωτερική θερμοκρασία της επιφάνειας του τούβλου είναι 460K. Ποια είναι η θερμοκρασία στη διεπαφή των δύο επιφανειών;



Σχήμα 2.6: Υπολογισμός θερμοκρασιών διεπαφής.

Λύση

Εστω ότι έχουμε σύστημα σταθερής κατάστασης και ότι αγνοούμε τις επιδράσεις στις γωνίες και ακμές του τοίχου. Επίσης υποθέτουμε ότι οι θερμοκρασίες στις διάφορες επιφάνειες κατανέμονται ομοιόμορφα. Το φυσικό σύστημα και το αντίστοιχο θερμικό κύκλωμα απεικονίζονται στο σχήμα 2.6 με δύο μόνο στρώματα υλικών στους τοίχους. Ο ρυθμός απόλειας θερμότητας ανά μονάδα επιφάνειας μπορεί να υπολογιστεί από την σχέση:

$$\frac{q}{A} = \frac{\theta_1 - \theta_{n+1}}{\sum_{i=1}^n \frac{L_i}{\lambda_i}} = \frac{(900 - 460)\text{K}}{\left(\frac{0,005}{40} + \frac{0,10}{2,5}\right) \frac{\text{m}}{\text{W/mK}}} \Leftrightarrow \frac{q}{A} = \frac{440\text{K}}{(0,000125 + 0,04) \frac{\text{m}^2\text{K}}{\text{W}}} \Leftrightarrow \frac{q}{A} = 10,965 \frac{\text{W}}{\text{m}^2}$$
$$\approx 10,97 \frac{\text{KW}}{\text{m}^2}$$

Η θερμοκρασία διεπαφής θ_{12} μπορεί να υπολογιστεί από τη σχέση:

$$\frac{q}{A} = \frac{\theta_1 - \theta_{12}}{R_1}$$

και λύνοντας ως προς θ_{12} θα έχουμε:

$$\theta_{12} = \theta_1 - \frac{q}{A} \cdot \frac{\lambda_1}{L_1} \Leftrightarrow \theta_{12} = 900\text{K} - 10,965 \frac{\text{W}}{\text{m}^2} \cdot \frac{0,005 \text{ m}^2\text{K}}{40 \text{ W}} \Leftrightarrow \theta_{12} = 898,6\text{K}$$

Σημειώνεται ότι η πτώση της θερμοκρασίας σε όλη την εσωτερική πλευρά του τοιχώματος που είναι από χάλυβα είναι μόνο 1,4K, επειδή η θερμική αντίσταση του τμήματος αυτού του τοιχώματος είναι μικρή σε σύγκριση με την αντίσταση του τμήματος από τούβλο, κατά μήκος του οποίου η πτώση της θερμοκρασίας είναι πολλές φορές μεγαλύτερη.

Άσκηση 3

Υπολογισμός της θερμικής αντίστασης R μιας κτηριακής τοιχοποιίας:

Ο εξωτερικός τοίχος μιας κατοικίας αποτελείται από τα εξής υλικά (σε διαδοχικές και σε πολύ καλή επαφή μεταξύ τους στρώσεις):

α. ασβεστοκονίαμα πυκνότητας $\rho=1.800\text{kg/m}^3$ με πάχος $\delta_1=2\text{cm}$ και συντελεστή θερμικής αγωγιμότητας $\lambda_1=0,87\text{W/(mK)}$ (τιμή από πίνακα 2 της TOTEE 20701-2)

β. διάτρητη οπτοπλινθοδομή με πάχος $\delta_2=15\text{cm}$ και συντελεστή θερμικής αγωγιμότητας $\lambda_2=0,51\text{W/(mK)}$ (τιμή από πίνακα 2 της TOTEE 20701-2)

γ. θερμομονωτικό υλικό από διογκωμένη πολυστερίνη με πάχος $\delta_3=5\text{cm}$ και συντελεστή θερμικής αγωγιμότητας $\lambda_3=0,036\text{W/(mK)}$ (τιμή από πίνακα 2 της TOTEE 20701-2 ή από πιστοποιημένο κατασκευαστή)

δ. ασβεστοκονίαμα πυκνότητας $\rho=1.800\text{kg/m}^3$ με πάχος $\delta_4=2\text{cm}$ και συντελεστή θερμικής αγωγιμότητας $\lambda_4=0,87\text{W/(mK)}$ (τιμή από πίνακα 2 της TOTEE 20701-2).

