

5. VOORBEELDEN

Voorbeeld 1

Het betreft een nieuwe, vrijstaande, doosvormige hal met als hoofdafmetingen $80 \cdot 30 \cdot 7,5$ m.

De deur heeft een afmeting van $4 \cdot 3$ meter en een U -waarde van $2 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$.

De wanden hebben een U -waarde van $0,35 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$.

Het dak heeft een U -waarde van $0,3 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$ en is niet voorzien van dakramen.

De vloer is een geïsoleerde betonvloer met een U -waarde van $1 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$. Grondwaterspiegel 2 m onder het maaiveld. De vloer ligt op de hoogte van het maaiveld.

De hal heeft geen tegenover elkaar gelegen deuren en wordt verwarmd met zwarte buisstralers. Figuur 5.1 geeft een beeld van de hal.

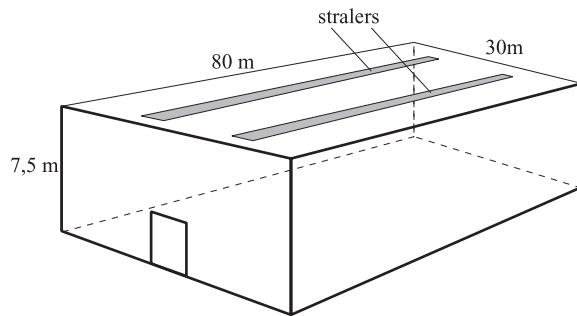


Fig. 5.1 schematische weergave van de hal.

De hal heeft geen mechanische ventilatie en wordt 12 uur per dag gedurende 5 dagen per week gebruikt. De hal is voorzien van een klok thermostaat. De minimum nachttemperatuur is $10 \text{ }^\circ\text{C}$.

In de hal vinden overwegend lichte werkzaamheden plaats en er wordt gebruik gemaakt van lichte werkkleding. In de ruimte is geen sprake van doorvoer van materialen. Wel is er ca. 200 ton aan stalen productie machines opgenomen.

Gevraagd: het in deze hal te installeren verwarmingsvermogen.

Oplissing:

Uit de gegevens van de activiteit (2,2 met, volgens tabel 2.1) en de kledingweerstand (0,7 clo, volgens tabel 2.1) volgt uit tabel 2.1 een ontwerpbinnetemperatuur van $18 \text{ }^\circ\text{C}$.

Uit tabel 2.2 volgt een verticale temperatuurgradiënt $\delta\theta_l$ van $0,5 \text{ K}/\text{m}$ en een verlaging van de luchttemperatuur t.o.v. de ontwerpbinnetemperatuur voor ventilatieberekeningen $\Delta\theta_v$ van 2 K .

De reductiefactor voor hogere circulatievouden is 1.

Hieruit volgt met (2.2) $\Delta\theta_l = 1 \cdot (7,5 - 1) \cdot 0,5 = 3,25 \text{ K}$.

Warmteverlies door transmissie

Het transmissieverlies voor een ruimte volgt volgens (3.2) uit:

$$\Phi_t = (H_{t,ie} + H_{t,ia} + H_{t,io} + H_{t,ib} + H_{t,ig}) \cdot (\theta_i - \theta_e) \quad [\text{W}]$$

Voor $H_{t,ie}$ geldt volgens de forfaitaire methode (3.3a):

$$H_{t,ie} = \sum_k (A_k \cdot f_k \cdot (U_k + 0,1)) \quad [\text{W}/\text{K}]$$

Voor de correctiefactor f_k geldt:

$$f_k = \frac{(\theta_i + 0,5(\Delta\theta_1 + \Delta\theta_2)) - \theta_e}{\theta_i - \theta_e} \quad \text{voor buitenwanden} \quad [-]$$

$$f_k = \frac{(\theta_i + \Delta\theta_1) - \theta_e}{\theta_i - \theta_e} \quad \text{voor platte daken} \quad [-]$$

