

- 15 De warmtestroom bij een temperatuurverschil van 1,0 °C door een raam van 1,0 m<sup>2</sup> wordt de  $U$ -waarde genoemd. Bij een raam met enkel glas geldt  $U = 5,7 \text{ W m}^{-2} \text{ K}^{-1}$ . Een woonkamer in het midden van een flatgebouw heeft aan de voorzijde en de achterzijde muren met daarin een groot raam. In elk raam zitten twee ruiten van enkel glas van 1,5 m hoog en 2,0 m breed. De temperatuur in de kamer is 20,0 °C. De buitentemperatuur is 7,0 °C.
- a Toon aan dat de totale warmtestroom door de ramen aan de voorkant en achterkant samen  $8,9 \cdot 10^2 \text{ W}$  is.
- In de ramen zitten ruiten van gewoon glas van 4,0 mm dik. Als de warmtestroom door de ruiten  $8,9 \cdot 10^2 \text{ W}$  is, is het temperatuurverschil tussen binnen- en buitenkant van het glas maar 0,32 °C.
- b Toon dit aan.
- Een ruit van enkel glas isoleert dus te weinig om de warmtestroom te verklaren. Het verschil wordt veroorzaakt doordat zowel aan de binnen- als aan de buitenkant van het glas een laag stilstaande lucht aanwezig is. Ook door deze luchtlagen is de warmtestroom  $8,9 \cdot 10^2 \text{ W}$ .
- c Leg dit uit.
- d Bereken de totale dikte van de luchtlagen aan de binnen- en buitenkant van de ruit.

#### Opgave 15

- a De totale warmtestroom bereken je met de definitie van de  $U$ -waarde. Het temperatuurverschil in K is gelijk aan het temperatuurverschil in °C.

De totale oppervlakte aan glas is  $2,0 \times 2,0 \times (1,5 \times 2,0) = 12,0 \text{ m}^2$ .  
Het temperatuurverschil is  $20,0 - 7,0 = 13,0 \text{ °C} = 13,0 \text{ K}$ .  
De totale warmtestroom is  $5,7 \times 12,0 \times 13,0 = 8,89 \cdot 10^2 \text{ W}$ .  
Afgerond:  $8,9 \cdot 10^2 \text{ W}$ .

- b Het temperatuurverschil bereken je met de formule voor de warmtestroom. Het temperatuurverschil in K is gelijk aan het temperatuurverschil in °C.

$$P = \lambda \cdot A \cdot \frac{\Delta T}{d}$$
$$P = 8,9 \cdot 10^2 \text{ W}$$
$$\lambda = 0,93 \text{ W m}^{-1} \text{ K}^{-1} \quad (\text{zie BINAS tabel 10A})$$
$$A = 12,0 \text{ m}^2$$
$$d = 4,0 \text{ mm} = 4,0 \cdot 10^{-3} \text{ m}$$
$$8,9 \cdot 10^2 = 0,93 \times 12,0 \cdot \frac{\Delta T}{4,0 \cdot 10^{-3}}$$

$$\Delta T = 0,318 \text{ K}$$
$$\Delta T_{\text{kelvin}} = \Delta T_{\text{Celsius}}$$

Dus  $\Delta T_{\text{Celsius}}$  is afgerond 0,32 °C.

- c De warmtestroom is een continu proces: alle warmte die door de ruit gaat, gaat in eenzelfde tijd ook door de luchtlagen.
- d De totale dikte bereken je met de formule voor warmtestroom. Het temperatuurverschil bereken je met het temperatuurverschil tussen de binnen- en buitenkant van het glas en het temperatuurverschil tussen de kamer en de buitenlucht. Het temperatuurverschil in K is gelijk aan het temperatuurverschil in °C.

$$\Delta T_{\text{Celsius}} = 13,0 - 0,32 = 12,68 \text{ °C}$$
$$\Delta T_{\text{kelvin}} = 12,68 \text{ K}$$
$$P = \lambda \cdot A \cdot \frac{\Delta T}{d}$$
$$P = 8,9 \cdot 10^2 \text{ W}$$
$$\lambda = 24 \cdot 10^{-3} \text{ W m}^{-1} \text{ K}^{-1} \quad (\text{zie BINAS tabel 12})$$
$$A = 12,0 \text{ m}^2$$
$$8,9 \cdot 10^2 = 24 \cdot 10^{-3} \times 12,0 \times \frac{12,68}{d}$$
$$d = 4,10 \cdot 10^{-3} \text{ m}$$

Afgrond: 4,1 mm.