

## A2.1 Oefenvraagstukken Warmte & Vocht: Warmtetransport Algemeen (20250101)

### Vraag 1

Vergelijk een ijsberg met een oppervlaktetemperatuur van  $-50\text{ °C}$  (ijsoppervlak emissiecoëfficiënt  $\varepsilon = 0,95$ ) met een glanzende aluminiumplaat van  $55\text{ °C}$  (emissiecoëfficiënt oppervlak  $\varepsilon = 0,1$ ).

Welke van de onderstaande opmerkingen is waar?

- a. De ijsberg geeft tweemaal zo weinig warmte door straling af als de aluminiumplaat.
- b. De ijsberg geeft evenveel warmte door straling af als de aluminiumplaat.
- c. De ijsberg geeft tweemaal zo veel warmte door straling af als de aluminiumplaat.

### Uitwerking

De afgegeven straling wordt berekend met de formule uit het boek Bouwfysica (blz. 4, 8<sup>e</sup> druk):

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

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

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

### Vraag 2

Op het dak van de woning moet in een later stadium een derde bouwlaag kunnen worden aangebracht. De architect wil daarom in verblijfsruimte 4 een transparant daklicht aanbrengen met een oppervlak van  $2,60\text{ m}^2$ . Bij de bouw van een derde laag is het trapgat dan immers al aanwezig!

Het aanbrengen van een transparant daklicht in het dakvlak is, in vergelijking met een identieke woning zonder transparant daklicht, in energetisch opzicht:

- a. Gunstig
- b. Ongunstig
- c. Maakt niet uit

### Uitwerking

De U-waarde neemt af van  $4,50$  naar  $1,60\text{ W/m}^2\text{K}$ .

Dit veroorzaakt extra transmissieverlies:  $1 \times (4,50-1,60) \times 13 \times 5000/1000 = 189\text{ kWh}$  per  $1\text{ m}^2$ .

Daar tegenover staat een warmtewinst:  $1,0 \times 75 \times 0,6 \times 5000/1000 = 225\text{ kWh}$  per  $\text{m}^2$ .

Winst is groter dan extra verlies, dus het is gunstig.

### **Vraag 3**

Naast transmissieverlies via de bouwdelen is er bij een woning sprake van lineair warmteverlies via de verbindingen van de bouwdelen.

**Bij zéér energie-efficiënt bouwen verdient, in vergelijking met de huidige bestaande bouw, het lineaire warmteverlies:**

- a. Extra aandacht, omdat dan de invloed op het totale transmissieverlies relatief groot is.
- b. Dezelfde aandacht, omdat het aantal strekkende meters verbinding gelijk is.
- c. Minder aandacht, omdat koudebruggen sowieso voorkomen worden.

#### *Uitwerking:*

Zie isolatieniveau bij lineaire koudebruggen (blz. 20 Bouwfysicaboek (8<sup>e</sup> druk)).

### **Vraag 4**

**Lineaire warmteverliezen in woningen treden op bij:**

- a. Brievenbussen in de voordeur
- b. Ventilatioosters
- c. Spouwankers
- d. **Verbindingen van bouwdelen**

#### *Uitwerking:*

Lineair warmteverlies ontstaat door een lineaire koudebrug is de aansluiting van twee of meer constructie-elementen, bijvoorbeeld een aansluiting van het dak en de begane grondvloer op de gevel of een randaansluiting rond een kozijn.

### **Vraag 5**

**Warmteverliezen in woningen d.m.v. zgn. “koudebruggen” treden op bij:**

- a. Grote temperatuurverschillen in de woning.
- b. Een stroom van koude ventilatielucht.
- c. **Spouwankers**
- d. Zorgvuldig gedetailleerde details

Uitwerking:

Een koudebrug is een zwakke schakel in de isolatie van een gebouw. Dus bij spouwankers!

**Vraag 6**

De bewoners willen aan de achterzijde van hun woning een serre plaatsen.

**Deze serre:**

- a. Beperkt het transmissieverlies van de woonkamer
- b. Vergroot de zonfactor in de woonkamer
- c. Vergroot de interne warmteproductie in de woonkamer
- d. Beperkt de kans op oververhitting in de zomer

Uitwerking:

Door de extra isolatiewaarde van de serre en invloed van de opwarming door de zon van de serre wordt het transmissieverlies in de woonkamer minder.

**Vraag 7**

Gegeven een oven voor het bakken van keramische producten. De wand van de oven is matig geïsoleerd maar aan de buitenzijde afgewerkt met aluminiumplaat ( $\varepsilon = 0,1$ ). In de deur van de oven zit een zeer goed isolerende ruit. Glas heeft net als de meeste bouwmaterialen een emissiecoëfficiënt van  $\varepsilon = 0,95$ .

De temperatuur van het aluminium oppervlak is  $T_{\text{alu}} = 70 \text{ }^\circ\text{C}$ , die van het glas  $T_{\text{glas}} = 35 \text{ }^\circ\text{C}$ .

**Welke van de onderstaande beweringen is waar?**

- a. De aluminiumplaat geeft ruim 5 maal zo weinig warmtestraling af als de glasruit
- b. De aluminiumplaat geeft ca. 2 maal zo weinig warmtestraling af als de glasruit
- c. De aluminiumplaat geeft ongeveer evenveel warmtestraling af als de glasruit
- d. De aluminiumplaat geeft ca. 2 maal zo veel warmtestraling af als de glasruit
- e. De aluminiumplaat geeft ruim 5 maal zo veel warmtestraling af als de glasruit

Uitwerking

Met de formule:  $q_s = \varepsilon \cdot 56,7 \cdot 10^{-9} \cdot T^4 \text{ [W/m}^2\text{]}$  wordt gevonden:

$$q_{\text{alu}} = 0,1 \cdot 56,7 \cdot 10^{-9} \cdot (273+70)^4 = 78 \text{ W/m}^2; \quad q_{\text{glas}} = 0,95 \cdot 56,7 \cdot 10^{-9} \cdot (273+35)^4 = 485 \text{ W/m}^2.$$

Bewering a is dus juist.

