EXAME

SEMESTRE 2

Data: 8 de Abril, 11:30 horas

MIEEA

Sistemas Energéticos em Edifícios

(Duração máxima permitida: 90 + 30 minutos)

ATENÇÃO: Leia com atenção o enunciado e procure responder às questões justificando as opções tomadas. Sempre que necessário utilize os seguintes valores para as propriedades do ar: $\rho = 1.2$ kg/m^3; c=1 kJ/(kg.K); $\mu = 1.8 \times 10^{-5}$ kg/(m.s); $\lambda = 2.57 \times 10^{-2}$ W/(m.K); $Pr = 0.7$. Constante de Stephan-Boltzman $\sigma = 5.67 \times 10^{-8}$ J/(s.m^2.K^4).

PARTE A

1. Calcular a **espessura** do isolamento térmico (dimensão e na figura) de forma a que o coeficiente de transmissão térmica desta laje de pavimento seja 0.65 W/(m^{2}K), na situação de um dia de inverno.

Por definição

$$U = \frac{1}{R''_{se} + R''_t + R''_{si}}$$

Num dia de Inverno o fluxo é descendente pelo que $R''_{se} = 0.04$ m^{2}K/W e $R''_{si} = 0.17$ m^{2}K/W. Pode assim calcular-se

$$R''_t = \frac{1}{U} - R''_{se} - R''_{si} = \frac{1}{0.65} - 0.04 - 0.17 = 1.328 \text{ m}^2\text{K/W}$$

A resistência R''_t resulta da resistência térmica equivalente dos vários materiais

$$R''_t = R''_1 + R''_2 + R''_{eq} + R''_4$$

com

$$R''_1 = \frac{L}{\lambda} = \frac{0.18}{2} = 0.09 \text{ m}^2\text{K/W}$$

$$R''_2 = \frac{0.05}{1.3} = 0.038 \text{ m}^2\text{K/W}$$

$$R''_3 = \frac{0.02}{0.23} = 0.087 \text{ m}^2\text{K/W}$$

$$R''_{eq} = R''_t - R''_1 - R''_2 - R''_4 = 1.328 - 0.09 - 0.038 - 0.087 = 1.113 \text{ m}^2\text{K/W}$$

Pode agora calcular-se a resistência térmica absoluta a partir da área padrão

$$R''_{eq} = \frac{R_{eq}}{A} = \frac{1.113}{0.70 \times 1} = 1.59 \text{ K/W}$$

Essa resulta também da forma como estão dispostos os vários elementos

$$\frac{1}{R_{eq}} = \frac{1}{R_4 b} + \frac{1}{R_3 + R_{ar}}$$

$$R_3 = \left(\frac{1}{R_{eq}} - \frac{1}{R_4}\right)^{-1} - R_{ar}$$

$$R_4 = \frac{L}{kA} = \frac{0.1}{0.23 \times 0.1 \times 1} = 4.348 \text{ K/W}$$

$$R_{ar} = \frac{R_{ar}}{A} = \frac{0.20}{0.60 \times 1} = 0.333 \text{ K/W}$$

Assim

$$R_3 = 2.174 \text{ K/W}$$

Por fim

$$R_3 = \frac{L}{kA}$$

$$L = R_3 \lambda A = 2.174 \times 0.045 \times 0.60 \times 1 = 0.058 \text{ m}$$

2. Num dia de inverno, em que no interior da casa estejam 23°C e no exterior −5°C, qual a **taxa de calor** que atravessa 1 m^2 de laje de pavimento?

A taxa de calor que atravessa a laje de pavimento é

$$q = UA(T_i - T_e) = 0.65 \times 1 \times [23 - (-5)] = 18.2 \text{ W}$$

3. Estimar o **coeficiente de transmissão térmica por radiação** na superfície de um pavimento aquecido, cuja temperatura superficial interior é de 40°C, para uma sala com área 5×6 m^2 e com 2.8 m de altura. Todas as superfícies possuem uma emissividade de 0.9 e, à excepção da superfície do pavimento, encontram-se a 23°C.

O coeficiente de transmissão térmica por radiação é calculado por

$$h_r = \varepsilon^* h_r^*$$

em que

$$h_r^* = 4\sigma \overline{T}_{12}^3$$

$$\varepsilon^* = \left(\frac{1-\varepsilon_1}{\varepsilon_1} + \frac{1}{F_{12}} + \frac{1-\varepsilon_1}{\varepsilon_1} \frac{A_1}{A_2} \right)^{-1}$$

Designando por 1 a superfície do pavimento e 2 as restantes superfícies, tem-se

$$h_r^* = 4 \times 5.67 \times 10^{-8} \times 304.5^3 = 6.4 \text{ W/m}^2\text{K}$$

$$\varepsilon^* = \left(\frac{1-0.9}{0.9} + \frac{1}{1} + \frac{1-0.9}{0.9} \frac{5 \times 6}{5 \times 6 + (10+12) \times 2.8} \right)^{-1} = 0.8714$$

$$h_r = 0.8714 \times 6.4 = 5.58 \text{ W/m}^2\text{K}$$

4. **Comparar** o valor obtido com o assumido, quando se consideram valores *standard* para as resistências térmicas superficiais fílmicas nessa situação.

