



2.4 EXERCICES ÉNERGIE THERMIQUE

Exercice n° 2.4.n : Le refroidissement éolien

Le refroidissement éolien, qui survient lors d'une journée froide et venteuse, est lié à un transfert de chaleur accru de la peau humaine exposée vers l'atmosphère environnante. Considérons une couche de tissu adipeux de 3 mm d'épaisseur et dont la surface intérieure est maintenue à une température de 36 °C. Par temps calme, le coefficient de transfert de chaleur par convection à la surface extérieure est de $25 \frac{W}{m^2.K}$, mais avec des vents de 30 km/h, il atteint $65 \frac{W}{m^2.K}$. Dans les deux cas, la température de l'air ambiant est de 15 °C.

QUESTIONS

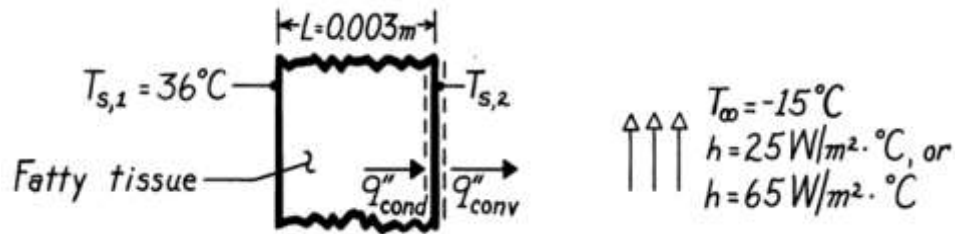
Question 1 : Quel est le rapport entre la perte de chaleur par unité de surface de la peau pour la journée calme et celle pour la journée venteuse ?

Question 2 : Quelle sera la température de la surface extérieure de la peau pour la journée calme ? Pour la journée venteuse ?

Question 3 : Quelle température l'air devrait-il prendre par temps calme pour produire la même perte de chaleur ?

REPONSES

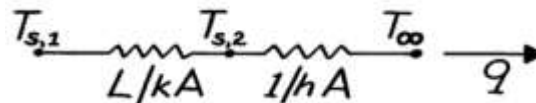
Schéma



Hypothèses : (1) Conduction unidimensionnelle à travers une paroi plane, (2) Conditions à l'état d'équilibre, (3) Milieu homogène à propriétés constantes, (4) Aucune génération de chaleur interne (les effets métaboliques sont négligeables), (5) Effets de rayonnement négligeables.

Question 1 : Quel est le rapport entre la perte de chaleur par unité de surface de la peau pour la journée calme et celle pour la journée venteuse ?

Le circuit thermique pour cette situation est :



Par conséquent, le taux de chaleur est :

$$q = \frac{T_{s,1} - T_{\infty}}{R_{tot}} = \frac{T_{s,1} - T_{\infty}}{\frac{L}{kA} + \frac{1}{hA}}$$

Donc,

$$\frac{q''_{calm}}{q''_{windy}} = \frac{\left[\frac{L}{h} + \frac{1}{h}\right]_{windy}}{\left[\frac{L}{h} + \frac{1}{h}\right]_{calm}}$$

En appliquant un bilan énergétique de surface à la surface extérieure, il s'ensuit également que $q''_{cond} = q''_{conv}$ donc,

$$\frac{k}{L}(T_{s,1} - T_{s,2}) = h(T_{s,2} - T_{\infty})$$

$$T_{s,2} = \frac{T_{\infty} + \frac{k}{hL} T_{s,1}}{1 + \frac{k}{hL}}$$

Pour déterminer l'effet de refroidissement éolien, nous devons déterminer la perte de chaleur pour la journée venteuse et l'utiliser pour évaluer la température de l'air ambiant hypothétique, qui fournirait la même perte de chaleur par temps calme, par conséquent,



$$q'' = \frac{T_{s,1} - T_{\infty}}{\left[\frac{L}{k} + \frac{1}{h}\right]_{windy}} = \frac{T_{s,1} - T'_{\infty}}{\left[\frac{L}{k} + \frac{1}{h}\right]_{calm}}$$

A partir de ces relations, nous pouvons maintenant trouver les résultats recherchés :

Rapport entre la perte de chaleur par unité de surface de la peau pour la journée calme et celle pour la journée venteuse :

$$\frac{q''_{calm}}{q''_{windy}} = \frac{\frac{0,003 \text{ m}}{0,2 \frac{W}{m \cdot K}} + \frac{1}{65 \frac{W}{m^2 \cdot K}}}{\frac{0,003 \text{ m}}{0,2 \frac{W}{m \cdot K}} + \frac{1}{25 \frac{W}{m^2 \cdot K}}} = \frac{0,015 + 0,0154}{0,015 + 0,04} = 0,553$$

Température de la surface extérieure de la peau pour la journée calme :

$$T_{s,2,calm} = \frac{-15^{\circ}\text{C} + \frac{0,2 \frac{W}{m \cdot K}}{25 \frac{W}{m^2 \cdot K}} \times 36^{\circ}\text{C}}{1 + \frac{0,2 \frac{W}{m \cdot K}}{25 \frac{W}{m^2 \cdot K}} \times 0,003 \text{ m}} = 22,1^{\circ}\text{C}$$

Question 2 : Quelle sera la température de la surface extérieure de la peau pour la journée calme ? Pour la journée venteuse ?

Température de la surface extérieure de la peau pour la journée venteuse :

$$T_{s,2,windy} = \frac{-15^{\circ}\text{C} + \frac{0,2 \frac{W}{m \cdot K}}{65 \frac{W}{m^2 \cdot K}} \times 36^{\circ}\text{C}}{1 + \frac{0,2 \frac{W}{m \cdot K}}{65 \frac{W}{m^2 \cdot K}} \times 0,003 \text{ m}} = 10,8^{\circ}\text{C}$$

Question 3 : Quelle température l'air devrait-il prendre par temps calme pour produire la même perte de chaleur ?

Température que l'air devrait prendre par temps calme pour produire la même perte de chaleur :

$$T'_{\infty} = 36^{\circ}\text{C} - (36 + 15)^{\circ}\text{C} \frac{\left(\frac{0,003}{0,2} + \frac{1}{25}\right)}{\left(\frac{0,003}{0,2} + \frac{1}{65}\right)} = -56,3^{\circ}\text{C}$$

Commentaire : L'effet de refroidissement éolien équivaut à une diminution de $T_{s,2}$ de $11,3^{\circ}\text{C}$ et à une augmentation de la déperdition thermique d'un facteur $(0,553)^{-1} = 1,81$.