### Vraag 8

Gegeven een dubbelglasconstructie opgebouwd uit een buitenruit van 6 mm, een binnenruit van 4 mm met daartussen een met lucht gevulde spouw van 20 mm. Op de spouwzijde van de binnenruit is een warmte reflecterende coating aangebracht ( $\varepsilon = 0,05$ ).

**Welke van de onderstaande beweringen is onjuist?**

- Als de spouwbreedte kleiner wordt blijft de warmteoverdracht door straling gelijk.
- Als deze ruit in een horizontaal dakraam wordt toegepast is de warmteoverdrachtscoëfficiënt in de spouw groter dan bij verticale toepassing.
- In de spouw is de warmteoverdracht door geleiding groter dan het warmtetransport door convectie.
- Als de spouw wordt gevuld met Helium-gas ( $\lambda = 0,1513 \text{ W/m.K}$ ) neemt de warmteoverdrachtscoëfficiënt af.
- Als de binnenruit 6 mm i.p.v. 4 mm dik wordt, heeft dit een verwaarloosbaar kleine invloed op de U-waarde.

### Uitwerking

Zie figuur 1.14 Bouwfysica boek (8<sup>e</sup> druk).

Stralingsoverdracht is onafhankelijk van spouwbreedte. In dit geval vanwege de coating circa  $0,3 \text{ W.m}^2\text{K}$  (de warmteoverdracht d.m.v. straling is onafhankelijk van de afstand). → Bewering a is juist.

In een horizontale spouw met de warmtestroom naar boven gericht is de convectieve warmteoverdracht groter dan bij een verticale spouw, zie figuur 1.12. → Bewering b is juist.

De warmteoverdracht door geleiding in de spouw is circa  $1,25 \text{ W/m}^2\text{K}$ , de convectieve overdracht is kleiner dan  $0,2 \text{ W/m}^2\text{K}$ . → Bewerking c is juist.

Voor lucht geldt  $\lambda = 0,025 \text{ W/m.K}$ , dus Helium isoleert een stuk slechter dan lucht. → Bewering d is onjuist, dit is dus het goede antwoord.

De overdrachtscoëfficiënt in de spouw is circa  $0,3 + 1,25 + 0,2 = 1,75 \text{ W/m}^2\text{K}$ .

De warmteweerstand in de spouw is circa  $0,57 \text{ m}^2\text{K/W}$ .

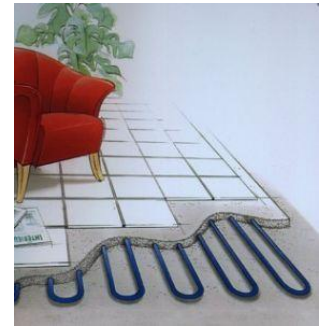
2 mm extra glasdikte heeft een weerstand van  $0,002/0,8 = 0,0025 \text{ m}^2\text{K/W}$ . Dit is verwaarloosbaar ten opzichte van de spouwweerstand in combinatie met de overgangsweerstand  $0,17$ . → Bewering e is juist.

### Vraag 9

In een woonkamer is een vloerverwarmingssysteem aanwezig. De leidingen van het vloerverwarmingssysteem liggen in een 5 cm dikke dekvloer van cement met daar bovenop plavuizen met een dikte van 1 cm, zie figuur. Onder de deklaag is een isolatielaag aanwezig.

Het vloerverwarmingssysteem heeft een vermogen van  $100 \text{ W/m}^2$ .

Na een periode van afwezigheid is de woning afgekoeld en wordt de verwarming aangezet.



### Hoelang duurt het met dit vermogen om de vloer 5 graden op te warmen?

Neem aan dat het gehele verwarmingsvermogen in de dekvloer en de plavuizen wordt opgenomen en dat er geen warmteverlies is via de isolatielaag. Het warmteverlies van het vloeroppervlak naar de ruimte mag in de opwarmfase ook worden verwaarloosd.

- a. Ongeveer een half uur
- b. Ongeveer een kwartier
- c. Ongeveer anderhalf uur
- d. Ongeveer twee uur
- e. Ongeveer vier uur

#### Uitwerking:

Per  $\text{m}^2$ :  $d = 0,01 + 0,05 = 0,06 \text{ m}$

$$\rho = 2000 \text{ kg/m}^3 \text{K} \rightarrow 2000 * 0,06 = 120 \text{ kg.}$$

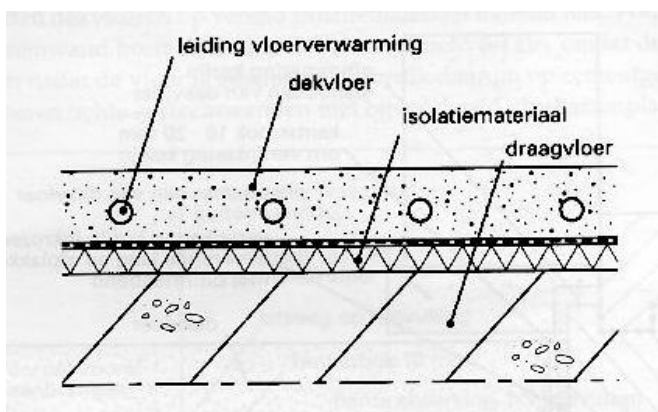
$$c = 840 \text{ J/kg.K} \rightarrow c * \text{kg} = 840 * 120 = 100800 \text{ J/K. } \Delta T = 5 \text{ K} \rightarrow 5 \text{ graden opwarmen: } 5 * 100800 = 504000 \text{ J.}$$

$$1 \text{ W} = 1 \text{ J/s.} \rightarrow 1 \text{ J} = 1 \text{ W.s. Vermogen is } 100 \text{ W/m}^2 = 100 \text{ J/s} \rightarrow 504000 \text{ sec}/100 =$$

$$5040 \text{ sec} = 84 \text{ minuten} = \sim 1,5 \text{ uur}$$

### Vraag 10

In figuur 2 is de opbouw van een vloer met een vloerverwarmingssysteem gegeven.