Ingevuld voor de verschillende wanden:

Buitenwand 1:

$$H_{t,ie} = 80 \cdot 7,5 \cdot (0,35 + 0,10) \cdot \frac{(18 + 0,5 \cdot (3,25 + 0)) - (-10)}{18 - (-10)} = 285,67 \text{ W/K}$$

Buitenwand 2:

$$H_{t,ie} = ((30-4) \cdot 7,5) \cdot (0,35 + 0,1) \cdot \frac{(18 + 0,5 \cdot (3,25 + 0)) - (-10)}{18 - (-10)} = 92,84 \text{ W/K (wanden naast de deur)}$$

$$H_{t,ie} = 4 \cdot 3 \cdot (2,0 + 0,1) \cdot \frac{18,5 - (-10)}{18 - (-10)} = 25,65 \text{ W/K (deur)}$$

$$H_{t,ie} = 4 \cdot 4,5 \cdot (0,35 + 0,1) \cdot \frac{0,5 \cdot (19 + 21) - (-10)}{18 - (-10)} = 8,68 \text{ W/K (wand boven de deur)}$$

Totaal over deze wand: $H_{t,ie} = 127,17 \text{ W/K}$

Buitenwand 3 (= buitenwand 1):

$$H_{t,ie} = 80 \cdot 7,5 \cdot (0,35 + 0,1) \cdot \frac{(18 + 0,5 \cdot (3,25 + 0)) - (-10)}{18 - (-10)} = 285,67 \text{ W/K}$$

Buitenwand 4 (=buitenwand 2):

$$H_{t,ie} = 30 \cdot 7,5 \cdot (0,35 + 0,1) \cdot \frac{(18 + 0,5 \cdot (3,25 + 0)) - (-10)}{18 - (-10)} = 107,12 \text{ W/K}$$

plat dak:

$$H_{t,ie} = 30 \cdot 80 \cdot (0,30 + 0,1) \cdot \frac{(18 + 3,25) - (-10)}{18 - (-10)} = 1071,42 \text{ W/K}$$

Gesommeerd over de verschillende vlakken: $H_{t,ie} = 1887,05 \text{ W/K}$

$H_{t,ia} = 0$; er zijn geen aangrenzende verwarmde ruimten.

$H_{t,io} = 0$; er zijn geen aangrenzende onverwarmde ruimten.

$H_{t,ib} = 0$; er zijn geen burens (vrijstaande hal)

Vloer:

Uit (3.19) volgt: $H_{t,ig} = 1,45 \cdot f_{g2} \cdot f_s \cdot G_w \cdot \Sigma_k(A_k \cdot U_{e,k})$ [W/K]

volgens (3.20) geldt: $f_{g2} = \frac{(\theta_i + \Delta\theta_2) - \theta_{me}}{\theta_i - \theta_e} = 0,32$

$f_s = 1,30$ voor zwarte buisstralers

$G_w = 1$ (grondwaterspiegel meer dan 1 m onder vloerniveau)

Bepaling $U_{e,k}$:

Hulpwaarde $B' = 2A_v/O = 4800/220 = 21,8$.

Uit figuur 3.3 met $z = 0$ volgt $U_{e,k} = 0,2$.

In (3.20) ingevuld wordt dit: $H_{t,ig} = 1,45 \cdot 0,32 \cdot 1,3 \cdot 1 \cdot 2400 \cdot 0,2 = 289,45$.

Het warmteverlies door transmissie is gelijk aan:

$$\Phi_t = (1877,05 + 0 + 0 + 0 + 289,45) \cdot (18 - (-10)) = 60662 \text{ W.}$$

Warmteverlies door buitenluchttoetreding

Het warmteverlies door buitenluchttoetreding volgt volgens (3.21) uit :

$$\Phi = H_v \cdot (\theta_i - \theta_e) \quad [W]$$

H_v volgt uit (3.29): $H_v = q_v \cdot 1200 \cdot f_v$ [W/K]

inhoud > 10.000 m³; geen dakramen of tegenover elkaar liggende deuren:

Voor q_v volgt uit (3.2) en tabel 3.2 : $q_v = 0,1 \cdot 18000 / 3600 = 0,5 \text{ m}^3/\text{s}$.

