

**Opgave 1.**

Een buitengevel is als volgt opgebouwd van binnen naar buiten:

- 200 mm dragende betonwand ( $\lambda = 1,9 \text{ W/mK}$ )
- 80 mm geëxtrudeerd polystyreenschuim ( $\rho = 30\text{-}40 \text{ kg/m}^3$ )
- 50 mm luchtsponw ( $R = 0,17 \text{ m}^2\cdot\text{K/W}$ )
- 8 mm glasvezelversterkte polyesterplaat

*Vraag:* Wat is de  $R_c$ -waarde van deze constructie?

- a.  $3,11 \text{ m}^2\cdot\text{K/W}$
- b.  $3,24 \text{ m}^2\cdot\text{K/W}$
- c.  $3,64 \text{ m}^2\cdot\text{K/W}$
- d.  $3,45 \text{ m}^2\cdot\text{K/W}$
- e.  $3,28 \text{ m}^2\cdot\text{K/W}$**

*Uitwerking:*

Zoek de warmtegeleidingscoëfficiënten van de verschillende materialen op in het tabellenboekje. De warmteweerstand van een laag is  $R = d/\lambda \text{ m}^2\cdot\text{K/W}$

$$R_{\text{beton}} = 0,200/1,9 = 0,105$$

$$R_{\text{isolatie}} = 0,080/0,027 = 2,96$$

$$R_{\text{sponw}} = 0,17 \text{ m}^2\cdot\text{K/W}$$

$$R_{\text{plaat}} = 0,008/0,2 = 0,04$$

$$R_c = 0,105 + 2,96 + 0,17 + 0,04 = 3,28 \text{ m}^2\cdot\text{K/W}$$

**Opgave 2.**

In de beginjaren van de thermische isolatie werd bij nieuwbouw als eis gesteld dat de warmteweerstand van gevels en daken tenminste  $1,3 \text{ m}^2\cdot\text{K/W}$  moest zijn.

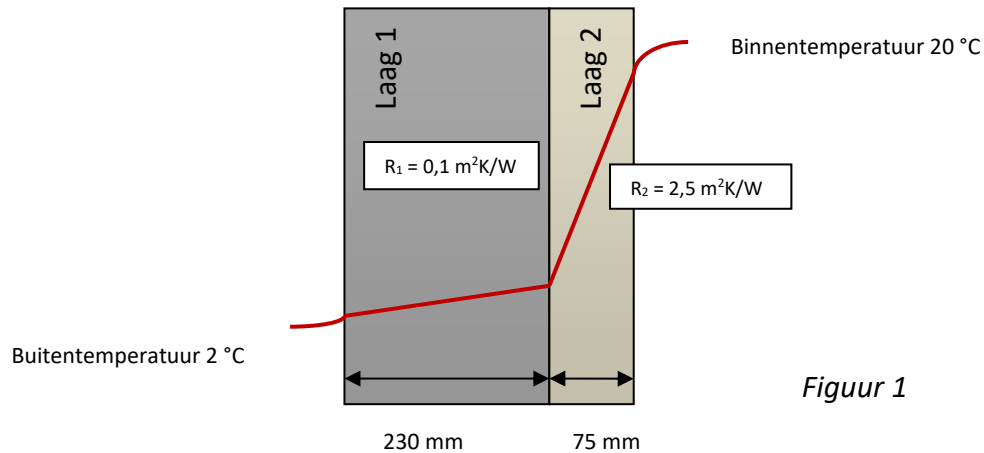
*Vraag:* Wat is de U-waarde bij een  $R_c$  van  $1,3 \text{ m}^2\cdot\text{K/W}$ ?

- a.  $0,77 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$
- b.  $0,68 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$**
- c.  $0,70 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$
- d.  $0,88 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$

*Uitwerking:*

$$U = 1/(R_c + 0,17) = 1/(1,3 + 0,17) = 0,68$$

### Opgave 3.



Figuur 1

In figuur 1 is voor een wandconstructie opgebouwd uit twee lagen een indicatie van het temperatuurverloop weergegeven. Laag 1 bestaat uit beton en heeft een warmteweerstand  $R_1 = 0,1 \text{ m}^2\text{K/W}$ , laag 2 bestaat uit isolatiemateriaal en heeft een warmteweerstand  $R_2 = 2,5 \text{ m}^2\text{K/W}$ . De overgangsweerstand buiten is  $0,04 \text{ m}^2\text{K/W}$ , de overgangsweerstand binnen is  $0,13 \text{ m}^2\text{K/W}$ .