Figuur 2

Gegeven:

Als de vloerverwarming aan staat heeft de dekvloer een gemiddelde temperatuur van 25 °C.

De dekvloer heeft een dikte van 60 mm en een dichtheid van 1900 kg/m<sup>3</sup>.

De dekvloer is zo goed geleidend dat de temperatuur in de dekvloer overal hetzelfde is.

De temperatuur in de ruimte is 19,5 °C.

Het warmteverlies naar onder wordt verwaarloosd.

De overgangsweerstand aan het vloeroppervlak is 0,1 m<sup>2</sup>K/W.

**Stel nu dat de verwarming wordt uitgezet. Hoelang duurt het dan ongeveer totdat de dekvloer 1 °C is afgekoeld?**

(Hint: gedurende deze periode is het temperatuurverschil tussen de vloer en de ruimte gemiddeld 5 °C)

- a. Ongeveer 5 minuten
- b. Ongeveer een half uur**
- c. Ongeveer een uur
- d. Ruim twee uur
- e. Een halve dag

*Uitwerking:*

100800 J per °C/m<sup>2</sup> → 100800/100 = 1008 sec → 1008/60 = ~16,8 minuten is ongeveer een kwartier.

### **Vraag 11**

Op een zeer goed geïsoleerd dak ligt een laag water van 5 mm. Het water heeft een temperatuur van 0 °C, maar is nog niet bevroren. De buitentemperatuur is 0 °C. Het is een heldere nacht en de netto warmte-uitstraling naar de hemel is 100 W/m<sup>2</sup>.

Gegeven: de smeltwarmte van ijs is 334 kJ/kg. Neem aan dat water en ijs zeer goed warmtegeleidend zijn.

**Hoelang duurt het voordat de waterlaag op het dak bevroren is?**

- a. Circa 10 uur
- b. Circa 3 uur
- c. Meer dan 12 uur
- d. Circa 5 uur**
- e. Circa 7 uur

*Uitwerking*

Een laag water van 5 mm betekent 5 kg water per m<sup>2</sup>. Om die hoeveelheid te laten bevriezen is aan warmteafvoer nodig: 5 \* 334 = 1670 kJ.

Er wordt per seconde afgevoerd 100 J. Dat betekent dat er  $1.670.000/100 = 16.700$  s  
Ofwel  $16.700/3.600 = 4,64$  uur. Het goede antwoord is dus d.

### **Vraag 12**

Een plat dak is op een zomerdag sterk opgewarmd en als de zon net onder is heeft het dak nog een oppervlaktetemperatuur van  $60\text{ }^{\circ}\text{C}$ .

De stralingstemperatuur van de hemel is op dat moment  $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$ .

Beschouw het dak en de hemel als twee evenwijdige oneindig uitgestrekte vlakken.

Neem aan dat het dak een emissiecoëfficiënt heeft van 0,9 heeft en de hemel een emissiecoëfficiënt van 1.

**Hoe groot is onder de gegeven omstandigheden de netto warmteoverdracht door straling van het dak naar de hemel?**

NB. De versimpelde formule voor stralingsoverdracht is in dit geval onvoldoende nauwkeurig.

- a.  $43\text{ W/m}^2$
- b.  $110\text{ W/m}^2$
- c.  $356\text{ W/m}^2$
- d.  $383\text{ W/m}^2$**
- e.  $425\text{ W/m}^2$

### **Uitwerking**

Gebruik de formule voor stralingsuitwisseling tussen twee vlakken:

$$q_s = \frac{\varepsilon_1 \cdot \varepsilon_2}{\varepsilon_1 - \varepsilon_1 \cdot \varepsilon_2 + \varepsilon_2} \cdot 56,7 \cdot 10^{-9} \cdot (T_1^4 - T_2^4)$$

Waarbij

$$\varepsilon_1 = 0,9; T_1 = 60 + 273 = 333\text{ K}; \varepsilon_2 = 1; T_2 = -10 + 273 = 263\text{ K}$$

$$(0,9 \cdot 1) / ((0,9 - (0,9 \cdot 1) + 1)) \cdot 56,7 \cdot 10^{-9} \cdot (333^4 - 263^4) = 383,3\text{ W/m}^2$$

### **Vraag 13**

Deze vraag gaat over een glazen borstweringspaneel zoals op de foto.

Het paneel bestaat uit een donkere niet transparante glasplaat met daar achter een isolatiepakket. Als er zon op het paneel valt kan de oppervlaktetemperatuur van het paneel bij windstil weer in de zomer stijgen tot  $65\text{ }^{\circ}\text{C}$ .



Borstweringspanelen

Er valt  $750 \text{ W/m}^2$  zon op deze gevel.

Hiervan wordt 15% direct gereflecteerd, de rest wordt geabsorbeerd in het glas van de borstwering en vervolgens door straling en convectie weer aan de buitenlucht afgegeven. Neem aan dat de warmte die naar binnen wordt afgegeven verwaarloosbaar is.

De buitenluchttemperatuur is  $10 \text{ }^\circ\text{C}$

**Wat wordt de temperatuur van het glas als wordt gerekend met de standaard warmteovergangsweerstand aan het buitenoppervlak?**

Hint: de hoeveelheid warmte die van het buitenoppervlak naar de buitenlucht stroomt moet gelijk zijn aan de hoeveelheid geabsorbeerde zonnewarmte.