Controle met Bouwbesluit: (tabel 3.3; bezettingsgraad B5, niet verontreinigend, geen lichte industrie): minimum-eis: $80 \cdot 30 \cdot 0,4 \cdot 10^{-3} = 0,96 \text{ m}^3/\text{s}$. Dit is meer dan de berekende infiltratie; dus rekenen met deze waarde.

$$\text{Voor } f_v \text{ volgt uit (3.31) } f_v = \frac{\theta_i + \Delta\theta_v + 0,5\Delta\theta_1 - \theta_e}{\theta_i - \theta_e} = \frac{18 - 2 + 0,5 \cdot 3,25 - (-10)}{18 - (-10)} = 0,987$$

Ingevuld wordt dit: $\Phi = 0,96 \cdot 1200 \cdot 0,987 \cdot (18 - (-10)) = 31837 \text{ Watt}$.

Toeslag voor bedrijfsbeperking

Voor de toeslag voor bedrijfsbeperking geldt volgens (3.34): $\Phi_{op} = P \cdot (A_{vl} + A_{massa})$ [W]

Voor het equivalente vloeroppervlak voor verrekening van de interne massa geldt volgens (3.35):

$$A_{massa} = \frac{\sum_i (m_i \cdot c_i)}{1,2 \cdot 10^5} = \frac{200000 \cdot 500}{1,2 \cdot 10^5} = 833 \text{ [m}^2\text{]}$$

Uit bijlage E volgt dat bij een opwarmtijd op maandag ochtend van 9 uur (BT = 9 + 12 = 21 uur) een specifieke toeslag voor bedrijfsbeperking P' van 45 W/m^2 .

De reductiefactor voor opwarmen tot PMV = -0,5 buiten bedrijfstijd en tot PMV = 0 binnenbedrijfstijd = 0,23.

Hieruit volgt voor de toeslag voor bedrijfsbeperking $P = 0,23 \cdot 45 = 10,35 \text{ W/m}^2$.

Hieruit volgt voor de toeslag voor bedrijfsbeperking: $\Phi_{op} = 10,35 \cdot (2400 + 833) = 33462 \text{ Watt}$.

Er is geen mechanische ventilatie dus $\Phi_o = \Phi_{op}$.

Totaal te installeren: $60662 + 31837 + 33462 = 125961 \text{ Watt} \approx 126 \text{ kW}$.

Voor het bepalen van het aantal stralers moet deze waarde nog gedeeld worden door het toestelrendement.

Voorbeeld 2

Gebouwgegevens

Het betreft een bestaande hal van $75 \cdot 35 \cdot 7$ meter. De hal grenst met 2 zijden geheel aan de buitenlucht. De noordzijde van de hal grenst voor de helft aan een ruimte die in principe vorstvrij gehouden wordt. De vierde zijde grenst aan een andere hal van hetzelfde bedrijf waar een binnentemperatuur van $15 \text{ }^\circ\text{C}$ heerst. Figuur 5.2 geeft de ligging van de hal.

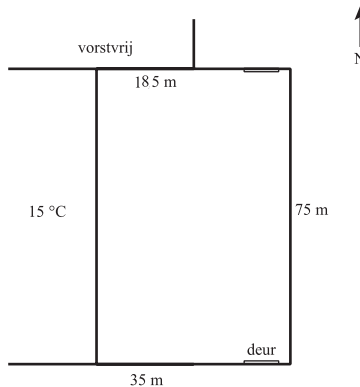
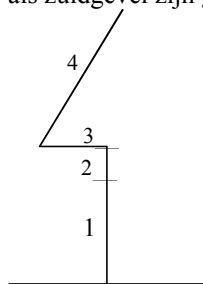


Fig. 5.2 Ligging van de hal.