Vraag: Wat is de temperatuur op het scheidingsvlak tussen de twee lagen?

- a.  **$2,9 \text{ }^\circ\text{C}$**
- b.  $3,5 \text{ }^\circ\text{C}$
- c.  $2,5 \text{ }^\circ\text{C}$
- d.  $2,7 \text{ }^\circ\text{C}$
- e.  $3,2 \text{ }^\circ\text{C}$

*Uitwerking:*

De warmteweerstanden van de twee lagen zijn

$R_{\text{beton}} = 0,1 \text{ m}^2\text{K/W}$  en  $R_{\text{isolatie}} = 2,5 \text{ m}^2\text{K/W}$

Daarnaast zijn er de overgangsweerstanden

$R_e = 0,04 \text{ m}^2\text{K/W}$  en  $R_i = 0,13 \text{ m}^2\text{K/W}$

De totale weerstand van de constructie wordt daarmee  $R_t = 2,77 \text{ m}^2\text{K/W}$

Het temperatuurverschil tussen binnen en buiten is  $\Delta T = 20 - 2 = 18 \text{ }^\circ\text{C}$

De warmteweerstand van binnen tot aan het scheidingsvlak is  $2,63 \text{ m}^2\text{K/W}$

De temperatuursprong van binnen tot aan het scheidingsvlak wordt dus

$\Delta T = (2,63/2,77) \cdot 18 = 17,1 \text{ }^\circ\text{C}$

Voor de temperatuur op het scheidingsvlak volgt dus  $20 - 17,1 = 2,9 \text{ }^\circ\text{C}$ .

Van buitenaf gerekend komt er uiteraard hetzelfde uit:

Warmteweerstand van buiten tot het scheidingsvlak =  $0,04 + 0,1 = 0,14$

Temperatuursprong vanaf buiten =  $0,14/2,77 \cdot 18 = 0,9$

Temperatuur op scheidingsvlak =  $2 + 0,9 = 2,9$

#### Opgave 4.

De gevel van een gebouw bestaat voor 60% uit een geïsoleerde muur ( $U = 0,4 \text{ W}/(\text{m}^2\cdot\text{K})$ ) en voor 40% uit ramen met dubbel-glas ( $U = 3,0 \text{ W}/(\text{m}^2\cdot\text{K})$ ).

Men wil het glas vervangen door HR<sup>++</sup>-glas met een U-waarde van  $1,4 \text{ W}/(\text{m}^2\cdot\text{K})$ .

*Vraag:* Met hoeveel procent wordt het gemiddelde warmteverlies door de gevel hierdoor verminderd?

- a. 41%
- b. 44%**
- c. 47%
- d. 50%
- e. 53%

*Uitwerking:*

Het gemiddelde warmteverlies is evenredig met de gemiddelde U-waarde.

Voor de vervanging van het glas is deze:  $U_{\text{gem}} = 0,6 \cdot 0,4 + 0,4 \cdot 3,0 = 1,44 \text{ W}/(\text{m}^2\cdot\text{K})$ .

Na de vervanging wordt het:  $U_{\text{gem}} = 0,6 \cdot 0,4 + 0,4 \cdot 1,4 = 0,80 \text{ W}/(\text{m}^2\cdot\text{K})$ .

De vermindering is dus  $\Delta U = 0,64 \text{ W}/(\text{m}^2\cdot\text{K})$  ofwel  $0,64 / 1,44 \cdot 100\% = 44\%$

#### Opgave 5.

Beschouw een ijsberg met een temperatuur van  $-50^\circ\text{C}$  en een emissiecoëfficiënt van 0,95 en een aluminiumplaat met een temperatuur van  $55^\circ\text{C}$  en een emissiecoëfficiënt van 0,10.