- a.  $25 \text{ }^\circ\text{C}$
- b.  $30 \text{ }^\circ\text{C}$
- c.  $35 \text{ }^\circ\text{C}$
- d.  $40 \text{ }^\circ\text{C}$
- e.  $45 \text{ }^\circ\text{C}$

#### *Uitwerking*

De hoeveelheid geabsorbeerde zonnewarmte is  $85\% * 750 = 638 \text{ W/m}^2$ .

De warmteoverdracht tussen het buitenoppervlak en de buitenlucht wordt berekend met:  $q = \Delta T/R = \alpha \cdot \Delta T$

Waarbij:

$\Delta T$  = het temperatuurverschil tussen de buitenlucht en het buitenoppervlak

$R$  = de standaard overgangsweerstand buiten =  $0,04$

$\alpha$  = de standaard overgangscoefficiënt buiten =  $1/0,04 = 25$

De warmtestroom naar de buitenlucht moet gelijk zijn aan de geabsorbeerde zonnewarmte:  $q = 25 * \Delta T = 638 \rightarrow \Delta T = 25,5 \text{ K}$

Dit is de temperatuurverhoging ten opzichte van de buitenlucht, dus om de oppervlaktetemperatuur te krijgen moet de buitentemperatuur er nog bij opgeteld worden. Antwoord  $T = 10 + 25,5 = \text{ca. } 35 \text{ }^\circ\text{C}$ .



### Vraag 14

Beschouw een grote lege hal met een plat dak.

Vergelijk twee situaties I en II:

- I. Een lichte dakconstructie van blank aluminium golfplaat met aan de onderzijde (binnen) een emissiecoëfficiënt  $\varepsilon = 0,1$ .  
De oppervlaktetemperatuur aan de onderzijde van het dak is  $46\text{ }^\circ\text{C}$ .
- II. Een zware dakconstructie met aan de onderzijde (binnen) een betonplaat met een emissiecoëfficiënt  $\varepsilon = 0,95$ .  
De oppervlaktetemperatuur aan de onderzijde van het dak is  $30\text{ }^\circ\text{C}$ .

De vloer van de hal heeft een emissiecoëfficiënt  $\varepsilon = 1$  en een temperatuur van  $25\text{ }^\circ\text{C}$ .

Voor de berekening van de warmte-uitwisseling door straling wordt verondersteld dat het dak en de vloer evenwijdige, oneindig uitgestrekte vlakken zijn.

**Welke van de onderstaande beweringen over de netto stralingsoverdracht tussen vloer en dak is waar?**

- a. In situatie II is de warmteoverdracht ca. 3x zo groot als in situatie I
- b. In situatie II is de warmteoverdracht ca. 2x zo groot als in situatie I**
- c. In situatie I en II is de warmteoverdracht ongeveer gelijk
- d. In situatie II is de warmteoverdracht ca. 2x kleiner dan in situatie I
- e. In situatie II is de warmteoverdracht ca. 3x kleiner dan in situatie I

#### Uitwerking

Gebruik de formule:

$$q_s = \frac{\varepsilon_1 \cdot \varepsilon_2}{\varepsilon_1 - \varepsilon_1 \cdot \varepsilon_2 + \varepsilon_2} \cdot 56,7 \cdot 10^{-9} \cdot (T_1^4 - T_2^4)$$

Situatie I:

$$q_s = ((0,1 \cdot 1) / 0,1 - 0,1 \cdot 1 + 1) \cdot 5,67 \cdot 10^{-9} \cdot ((46+273)^4 - (25+273)^4) = 1,40 \text{ W/m}^2$$

Situatie II:

$$q_s = ((0,95 \cdot 1) / 0,95 - 0,95 \cdot 1 + 1) \cdot 5,67 \cdot 10^{-9} \cdot ((30+273)^4 - (25+273)^4) = 2,92 \text{ W/m}^2$$

Antwoord b is dus juist.

### Vraag 15

Gegeven een luchtsponw met een dikte van 70 mm.

Gegeven:

- De warmtegeleidingscoëfficiënt van lucht is  $0,025 \text{ W/mK}$
- De warmteoverdrachtscoëfficiënt door straling is  $5 \text{ W/m}^2\text{K}$ .
- De berekende warmteweerstand  $R_{sp}$  van deze sponw is  $0,15 \text{ m}^2\text{K/W}$ .

Hoe groot is de hierbij aangehouden convectieve warmteoverdrachtscoëfficiënt  $\alpha_c$ ?

- a. 0,5 W/m<sup>2</sup>K
- b. 0,7 W/m<sup>2</sup>K
- c. 1,0 W/m<sup>2</sup>K
- d. 1,1 W/m<sup>2</sup>K
- e. 1,3 W/m<sup>2</sup>K

Uitwerking:

$$\alpha_s = 5 \text{ W/m}^2\text{K}$$

$$R_g = 0,07/0,025 = 2,8 \text{ m}^2\text{K/W} \rightarrow \alpha_g = 1/2,8 \text{ W/m}^2\text{K} = 0,35 \text{ W/m}^2\text{K}$$

$$R_{\text{spouw}} = 1/(\alpha_g + \alpha_s + \alpha_c) = 0,15 \text{ m}^2\text{K/W} \rightarrow 0,35 + 5 + \alpha_c = 6,66 \text{ W/m}^2\text{K} \rightarrow$$

$$\alpha_c = 6,66 - 0,35 - 5 = 1,3 \text{ W/m}^2\text{K}$$

### Vraag 16

Beschouw een luchtspouw met een dikte van 25 mm.