Figuur 5.3 geeft een dwarsdoorsnede van de buitenwand zoals de grenst aan de buitenlucht. Zowel in de Noord- als zuidgevel zijn geïsoleerde laaddeuren opgenomen ($4 \cdot 3 \text{ m}$ en $U=2 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$).



1. Een dubbelsteens wand (buitenzijde metselbaksteen en aan de binnen-zijde betonsteen) met 4 cm isolatie. De hoogte van de wand is 3 meter.
2. Raam van enkelglas in een houten kozijn. Hoogte van het glas is 30 cm.
3. Horizontale overstek: een stalen damwandprofiel met daarop een iso-latiedeken van 4 cm dik. De laag ligt los of met enige planken als ballast op het damwandprofiel. Geen afwerking aan de bovenzijde. De overstek is 1 m breed.
4. Schuine wand: aan de buitenzijde damwandprofiel, dan 4 cm isolatie en aan de binnenzijde afgewerkt met een dunne iets geprofileerde staalplaat. De lengte van deze schuine wand is 4,12 meter. De (verticale) hoogte van de wand is 4 meter.

Figuur 5.3 Doorsnede buitenwand.

De wand naar de hal die vorstvrij gehouden wordt bestaat uit 15 cm dikke betonstenen en is geheel vlak.
De binnenwand naar de naastgelegen hal is eveneens opgetrokken uit 15 cm dikke betonstenen.

Vloer: 20 cm verdicht grindbeton direct op zand.

Dak: 4 cm isolatie tussen stalen platen.

In het dak is een 9-tal dubbelwandige kunststof daglichtkoepels geplaatst. Deze koepels hebben een oppervlakte van 331 m².

Aanvullende gegevens:

De hal is voorzien van HT-luchtverwarming en ondersteuningsventilatoren ($n = 3$).

Er is geen mechanische ventilatie; alleen infiltratie.

Er wordt bedrijfsbeperking toegepast; minimum nachttemperatuur 10 °C. De hal is gedurende 5 dagen per week in bedrijf gedurende 12 uur. Geregeld wordt er met een (klok-)thermostaat.

In de hal is 325 ton aan productiemachines opgesteld.

Regelmatig wordt 10 ton van buiten komend staal aangevoerd.

Er is geen continue doorvoer van materiaal.

Dimensionering van de warmtebehoefte van de hal

De eerste stap die moet worden uitgevoerd is het vaststellen van de ontwerpbinnentemperatuur.

Kledingweerstand: 0,82 clo.

Activiteitsniveau: 2,3 met.

Hieruit volgt een ontwerpbinnentemperatuur van 16 °C.

De ruimte wordt verwarmd met luchtverwarming met ondersteuningsventilatoren:

$$\Delta\theta_l = \Delta\theta_{al} = r \cdot \delta\theta_l^* \cdot (h - 1)$$

Uit tabel 2.2 volgt: $\delta\theta_l^* = 1,3$ en $\Delta\theta_2 = -1$.

Uit figuur 2.2 volgt voor de reductiefactor $r = 0,58$.

Voor de totale hoogte van de ruimte geldt: $\Delta\theta_l = 0,58 \cdot 1,3 \cdot (7 - 1) = 4,5$ K

De verticale temperatuurgradiënt is $0,58 \cdot 1,3 = 0,75$ K/m.

Door de aparte vorm van het gebouw moeten er een aantal temperaturen gedefinieerd worden:

Voor het verticale deel van de wand geldt: $\Delta\theta_l = \Delta\theta_{al} = r \cdot \delta\theta_l^* \cdot (h - 1) = 1,5$ (immers $h = 3$ m)

Temperatuur bij de horizontale delen van de wanden met overstek: $16 + 0,75 \cdot (3-1) = 17,5$ °C.

Voor de schuine vlakken moet als ontwerpbinnentemperatuur uitgegaan worden van de gemiddelde temperatuur van het vlak: $17,5 + 2 \cdot 0,75 = 19,0$ °C.