*Vraag:* Welke van de onderstaande beweringen is juist?

- a. de ijsberg straalt twee maal zo weinig warmte uit als de aluminiumplaat
- b. de ijsberg straalt evenveel warmte uit als de aluminiumplaat
- c. de ijsberg straalt twee maal zo veel warmte uit als de aluminiumplaat**

*Uitwerking:*

De afgegeven straling wordt berekend met de formule op blz 3 van het boek:

$$q_s = \varepsilon \cdot 56,7 \cdot 10^{-9} \cdot T^4$$

Voor het ijs geldt:  $\varepsilon = 0,95$  en  $T = 273 - 50 = 223 \text{ K} \rightarrow 133 \text{ W}/\text{m}^2\text{K}$

Voor aluminium geldt:  $\varepsilon = 0,10$  en  $T = 273 + 55 = 328 \text{ K} \rightarrow 66 \text{ W}/\text{m}^2\text{K}$

### Opgave 6.

Beschouw twee constructies:

Constructie 1:  $U = 0,32 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$ , oppervlakte  $100 \text{ m}^2$

Constructie 2:  $U = 0,21 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$ , oppervlakte  $100 \text{ m}^2$

Verdere uitgangspunten:

- lengte stookseizoen 200 dagen

- gemiddeld temperatuurverschil tussen binnen en buiten  $\Delta T = 10 \text{ }^\circ\text{C}$

- met  $1 \text{ m}^3$  aardgas kan door de verwarmingsinstallatie effectief 30 MJ warmteverlies worden gedekt.

*Vraag:* Wat is de gasbesparing als constructie 1 wordt vervangen door constructie 2?

- a.  $57 \text{ m}^3$
- b.  **$63 \text{ m}^3$**
- c.  $72 \text{ m}^3$
- d.  $126 \text{ m}^3$
- e.  $228 \text{ m}^3$

*Uitwerking:*

Het gemiddelde warmteverlies door een constructie volgt uit  $q = U \cdot \Delta T_{\text{gem}}$  [ $\text{W/m}^2$ ]

Warmteverlies over een oppervlakte van  $100 \text{ m}^2$  gedurende een periode van 200 dagen:

$$Q = U \cdot \Delta T_{\text{gem}} [\text{W/m}^2] \cdot 100 [\text{m}^2] \cdot 200 [\text{dag}] \cdot 24 [\text{uur/dag}] \cdot 3600 [\text{s/uur}] = [\text{Ws}] = [\text{J}]$$

Verschil in warmteverlies is evenredig met verschil in U-waarde:

$$\Delta Q = \Delta U \cdot \Delta T \cdot 100 \cdot 200 \cdot 24 \cdot 3600 =$$

$$0,11 \cdot 10 \cdot 100 \cdot 200 \cdot 24 \cdot 3600 = 1,9 \cdot 10^9 \text{ J} = 1900 \text{ MJ} = 1,9 \text{ GJ}$$

Dit komt overeen met  $Q [\text{MJ}] / 30 [\text{MJ/m}^3] = 1900 / 30 = 63 \text{ m}^3$  aardgas

### Opgave 7.

Een in pandige vergaderzaal wordt geventileerd met buitenlucht.  
De ventilatiehoeveelheid is  $600 \text{ m}^3/\text{h}$ .

In de vergaderzaal wordt in totaal  $1700 \text{ W}$  aan warmte afgegeven door de aanwezige personen, de apparatuur en de verlichting.

De vergaderzaal ligt geheel in pandig, de omringende ruimten zijn allemaal even warm als de vergaderzaal.

De buitentemperatuur is  $T_e = 13^\circ\text{C}$ .

Verder is gegeven:  $\rho_{\text{lucht}} = 1,2 \text{ kg/m}^3$ ;  $c_{\text{lucht}} = 1000 \text{ J/kg.K}$

Ga uit van een stationaire situatie.

*Vraag:* Welke uitspraak is bij de gegeven omstandigheden waar?