Gegeven:

- De warmtegeleidingscoëfficiënt van lucht is 0,025 W/mK
- De convectieve warmteoverdrachtscoëfficiënt  $\alpha_c$  is 0,5 W/m<sup>2</sup>K.
- De berekende warmteweerstand  $R_{sp}$  van deze spouw is 0,2 m<sup>2</sup>K/W.

Hoe groot is de hierbij aangehouden warmteoverdrachtscoëfficiënt door straling  $\alpha_s$ ?

- a. 0,2 W/m<sup>2</sup>K
- b. 0,5 W/m<sup>2</sup>K
- c. 1,3 W/m<sup>2</sup>K
- d. 3,5 W/m<sup>2</sup>K
- e. 5,0 W/m<sup>2</sup>K

Uitwerking:

$$R_{sp} = 1/(\alpha_c + \alpha_s + \alpha_g) = 0,2 \rightarrow \alpha_c + \alpha_s + \alpha_g = 5 \rightarrow 0,5 + \alpha_s + 1 = 5 \rightarrow \alpha_s = 3,5 \text{ W/m}^2\text{K}$$

### Vraag 17

Gegeven een luchtspouw met een breedte van 100 mm tussen twee staalplaten met een reflecterende verfcoating. De temperatuur van de ene plaat is 10 °C en van de andere 20 °C.

Beide platen hebben een emissiecoëfficiënt van 0,2.

Hoe groot is de warmteoverdracht door straling in W/m<sup>2</sup> tussen beide platen?

- a. 2,0 W/m<sup>2</sup>
- b. 6,0 W/m<sup>2</sup>**
- c. 10,8 W/m<sup>2</sup>
- d. 54,2 W/m<sup>2</sup>
- e. 9,5 W/m<sup>2</sup>

Uitwerking:

$$\epsilon_s = 0,2; T_1 = 20+273 = 293 \text{ K}; T_2 = 10+273 = 283 \text{ K}.$$

$$q_s = ((0,2 \cdot 0,2 / 0,2 - (0,2 \cdot 0,2) + 0,2)) \cdot 56,7 \cdot 10^{-9} \cdot (293^4 - 283^4) \rightarrow$$

$$q_s = (0,04 / 0,36) \cdot 56,7 \cdot 10^{-9} \cdot (9,56 \cdot 10^8) = 0,11 \cdot 56,7 \cdot 10^{-9} \cdot 95,6 \cdot 10^9 = 6,2 \cdot 95,6 = \sim 6 \text{ W/m}^2.$$

### Vraag 18

Gegeven een dubbelglasconstructie bestaande uit twee glasplaten met daartussen een met lucht gevulde spouw van 20 mm dikte. De temperatuur van de ene glasplaat is 10 °C en van de andere 20 °C. Eén van beide glasplaten heeft aan de spouwzijde een reflecterende coating met een emissiecoëfficiënt  $\epsilon = 0,05$ . De andere glasplaat is van blank glas met  $\epsilon = 0,95$ .

**Hoe groot is de warmteoverdracht door straling in W/m<sup>2</sup> tussen beide glasplaten?**

- a. 2,7 W/m<sup>2</sup>**
- b. 4,2 W/m<sup>2</sup>
- c. 5,4 W/m<sup>2</sup>
- d. 28,2 W/m<sup>2</sup>
- e. 44,4 W/m<sup>2</sup>

Uitwerking:

$$q = (0,05 \cdot 0,95) / ((0,95 - (0,05 \cdot 0,95) + 0,05)) \cdot 56,7 \cdot 10^{-9} \cdot (20^4 - 10^4) =$$

$$0,0475 / (0,95 - 0,0475 + 0,05) \cdot 56,7 \cdot 10^{-9} \cdot (7,4 \cdot 10^9 - 6,4 \cdot 10^9) =$$

$$(0,0475 / 0,9525) \cdot (56,7 \cdot 10^{-9} \cdot 1 \cdot 10^9) = 0,0499 \cdot 56,7 = 2,83 \text{ W/m}^2.$$

### Vraag 19

**Eén van de onderstaande beweringen is niet juist. Welke?**

- a. Als een steenachtig materiaal vochtig wordt neemt de warmtegeleidingscoëfficiënt toe.
- b. De U-waarde is de gemiddelde warmtegeleidingscoëfficiënt van een constructie.**
- c. Alle steenachtige bouwmaterialen hebben (ongeveer) dezelfde soortelijke warmte.

- d. Bij een berekening waar een temperatuurverschil  $\Delta T$  in voorkomt, mogen de temperaturen zowel in  $^{\circ}\text{C}$  als in K uitgedrukt worden.

*Uitwerking:*

De U-waarde van een constructie is omgekeerde warmteweerstand lucht op lucht. Dit is een maat waarin warmte wordt doorgelaten door de constructie, dus de warmtestroomdichtheid met  $\text{m}^2$  bij een temperatuurverschil van 1K. ( $\text{W}/\text{m}^2\text{K}$ )

De overige beweringen zijn juist.

**Vraag 20**

Op een onbewolkte dag wordt een plat dak met grijze dakbedekking door de zon beschenen. Op een bepaald moment heeft het dak een temperatuur van  $75^{\circ}\text{C}$ . Op dat moment straalt het dak warmte uit naar de hemelkoepel, die een stralingstemperatuur heeft van  $-20^{\circ}\text{C}$ .



Het dak heeft een emissiecoëfficiënt van 0,85. Neem aan dat de hemelkoepel een emissiecoëfficiënt van 1 heeft.