Vloer:

Ongeïsoleerd van verdicht gewapend grindbeton met 20 cm dikte waarbij het vloerniveau gelijk is aan het maai-veld ($z = 0$). Het grondwater ligt ca 5 meter onder het vloerniveau:

- lengte van de vloer 75 m;
- breedte van de vloer: 35 m.

$$B' = 2 A_{vl} / O = 5250 / 127,5 = 41,17$$

Uit figuur 3.3 volgt dat $U_{e,k} = 0,35$ W/(m²·K)

$$\text{Uit (3.19) volgt: } H_{i,ig} = 1,45 \cdot f_{g2} \cdot f_s \cdot G_w \cdot \Sigma_k(A_k \cdot U_{e,k}) \quad [\text{W/K}]$$

$$\text{volgens (3.20) geldt: } f_{g2} = \frac{(\theta_i + \Delta\theta_2) - \theta_{me}}{\theta_i - \theta_e} = 0,23$$

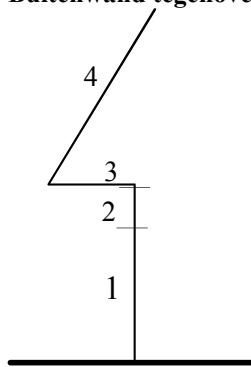
$f_s = 1,0$ voor luchtverwarming

$G_w = 1$ (grondwaterspiegel meer dan 1 m onder vloerniveau)

$$H_{i,ig} = 1,45 \cdot 0,23 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 2625 \cdot 0,35 = 306,40 \text{ W/K}$$

Voor de berekening van de warmteverliezen door transmissie door de uitwendige scheidingsconstructie wordt uitgegaan van de forfaitaire methode.

Buitenwand tegenover binnenwand (Oostwand); lengte 75 m
Stenen wand met 4 cm isolatie



$$U = 0,695$$

Het betreft een buitenwand: $H_{t,ie} = \sum_k(A_k \cdot f_k \cdot (U_k + 0,1))$

$$\Delta\theta_1 = (2,7 - 1) \cdot 0,75 = 1,28 \quad \Delta\theta_2 = -1$$

Voor het bepalen van factor f_k geldt:

$$f_k = \frac{(\theta_i + 0,5(\Delta\theta_1 + \Delta\theta_2)) - \theta_e}{\theta_i - \theta_e} = 1,005$$

$$A_k = 75 \cdot 3 - 0,3 \cdot 75 = 202,5 \text{ m}^2$$

$$H_{t,ie} = 202,5 \cdot 1,005 \cdot (0,695 + 0,1) = 161,79 \text{ W/K}$$

2 Glas in stenen wand

Het betreft een buitenwand:

$$H_{t,ie} = \sum_k(A_k \cdot f_k \cdot (U_k + 0,1))$$

$$\Delta\theta_1 = (3 - 1) \cdot 0,75 = 1,5 \quad \Delta\theta_2 = (2,7 - 1) \cdot 0,75 = 1,28$$

voor f_k geldt:

$$f_k = \frac{(\theta_i + 0,5(\Delta\theta_1 + \Delta\theta_2)) - \theta_e}{\theta_i - \theta_e} = 1,053$$

$$A_k = 0,3 \cdot 75 = 22,5 \text{ m}^2$$

Uit tabel 2.4 volgt $U = 5,1 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$

$$H_{t,ie} = 22,5 \cdot (5,1 + 0,1) \cdot 1,053 = 123,83 \text{ W/K}$$

3 Horizontale overstek

4 cm isolatie + staalplaat

$$U = 0,80$$

$$f_k = (17,5 - (-10)) / (16 - (-10)) = 1,058$$

$$H_{t,ie} = \sum_k(A_k \cdot U_k \cdot f_k) = 75 \cdot (0,80 + 0,1) \cdot 1,058 = 71,42 \text{ W/K}$$