Ζητούνται:

α. Ποιες είναι οι τιμές των θερμικών αντιστάσεων των επιμέρους υλικών (στρώσεων);

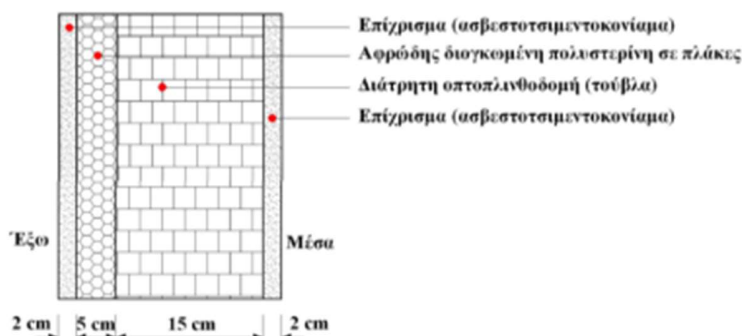
β. Ποια είναι η τιμή της συνολικής θερμικής αντίστασης του τοιχώματος;

γ. Ποια είναι η θερμική ισχύς (πυκνότητα θερμοροής) που διέρχεται διαμέσου του παραπάνω τοιχώματος, αν η εσωτερική θερμοκρασία επιφάνειας του πρώτου στρώματος είναι 22°C και η θερμοκρασία στην εξωτερική επιφάνεια του τελευταίου στρώματος υλικού είναι 5°C ;

Λύση

Υπόμνηση

Θεωρούμε ότι έχουμε μονοδιάστατη μετάδοση θερμότητας σε ισοθερμοκρασιακές επιφάνειες σταθερής κατάστασης και σε μια κατεύθυνση κάθετη στις επιφάνειες αυτές. Επίσης οι στρώσεις των διαφόρων υλικών βρίσκονται σε πολύ καλή επαφή μεταξύ τους και οι συντελεστές θερμικής αγωγιμότητάς τους είναι σταθεροί και ανεξάρτητοι της θερμοκρασίας.



Σχήμα 2.9: Υπολογισμός θερμικής αντίστασης εξωτερικής τοιχοποιίας.

Οι τιμές της θερμικής αντίστασης του κάθε υλικού υπολογίζονται από τη σχέση 2.5. Έτσι ο συντελεστής θερμικής αντίστασης του πρώτου στρώματος υλικού (ασβεστοκονίαμα) είναι:

$$R_1 = \frac{\delta_1}{\lambda_1} = \frac{0,02\text{m}}{0,87\text{W/mK}} = 0,023\text{m}^2\text{K/W}.$$

Στη συνέχεια ο συντελεστής θερμικής αντίστασης του δεύτερου στρώματος υλικού (οπτοπλινθοδομή) είναι:

$$R_2 = \frac{\delta_2}{\lambda_2} = \frac{0,15\text{m}}{0,51\text{W/mK}} = 0,294\text{m}^2\text{K/W}.$$

Ο συντελεστής θερμικής αντίστασης του τρίτου στρώματος υλικού (διογκωμένη πολυστερίνη) είναι:

$$R_3 = \frac{\delta_3}{\lambda_3} = \frac{0,05\text{m}}{0,036\text{W/(mK)}} = 1,389\text{m}^2\text{K/W}.$$

Τέλος, ο συντελεστής θερμικής αντίστασης του τελευταίου στρώματος υλικού (ασβεστοκονίαμα) είναι:

$$R_4 = \frac{\delta_4}{\lambda_4} = \frac{0,02\text{m}}{0,87\text{W/(mK)}} = 0,023\text{m}^2\text{K/W}.$$

Η συνολική θερμική αντίσταση του τοίχου είναι το άθροισμα των τεσσάρων παραπάνω τιμών (σε αντιστοιχία με το μοντέλο των εν σειρά ηλεκτρικών αντιστάσεων), δηλαδή:

$$R_{\text{ολ}} = R_1 + R_2 + R_3 + R_4 = 0,023 + 0,294 + 1,389 + 0,023 = 1,729\text{m}^2\text{K/W}.$$

Στη συνέχεια υπολογίζουμε την πυκνότητα θερμοροής (θερμική ισχύ)

$$q = \frac{\Delta\theta}{\sum_{i=1}^{i=n} R_i} = \frac{(22 - 5)\text{K}}{1,729\text{m}^2\text{K/W}} = 9,83 \frac{\text{W}}{\text{m}^2}.$$

Ας σημειωθεί εδώ ότι αν χρησιμοποιούμε «μοναδιαίο» τοίχο, δηλαδή εμβαδού 1m^2 , για να υπολογίσουμε τη θερμοροή, τότε (εξ ορισμού) οι παράμετροι «θερμική αντίσταση» και «συντελεστής θερμικής αντίστασης» είναι αριθμητικά ίσες αλλά με διαφορετικές μονάδες.

Σχόλια: Το μεγαλύτερο ποσοστό της συνολικής θερμικής αντίστασης ($1,389/1,729=0,80$ ή 80%) οφείλεται στο μονωτικό υλικό. Αν και το μονωτικό υλικό είναι ένα από τα «λεπτότερα» στοιχεία μιας τοιχοποιίας (αν εξαιρέσουμε τα ασβεστοκονιάματα), ωστόσο είναι το υλικό με τη μικρότερη θερμική αγωγιμότητα ή, ισοδύναμα, το υλικό με τη μεγαλύτερη θερμική αντίσταση.