- Zonder verwarming blijft het veel te koud in de vergaderzaal ( $T_i < 16^\circ\text{C}$ )
- Zonder verwarming is het aan de koude kant ( $T_i = 18\text{-}20^\circ\text{C}$ )
- Zonder verwarming wordt het zelfs behaaglijk ( $T_i = 21\text{-}22^\circ\text{C}$ )**
- Het wordt warm in de vergaderzaal ( $T_i > 23^\circ\text{C}$ )

*Uitwerking:*

Voor de warmtebalans gaat het om de toegevoerde en de afgevoerde warmte.

$q_{\text{in}} = q_{\text{uit}} \gg q_{\text{personen}} + q_{\text{verlichting}} = \phi \cdot \rho \cdot c \cdot \Delta T / 3600$  dus  $\Delta T = q_{\text{in}} \cdot 3600 / \phi \cdot \rho \cdot c$  [ $^\circ\text{C}$ ]

De ventilatiehoeveelheid is gegeven in  $\text{m}^3/\text{h}$ . De warmte afvoer moet echter ook in Watt worden berekend (joule per seconde) vandaar de 3600 in de berekening.

$\Delta T = (1700) \cdot 3600 / (600 \cdot 1,2 \cdot 1000) = 8,5$  dus  $T_i = T_e + \Delta T = 13 + 8,5 = 21,5^\circ\text{C} \rightarrow$  antwoord c

### Opgave 8.

Gegeven een vergaderzaaltje, waarin 12 mensen een vergadering houden.

- afmetingen  $B = 5,40$   $D = 4,80$   $H = 3,00$  m
- vochtproductie per deelnemer  $g = 0,07$  kg/h
- ventilatiehoeveelheid  $n = 4$  [1/h]
- $T_e = 22$  °C  $T_i = 22$  °C
- $\phi_e = 50\%$

Uit deze gegevens kan worden afgeleid dat door de vochtproductie de waterdampconcentratie binnen  $2,7$  g/m<sup>3</sup> hoger is dan buiten.

Vraag: Wat wordt de relatieve vochtigheid  $\phi_i$  binnen (in %) ?

- a. 53%
- b. 51%
- c. 55%
- d. 64%**
- e. 88%

*Uitwerking:*

Omdat de buiten- en binnentemperatuur gelijk zijn kun je rechtstreeks met dampconcentraties werken.

Vochtproductie:  $P = 12 \cdot 0,07 = 0,84$  kg/h

Ventilatiehoeveelheid:  $n \cdot V = 12 \cdot 5,40 \cdot 4,80 \cdot 3,00 = 311$  m<sup>3</sup>/h

Toename vochtconcentratie

$\Delta c = P/n \cdot V = 12 \cdot 0,07$  [kg/h] /  $311$  [m<sup>3</sup>/h] =  $0,0027$  kg/m<sup>3</sup> ofwel  $2,7$  g/m<sup>3</sup>

Maximale waterdampconcentratie bij 22 °C:  $c_{\max} = 19,43$  g/m<sup>3</sup> (zie tabel 9 tabellenboekje)

Waterdampconcentratie buiten:  $c_e = 0,50 \cdot 19,43 = 9,715$  g/m<sup>3</sup>

$c_i = c_e + \Delta c = 9,715 + 2,7 = 12,415$  g/m<sup>3</sup> en  $\phi_i = 12,415 / 19,43 = 0,64$  (64%)

Als de buiten- en binnentemperatuur niet gelijk zijn moet je met de dampspanning rekenen. Bij verhogen van de temperatuur zet de lucht uit en wordt de dampconcentratie dus automatisch lager. Bij deze vraag maakt het niet uit, maar dan gaat de uitwerking als volgt (zie boek Bouwfysica bladzijde 28).

Toename dampspanning  $\Delta p = \Delta c \cdot R \cdot T = 0,0027 \cdot 462 \cdot (22 + 273) = 368$  Pa

Maximale dampspanning buiten bij 22 C:  $p_{\max} = 2645$  Pa (tabellenboekje tabel 9)

Dampspanning buiten :  $p_e = \phi_e \cdot p_{\max} = 50\% \cdot 2645 = 1322$  Pa

Dampspanning binnen :  $p_i = p_e + \Delta p = 1322 + 368 = 1690$  Pa

RV binnen :  $\phi_i = p_i / p_{\max} = 1690/2645 = 0,64$  (64%)

### Opgave 9.

Gegeven: In de winter is de relatieve luchtvochtigheid in een gebouw tussen 25% en 50% bij een constante binnentemperatuur van 22°C.