4 Schuine wand

4 cm isolatie tussen staalplaten

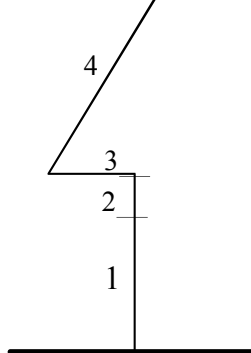
$$U = 0,80$$

$$f_k = (19 - (-10)) / (16 - (-10)) = 1,115$$

$$H_{t,ie} = \sum_k(A_k \cdot U_k \cdot f_k) = 309 \cdot (0,80 + 0,1) \cdot 1,115 = 310,08 \text{ W/K}$$

totaal voor deze buitenwand $H_{t,ie} = 667,12 \text{ W/K}$

Kopse wand (Zuidwand) lengte 35 m; geheel aan buiten grenzend



1 stenen wand (excl deur)

$$A_k = 35 \cdot 3 - 0,3 \cdot 35 - 12 = 82,5 \text{ m}^2$$

$$H_{t,ie} = 82,5 \cdot (0,695 + 0,1) \cdot 1,005 = 65,91 \text{ W/K}$$

2 deur: 4 · 3 = 12 m²

$$H_{t,ie} = 12 \cdot (2 + 0,1) \cdot 1,010 = 25,45 \text{ W/K}$$

2 glas in stenen wand

$$H_{t,ie} = 10,5 \cdot (5,1 + 0,1) \cdot 1,053 = 57,49 \text{ W/K}$$

3 horizontale overstek

$$H_{t,ie} = 35 \cdot (0,80 + 0,1) \cdot 1,058 = 33,33 \text{ W/K}$$

4 schuine overstek

$$H_{t,ie} = 144,2 \cdot (0,80 + 0,1) \cdot 1,115 = 144,70 \text{ W/K}$$

totaal voor deze buitenwand $H_{t,ie} = 326,88 \text{ W/K}$

Binnenwand grenzend aan verwarmde ruimte met temperatuur 15 °C (75 m lang)

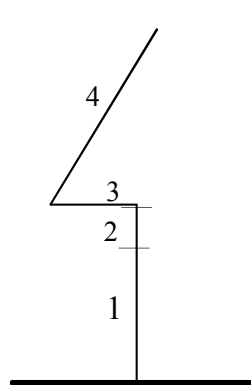
betonsteen 10 cm

$$U = 3,29$$

$$f_k = 16 + 0,5 \cdot (4,5 - 1) - 15 / (16 - (-10)) = 0,106$$

$$A_k = 75 \cdot 7 = 525 \text{ m}^2$$

$$H_{t,ia} = 525 \cdot 3,29 \cdot 0,106 = 183,09 \text{ W/K}$$

Achternvlak (18,5 meter tegen andere hal): Noordwand

16,5 meter aan buitenlucht grenzend

1 stenen wand (excl deur)

$$H_{t,ie} = 32,55 \cdot (0,695 + 0,1) \cdot 1,005 = 26,01 \text{ W/K}$$

2 deur:

$$H_{t,ie} = 12 \cdot (2,0 + 0,1) \cdot 1,010 = 25,45 \text{ W/K}$$

2 glas in stenen wand

$$H_{t,ie} = 4,95 \cdot (5,1 + 0,1) \cdot 1,053 = 27,10 \text{ W/K}$$

3 horizontale overstek

$$H_{t,ie} = 16,5 \cdot (0,80 + 0,1) \cdot 1,058 = 15,71 \text{ W/K}$$

4 schuin vlak

$$H_{t,ie} = 67,98 \cdot (0,80 + 0,1) \cdot 1,115 = 68,21 \text{ W/K}$$

Grenzend aan vorstvrije hal

2 °C binnentemperatuur

betonsteen 10 cm: $U = 3,29$

$$f_k = (16 + 0,5 \cdot (4,5 - 1) - (2)) / (16 - (-10)) = 0,596$$

$$A_k = 18,5 \cdot 7 = 129,5 \text{ m}^2$$

$$H_{t,io} = 129,5 \cdot 3,29 \cdot 0,596 = 253,93 \text{ W/K}$$

totaal voor deze wand : $H_{t,ie} = 162,48 \text{ W/K}$ en $H_{t,io} = 253,93 \text{ W/K}$ **Dakvlak:**9 luchtkoepels van totaal 331 m² : $U = 3,5$