**Hoeveel warmte wordt er per saldo uitgestraald van het dak naar de hemelkoepel?**

- a.  $3,9 \text{ W}/\text{m}^2$
- b.  $510 \text{ W}/\text{m}^2$**
- c.  $17,4 \text{ W}/\text{m}^2$
- d.  $352 \text{ W}/\text{m}^2$
- e.  $1,5 \text{ W}/\text{m}^2$

*Uitwerking:*

Gebruik de formule voor stralingsuitwisseling tussen twee vlakken:

$$q_s = \frac{\varepsilon_1 \cdot \varepsilon_2}{\varepsilon_1 - \varepsilon_1 \cdot \varepsilon_2 + \varepsilon_2} \cdot 56,7 \cdot 10^{-9} \cdot (T_1^4 - T_2^4)$$

Waarbij

$$\varepsilon_1 = 0,85; T_1 = 75 + 273 = 348 \text{ K}; \varepsilon_2 = 1; T_2 = -20 + 273 = 253 \text{ K}$$

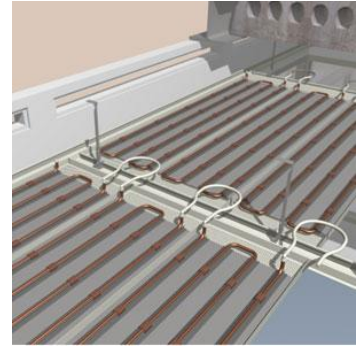
$$(0,85 \cdot 1) / ((0,85 - (0,85 \cdot 1) + 1)) \cdot 56,7 \cdot 10^{-9} \cdot (348^4 - 253^4) = 510 \text{ W}/\text{m}^2$$

### Vraag 21

Beschouw een koelplafond in een kantoorruimte.

Gegeven:

- gemiddelde oppervlaktetemperatuur van het plafond 18 °C
- emissiecoëfficiënt van het plafond  $\epsilon = 0,80$
- gemiddelde stralingstemperatuur van de rest van de kantoorruimte 24 °C
- emissiecoëfficiënt van de rest van de kantoorruimte  $\epsilon = 0,85$



**Hoeveel warmte wordt er per vierkante meter door stralingsuitwisseling door het koelplafond uit de kantoorruimte onttrokken?** (De convectieve warmteoverdracht wordt dus buiten beschouwing gelaten)

- a. 28 W/m<sup>2</sup>
- b. 58 W/m<sup>2</sup>**
- c. 9 W/m<sup>2</sup>
- d. 51 W/m<sup>2</sup>
- e. 35 W/m<sup>2</sup>

#### Uitwerking:

Gebruik de formule voor stralingsuitwisseling tussen twee vlakken:

$$q_s = \frac{\epsilon_1 \cdot \epsilon_2}{\epsilon_1 - \epsilon_1 \cdot \epsilon_2 + \epsilon_2} \cdot 56,7 \cdot 10^{-9} \cdot (T_1^4 - T_2^4)$$

Waarbij

$$\epsilon_{1(\text{vertrek})} = 0,85; T_{1(\text{vertrek})} = 24 + 273 = 297 \text{ K}; \epsilon_{2(\text{plafond})} = 0,80; T_{2(\text{plafond})} = 18 + 273 = 291 \text{ K}$$

$$q_s = (0,85 \cdot 0,8) / ((0,85 - (0,85 \cdot 0,8) + 0,8)) \cdot 56,7 \cdot 10^{-9} \cdot (297^4 - 291^4) = 58,4 \text{ W/m}^2.$$

### Vraag 22

Gegeven een gebouw met vloeren en wanden van gewapend beton.

In totaal is er 50 m<sup>3</sup> beton aanwezig.

Het verwarmingssysteem heeft een vermogen van 10000 W.

**Hoelang duurt het ongeveer voordat de hele betonnen constructie gemiddeld 1 graad is opgewarmd als het verwarmingssysteem wordt aangezet?**

Neem aan dat het hele verwarmingsvermogen wordt gebruikt voor het opwarmen van het beton en dat er geen warmteverlies naar buiten is.

Alle andere thermische massa in het gebouw wordt verwaarloosd.

- a. Ongeveer 30 minuten
- b. **Ongeveer 3 uur**
- c. Ongeveer 12 uur
- d. Ongeveer 18 uur
- e. Ongeveer 30 uur

Uitwerking:

$$Q = \rho * c * d * \Delta T =$$

$$\rho = 2500 \text{ kg/m}^3 \rightarrow \rho * d = 2500 * 50 = 125000 \text{ kg}$$

$$c = 840 \text{ J/kgK}$$

$$\Delta T = 1\text{K}$$

$$Q = 105000000 \text{ W.s/m}^2 \rightarrow q = 10000 \text{ W} =$$

$$T = Q/q \text{ in sec.} = 105000000/10000 = 10500 \text{ s} = 2,9 \text{ uur} = \sim 3 \text{ uur.}$$

**Vraag 23a (open vraag)**

Gegeven twee drinkbekers, één van glas en één van glanzend gepolijst roestvrij staal (rvs).

In de beide bekers zit vers gezette thee. De temperatuur van het buitenoppervlak van beide bekers is ca. 60 °C.

**Hoeveel warmtestraling (uitgedrukt in W/m<sup>2</sup>) geven beide bekers af?**

(Glas gedraagt zich wat betreft warmtestraling hetzelfde als de meeste bouwmaterialen.)

$$q_{\text{str,glas}} = \dots\dots \text{ W/m}^2; \quad q_{\text{str,rvs}} = \dots\dots \text{ W/m}^2$$

Uitwerking:

$$\epsilon_{\text{glas}} = 0,9$$

$$\epsilon_{\text{metaal}} = 0,5$$

$$q_{\text{str,glas}} = 0,9 * 56,7 * 10^{-9} * (60 + 273)^4 = 0,9 * 56,7 * 10^{-9} * 1,23 * 10^{10} = 627,5 \text{ W/m}^2.$$

$$q_{\text{str,rvs}} = 0,5 * 56,7 * 10^{-9} * (60 + 273)^4 = 0,5 * 56,7 * 10^{-9} * 1,23 * 10^{10} = 348,6 \text{ W/m}^2.$$

**Vraag 23b (open vraag)**

**Welke beker kun je na 5 minuten het beste beetpakken, zonder je vingers te branden?**

Uitwerking:

De stalenbeker straalt minder warmte uit (er wordt meer gereflecteerd!). Dus na 5 minuten kan je beter de glazenbeker vastpakken, omdat er meer warmte verloren is gegaan en deze dus dan minder warm is.