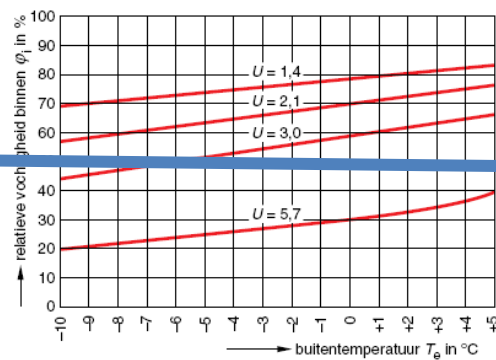
Vraag: Op welke van de onderstaande glasconstructies kan op enig moment gedurende de winter condensatie op het binnenoppervlak van het glas ontstaan?

- a. alleen op enkelglas
- b. alleen op enkelglas en gewoon dubbelglas ( $U = 3 \text{ W/m}^2\text{K}$ )**
- c. op alle glassoorten met een U-waarde groter dan  $1,6 \text{ W/m}^2\text{K}$
- d. op alle glassoorten met een U-waarde groter dan  $1,2 \text{ W/m}^2\text{K}$

*Uitwerking:*

Antwoord b

Binnentemperatuur 22 °C  
 $U = 5,7 \text{ W/m}^2\text{K}$ : enkelglas  
 $U = 3,0 \text{ W/m}^2\text{K}$ : dubbelglas  
 $U = 2,1 \text{ W/m}^2\text{K}$ : drievoudig glas  
 $U = 1,4 \text{ W/m}^2\text{K}$ : dubbelglas met emissieverlagende coating enz.



Geen kans op condensatie

Wel kans op condensatie

Figuur 2.13 bladzijde 32

### Opgave 10.

Gegeven een 300 mm dikke cellenbeton buitenwand ( $\lambda = 0,25 \text{ W/m.K}$  en  $\mu = 5$ ).

De wand is aan de buitenzijde afgewerkt met een dampdichte laag tegels.

Binnen is het  $20^\circ\text{C}$  en buiten is het  $5^\circ\text{C}$ .

Aan de binnenzijde van de tegellaag wordt de temperatuur onder deze omstandigheden  $5,4^\circ\text{C}$ .

De dampspanning binnen is 1404 Pa.

*Vraag:* Hoeveel vocht condenseert er aan de binnenzijde tegen de tegellaag gedurende één maand (30 dagen) met deze omstandigheden?

- a.  $0,458 \text{ kg/m}^2$
- b.  $0,046 \text{ kg/m}^2$
- c.  $0,293 \text{ kg/m}^2$
- d.  $0,165 \text{ kg/m}^2$**

*Uitwerking:*

De dampspanning binnen is  $p_i = 1404 \text{ Pa}$

Op de plaats van de condensatie heerst de maximale dampspanning. Deze is bij  $5,4^\circ\text{C}$  te vinden in de tabel in het tabellenboekje en is  $p_{\text{condens}} = 898 \text{ Pa}$ .

De gevraagde hoeveelheid condens wordt dan  $G = 30.24.3600.\Delta p / (5,3.10^9.\mu.d) = 30.24.3600.(1404-898) / (5,3.10^9.5.0,3) = 0,165 \text{ kg/m}^2$ . → antwoord d

### Opgave 11.

*Vraag:* Welke stelling over inwendige condensatie is juist:

- a. In een gematigd of koud klimaat moet een dampremmende laag altijd aan de koude zijde van de isolatie worden aangebracht
- b. Een dampremmende laag is altijd noodzakelijk om inwendige condensatie te voorkomen
- c. Bij een platdakconstructie (bitumineuze dakafwerking) is gedurende een koude periode een zekere mate van inwendige condensatie praktisch onvermijdelijk.**
- d. Als een bestaande ongeïsoleerde bakstenen muur aan de binnenzijde wordt geïsoleerd kan er geen inwendige condensatie optreden.