O valor standard utilizado é 5 W/m^{2}K que não difere muito do valor obtido.

PARTE B

Considerar uma casa com um recuperador de calor com uma potência de 5 kW e que distribui o calor por toda a casa (espaço A). A temperatura do ar exterior (C) é 0°C. Considerar que a mistura do ar no interior da casa (A) é perfeita e que não existe transferência de calor pelo pavimento. Existe um espaço anexo (B) que não é aquecido e que se encontra separado do espaço interior por uma parede (D). A taxa de ventilação do espaço (A) é 90 m^3/h e os ganhos internos com ocupantes e equipamentos são 320 W. A ventilação no espaço (B) é 20 m^3/h e não tem ganhos internos. Desprezar as pontes térmicas lineares e planas e as perdas radiativas com o céu.

CONTINUA

Envolvente	Espaço A		Espaço B	
	Área [m^2]	U [$W/(m^2K)$]	Área [m^2]	U [$W/(m^2K)$]
Cobertura	120	0.80	30	2.10
Paredes exteriores	86	0.60	20	1.20
Parede D	24	1.00		
Janelas	22	4.20	-	-

1. Em condições de regime permanente, durante a noite, calcular a **temperatura do ar no interior** dos espaços (A) e (B) assumindo que o recuperador de calor funciona à potência máxima.

O espaço A tem duas condutâncias em paralelo entre o nó interior θ_A e o exterior, são essas:

$$H_{vA} = \rho_a c_a \dot{V} = 1200 \times \frac{90}{3600} = 30 \text{ W/K}$$

$$H_{tA} = \sum UA = 120 \times 0.8 + 86 \times 0.6 + 22 \times 4.2 = 240 \text{ W/K}$$

Por sua vez, o espaço B tem também duas condutâncias em paralelo entre o nó interior θ_B e o exterior, são essas:

$$H_{vB} = \rho_a c_a \dot{V} = 1200 \times \frac{20}{3600} = 6.67 \text{ W/K}$$

$$H_{tB} = \sum UA = 30 \times 2.1 + 20 \times 1.2 = 87 \text{ W/K}$$

Entre os nós θ_A e θ_B existe uma condutância de transmissão que corresponde à parede D.

$$H_D = UA = 24 \times 1.0 = 24 \text{ W/K}$$

No nó θ_A existe a entrada de

$$q = q_{aux} + q_{int} = 5000 + 320 = 5320 \text{ W}$$

Para resolver esta rede térmica somam-se as condutâncias em paralelo:

$$H_A = H_{vA} + H_{tA} = 30 + 240 = 270 \text{ W/K}$$

$$H_B = H_{vB} + H_{tB} = 6.67 + 87 = 93.67 \text{ W/K}$$

Como não existe q a entrar em θ_B, a condutância H_B e H_D estão em série

$$H_{BD} = \frac{H_B H_D}{H_B + H_D} = 19.1 \text{ W/K}$$

Esta condutância está em paralelo com H_A pelo que

$$H_t = H_A + H_{BD} = 270 + 19.1 = 289.1 \text{ W/K}$$

Após estas simplificações, a equação de balanço de energia final é simplesmente

$$q = H_t(\theta_A - \theta_e)$$

$$\theta_A = \theta_e + \frac{q}{H_t} = \frac{5320}{289.1} = 18.4°\text{C}$$

Com este valor é possível calcular q_D que atravessa a parede D em direção ao exterior

$$q_D = H_{BD}(\theta_A - \theta_e) = 19.1 \times 18.4 = 351.6 \text{ W}$$

pelo que

$$q_D = H_B(\theta_B - theta)$$

$$\theta_B = \theta_e + \frac{q_D}{H_B} = \frac{351.6}{93.67} = 3.8°\text{C}$$

2. Para essas condições, calcular o **factor de ajuste** do espaço (B).

O factor de ajuste é, por definição,

$$b_{tr} = \frac{\theta_A - \theta_B}{\theta_A - \theta_e} = \frac{18.4 - 3.8}{18.4 - 0} = 0.796$$

3. Com base nos resultados obtidos, **discutir** a adequabilidade de investir na melhoria da qualidade térmica da parede (D).

Um factor de ajuste elevado significa que as condições no interior são próximas da do ar exterior, pelo que a qualidade térmica da parede D deve ser equivalente à das paredes exteriores.