**Vraag 24a**

Gegeven spouwmuur daarin een (verticale) spouw van 50 mm.

**Welke twee van de onderstaande opmerkingen t.a.v. de warmteoverdracht in de spouw zijn waar? (Twee juiste antwoorden invullen)**

- a. Warmteoverdracht door geleiding en convectie ligt in dezelfde orde van grootte
- b. Warmteoverdracht door convectie is te verwaarlozen
- c. Warmteoverdracht door geleiding is vrijwel te verwaarlozen
- d. Warmtestraling zorgt voor ongeveer 80% van de warmteoverdracht
- e. Warmtestraling zorgt voor hooguit 50% van de warmteoverdracht

*Uitwerking:*

Zie Figuur 1.14 uit het Bouwfysica boek (8<sup>e</sup> druk).

**Vraag 24b**

En hoe zit dat voor een spouw van 5 mm.

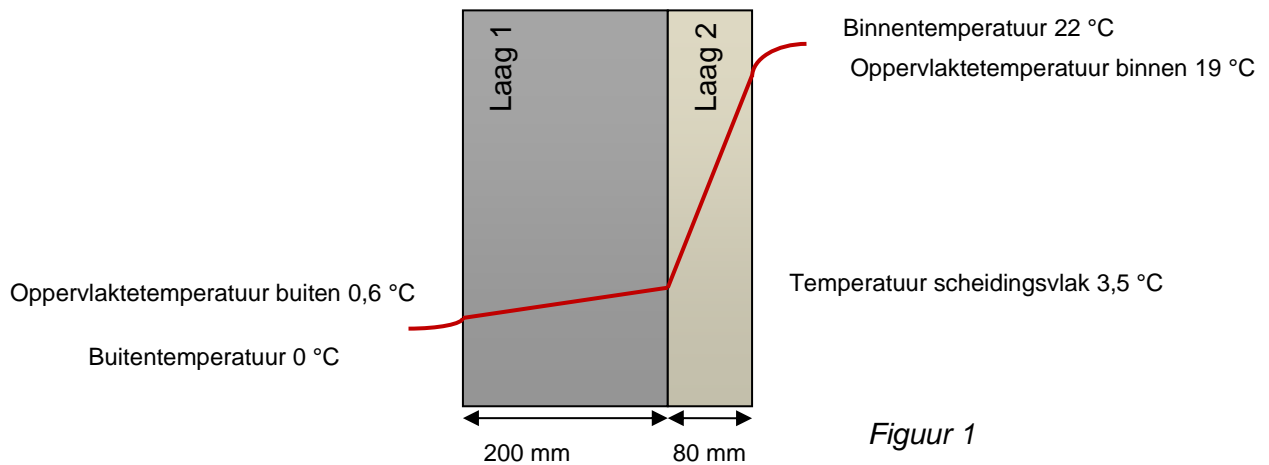
**Welke twee van de onderstaande opmerkingen zijn waar? (Twee juiste antwoorden invullen)**

- a. Warmteoverdracht door geleiding en convectie ligt in dezelfde orde van grootte
- b. Warmteoverdracht door convectie is te verwaarlozen
- c. Warmteoverdracht door geleiding is vrijwel te verwaarlozen
- d. Warmtestraling zorgt voor ongeveer 75% van de warmteoverdracht
- e. Warmtestraling zorgt voor hooguit 50% van de warmteoverdracht

*Uitwerking:*

Zie Figuur 1.14 uit het Bouwfysica boek (8<sup>e</sup> druk).

### Vraag 25



In figuur 1 is voor een wandconstructie opgebouwd uit twee lagen het temperatuurverloop weergegeven.

De warmtestroomdichtheid door de constructie is  $14,1 \text{ W/m}^2$ .

De overgangsweerstanden aan binnen- en buitenzijde zijn niet bekend.

**Wat is de warmtegeleidingscoëfficiënt van het materiaal in laag 1?**

- a.  $2,0 \text{ W/mK}$
- b.  $0,97 \text{ W/mK}$**
- c.  $0,10 \text{ W/mK}$
- d.  $1,03 \text{ W/mK}$
- e.  $0,19 \text{ W/mK}$