*Uitwerking:*

Juiste antwoord is antwoord c. Toelichting zie figuur 2.25 en 2.26 van het boek Bouwfysica. Afhankelijk van de laagvolgorde met de daarbij behorende warmteweerstanden kunnen prima constructies worden ontworpen waarin geen inwendige condensatie plaats vindt (b). Zie de pincipe voorbeelden 2.25-1 en 2.26-3. Als het buiten kouder is dan binnen ( $q_a$ ) is de juiste plaats voor een dampremmende laag (als die tenminste nodig is) aan de warme zijde, de binnenkant (2.25-3 en 2.26-2). Als de buitenste laag meer dampremmend is dan de rest van de constructie (c) zal er 's winters altijd enige condensatie plaatsvinden, zie 2.25-2.

Bij aan de binnenzijde aanbrengen van isolatiemateriaal (d) daalt de temperatuur van de oorspronkelijke muur en zal er in veel gevallen condensatie optreden, zie 2.26-1.



### Opgave 12.

In een vertrek heerst een (stationaire) evenwichtssituatie.

Nu verlaten we de stationaire situatie en gaan kijken wat er gebeurt als de zon gaat schijnen, waardoor er vanaf een bepaald tijdstip 1500 W extra aan warmte het vertrek binnenkomt. Ga ervan uit dat deze extra warmte volledig wordt opgeslagen in de eerste 15 mm van de betonnen vloerconstructie.

Verdere gegevens:

- de vloer heeft een oppervlakte van 40 m<sup>2</sup> en bestaat uit kale beton ( $\rho = 2500 \text{ kg/m}^3$ )

*Vraag:* Hoeveel is de temperatuur van de bovenste 15 mm van de vloerconstructie bij benadering gestegen na 1 uur?

N.B. In werkelijkheid wordt de warmte afvoer bij stijgende temperatuur groter en wordt daardoor de temperatuurstijging beperkt. Daarmee houden we nu echter even geen rekening.

- a. Circa 0,5 °C
- b. Circa 1°C
- c. Circa 2°C
- d. Circa 4°C**

*Uitwerking):*

Eerst berekenen we de massa die wordt opgewarmd

$$M_{\text{beton}} = 0,015 \cdot 40 \cdot 2500 = 1500 \text{ kg}; \cdot$$

Q is de toegevoerde warmte in het eerste uur  $Q = 1500 \cdot 3600 \text{ J}$ ;  $c = 840 \text{ J/kg.K}$

De opwarming volgt uit  $Q = M \cdot c \cdot \Delta T$

$$\Delta T = Q/M \cdot c = 1500 \cdot 3600 / (1500 \cdot 840) = 4,3^\circ\text{C}. \rightarrow \text{antwoord d}$$

### Opgave 13.

Door uitzetting 's zomers en krimp 's winters zal een metselwerkmuur door het jaar heen van lengte veranderen. Als er te weinig dilatatievoegen worden aangebracht kan schade ontstaan. Als de muur door de zon wordt beschenen kan de temperatuur 's zomers oplopen tot 35 °C.

*Vraag:* Wat is het lengte-verschil tussen zomer en winter van een stuk metselwerk met een lengte van 30 m?



- a. 1 - 2 mm
- b. 2 - 4 mm
- c. 4 - 6 mm
- d. 6 - 8 mm**

*Uitwerking:*

De temperatuur in de winter is niet gegeven, maar bekend wordt geacht dat het redelijk is rekening te houden met ca. -15 °C. Dat betekent voor de beschouwde muur een totaal temperatuurverschil tussen zomer en winter van  $\Delta T = 50$  °C.

De lineaire uitzettingscoëfficiënt van baksteen is  $\alpha = 5 \cdot 10^{-6}$  m/(m.K), zie figuur 1.28 boek Bouwfysica. Het gevraagde lengteverschil tussen zomer en winter volgt hiermee uit:

$$\Delta L = \alpha \cdot l \cdot \Delta T = 5 \cdot 10^{-6} \cdot 30 \cdot 50 = 0,0075 \text{ m ofwel } 7,5 \text{ mm.} \rightarrow \text{ antwoord d}$$

### Vraag 14.

Gegeven een tentamenzaal voor 200 personen.

Het gebalanceerde mechanische ventilatiesysteem heeft een capaciteit van 3000 m<sup>3</sup>/h en er is geen warmteterugwinning.

Omdat er klachten waren over de luchtkwaliteit wordt een nieuw ventilatiesysteem aangebracht met een capaciteit van 50 m<sup>3</sup>/h per persoon. Tegelijk wordt een warmteterugwinning aangebracht met een terugwinrendement van 70%.

Hoe verandert door deze aanpassing het benodigde verwarmingsvermogen?

- a. Het benodigde verwarmingsvermogen neemt toe
- b. Het benodigde verwarmingsvermogen blijft gelijk**
- c. Het benodigde verwarmingsvermogen neemt af

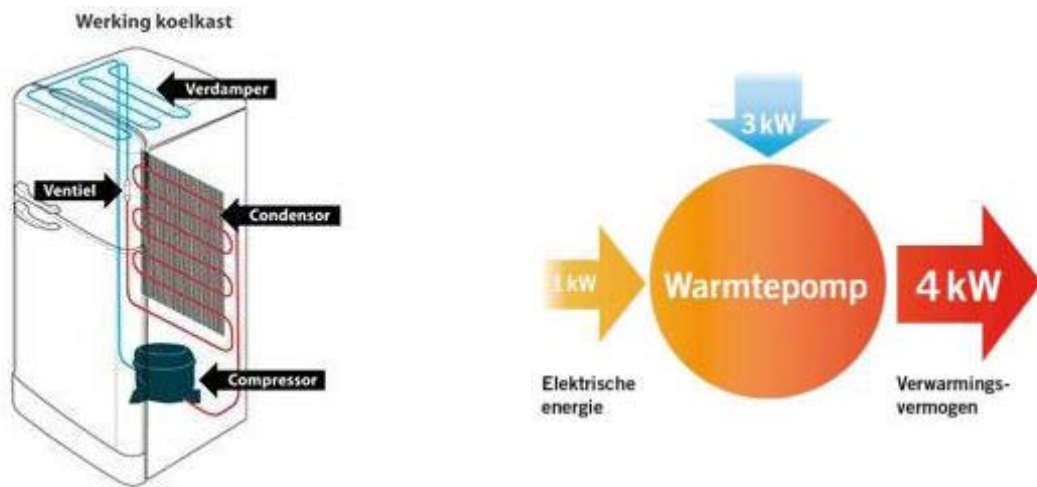
*Uitwerking:*

In de oorspronkelijke situatie is er  $3000/200 = 15$  m<sup>3</sup>/h per persoon verse lucht.

Dat is inderdaad te weinig. De 50 m<sup>3</sup>/h per persoon is ruim drie keer zoveel.

Door de warmterugwinning is er echter gelukkig niet drie keer zoveel energie nodig voor het opwarmen van de ventilatielucht, maar  $0,3 \cdot 50 / 15 = 1$  precies evenveel dus.

**Vraag 15.**



In een warme ruimte staat een gewone koelkast (zie afbeelding boven). Om enige verkoeling teweeg te brengen besluit iemand de koelkast open te zetten, waardoor de koelkast harder gaat werken. Wat gebeurt er?

- De ruimtetemperatuur neemt af.
- De ruimte temperatuur blijft hetzelfde.
- De temperatuur neemt toe.**

Toelichting:

De warmtepomp verplaatst warmte van de koelruimte (de binnruimte van de koelkast dus) naar de condensor aan de achterkant. Dat geeft per saldo dus geen verwarming.

Maar de elektrische energie van de compressor komt daar ook nog eens bij, dus wordt er beslist extra warmte afgegeven aan de ruimte, vooral omdat het maar nooit kouder wil worden in de koelkast omdat de deur open staat en daardoor de compressor maar blijft draaien.