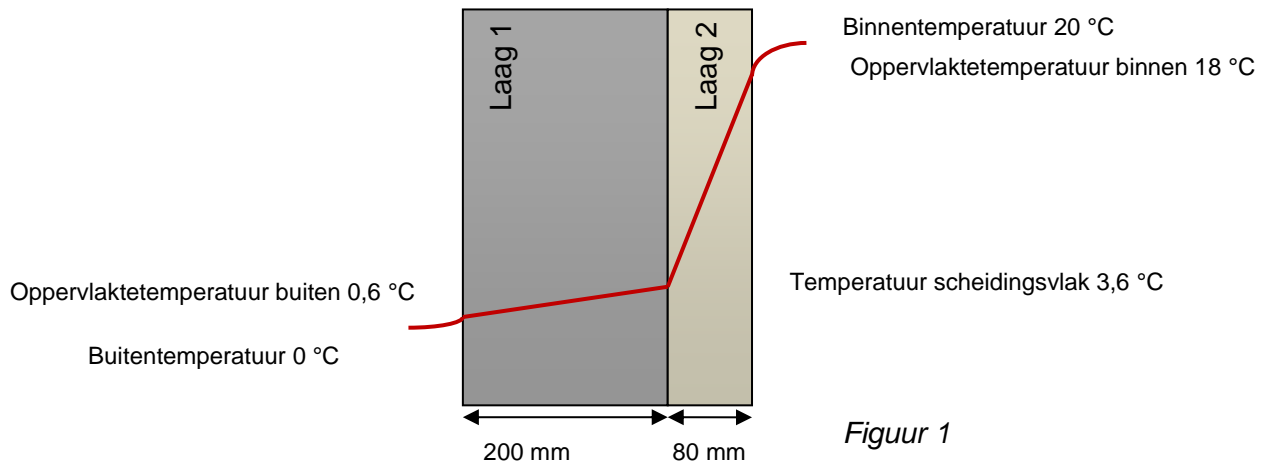
*Uitwerking:*

$$q = \Delta T / R \text{ ofwel } R = \Delta T / q \text{ zodat } R = (3,5 - 0,6) / 14,1 = 0,206 \text{ m}^2\text{K/W.}$$

$$R = d / \lambda \text{ dus } \lambda = 0,2 / 0,206 = 0,97 \text{ W/mK.}$$



### Vraag 26



In figuur 1 is voor een wandconstructie opgebouwd uit twee lagen het temperatuurverloop weergegeven.

De warmtestroomdichtheid door de constructie is  $15 \text{ W/m}^2$ .

Wat is de warmtegeleidingscoëfficiënt van het materiaal in laag 2?

- a.  $0,036 \text{ W/mK}$
- b.  $0,521 \text{ W/mK}$
- c.  **$0,083 \text{ W/mK}$**
- d.  $0,208 \text{ W/mK}$
- e.  $1,920 \text{ W/mK}$

*Uitwerking:*

Gegeven is  $\Delta T = 18 - 3,6 = 14,4 \text{ °C}$ .

Dat betekent dat voor R wordt gevonden:  $R = \Delta T / q = 14,4 / 15 = 0,96 \text{ m}^2\text{K/W}$ .

En daarmee wordt uit  $R = d / \lambda$  gevonden:  $\lambda = d / R = 0,08 / 0,96 = 0,083 \text{ W/mK}$ .

### Vraag 27

Gegeven een dubbelglasconstructie bestaande uit twee ruiten met een luchtspouw van 18 mm.

Bij één van de spouwbladen is een dunne metaallaag opgedampt. Daardoor is de emissiecoëfficiënt van die ruit aan de spouwzijde  $\varepsilon = 0,07$ . De andere ruit is gewoon blank glas, met  $\varepsilon = 0,95$ .

**Wat is de overdrachtscoëfficiënt voor straling  $\alpha_{\text{straling}}$  in de spouw, uitgaande van een temperatuur van het buitenblad  $T_1 = 10 \text{ °C}$  en het binnenblad  $T_2 = 20 \text{ °C}$ ?**

Hint: bereken het warmtetransport  $q_s$  door straling met de uitgebreide formule en leid dan  $\alpha_{\text{straling}}$  af uit de formule  $q_s = \alpha_{\text{straling}} \cdot (T_1 - T_2)$

- a. 0,48 W/m<sup>2</sup>K
- b. 0,24 W/m<sup>2</sup>K
- c. 0,36 W/m<sup>2</sup>K
- d. 0,34 W/m<sup>2</sup>K
- e. 0,38 W/m<sup>2</sup>K

*Uitwerking:*

$$q_s = \varepsilon_{\text{res}} \cdot 56,7 \cdot 10^{-9} \cdot (T_2^4 - T_1^4) \text{ en } \varepsilon_{\text{res}} = \varepsilon_1 \cdot \varepsilon_2 / (\varepsilon_1 - \varepsilon_1 \cdot \varepsilon_2 + \varepsilon_2) \rightarrow$$

$$= [0,07 \cdot 0,95 / (0,07 - 0,07 \cdot 0,95 + 0,95)] \cdot 56,7 \cdot 10^{-9} \cdot (293^4 - 283^4) = 3,79 \text{ W/m}^2$$

$$q_s = \alpha_{\text{straling}} \cdot (T_1 - T_2) \text{ ofwel: } \alpha_{\text{straling}} = q_s / (T_1 - T_2) = 3,79 / (293 - 283) = 0,38 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$$

### **Vraag 28**

Beschouw een plafondverwarming in een kantoorruimte.

Gegeven:

- Gemiddelde oppervlaktetemperatuur van het plafond 30 °C
- Emissiecoëfficiënt van het plafond  $\varepsilon = 0,92$
- Gemiddelde stralingstemperatuur van de rest van de kantoorruimte 22 °C
- Emissiecoëfficiënt van de rest van de kantoorruimte  $\varepsilon = 0,95$

**Hoe groot is bij deze omstandigheden het verwarmingsvermogen dat het plafond door stralingsuitwisseling afgeeft aan de kantoorruimte?**

(De convectieve warmteoverdracht wordt dus buiten beschouwing gelaten)

- a. 20,4 W/m<sup>2</sup>
- b. 40,0 W/m<sup>2</sup>
- c. 42,6 W/m<sup>2</sup>
- d. 48,5 W/m<sup>2</sup>
- e. 45,4 W/m<sup>2</sup>

*Uitwerking:*

Gebruik de formule:

$$q_s = \frac{\varepsilon_1 \cdot \varepsilon_2}{\varepsilon_1 - \varepsilon_1 \cdot \varepsilon_2 + \varepsilon_2} \cdot 56,7 \cdot 10^{-9} \cdot (T_1^4 - T_2^4)$$

$$q_s = ((0,92 \cdot 0,95) / (0,92 - 0,92 \cdot 0,95 + 0,95)) \cdot 56,7 \cdot 10^{-9} \cdot ((30 + 273)^4 - (22 + 273)^4) = 42,6 \text{ W/m}^2.$$