$$\Delta\theta_1 = 0,75 \cdot (7 - 1) = 4,5$$

$$f_k = \frac{(\theta_i + \Delta\theta_1) - \theta_e}{\theta_i - \theta_e} = 1,173$$

$$H_{t,ie} = 331 \cdot (3,5 + 0,1) \cdot 1,173 = 1397,75 \text{ W/K}$$

staalplaat + 4 cm isolatie: $U = 0,80$

$$A_k = 75 \cdot 35 - 331 = 2294 \text{ m}^2$$

$$H_{t,ie} = 2294 \cdot (0,80 + 0,1) \cdot 1,173 = 2421,78 \text{ W/K}$$

Totaal voor het dakvlak: $H_{t,ie} = 3819,53 \text{ W/K}$ **Warmteverlies t.g.v. transmissie:**

$$\Phi_t = (H_{t,ie} + H_{t,ia} + H_{t,io} + H_{t,ib} + H_{t,ig}) \cdot (\theta_i - \theta_e)$$

Ingevuld en gesommeerd voor alle vlakken wordt dit:

$$\Phi_t = (4976,01 + 183,09 + 253,93 + 0 + 306,40) \cdot (16 - (-10)) = 148705 \text{ W} \approx 149 \text{ kW}$$

Warmteverlies door buitenluchttoetreding

Het warmteverlies door buitenluchttoetreding volgt volgens (3.21) uit :

$$\Phi = H_i \cdot (\theta_i - \theta_e) \quad [\text{W}]$$

Uit (3.29) volgt: $H_i = q_i \cdot 1200 \cdot f_v$ [W/K]

Volgens tabel 3.2 geldt voor het infiltratievoud 0,2 + 0,2 (t.g.v. tegenover elkaar liggende deuren) = 0,4

Uit tabel 3.2 volgt: $q_i = 0,4 \cdot 18628 / 3600 = 2,07$.

controle met Bouwbesluit (bezettingsgraad B5, niet verontreinigend en lichte industrie):

$$35 \cdot 75 \cdot 0,4 \cdot 10^{-3} = 1,05 \text{ (voldoet, daar de infiltratie groter is dan de eis).}$$

$$\text{Uit (3.31) volgt } f_v = \frac{\theta_i + \Delta\theta_v + 0,5(\Delta\theta_1 + \Delta\theta_2) - \theta_e}{\theta_i - \theta_e} = \frac{16 + 0 + 0,5 \cdot 3,5 - (-10)}{16 - (-10)} = 1,067$$

Ingevuld wordt dit: $\Phi = 2,07 \cdot 1200 \cdot 1,067 \cdot (16 - (-10)) = 68.911 \text{ Watt} \approx 69 \text{ kW}$.

Toeslag voor bedrijfsbeperking

Voor de toeslag voor bedrijfsbeperking geldt volgens (3.35): $\Phi_{op} = P \cdot (A_{vl} + A_{massa})$ [W]

Voor het equivalente vloeroppervlak voor verrekening van de interne massa geldt volgens (3.36):

$$A_{massa} = \frac{\sum_i (m_i \cdot c_i)}{1,2 \cdot 10^5} = \frac{325000 \cdot 500}{1,2 \cdot 10^5} = 1354 \quad [\text{m}^2]$$

Uit bijlage E volgt dat bij een opwarmtijd, op maandagochtend, van 6 uur (BT = 6 + 12 = 18 uur) een specifieke toeslag voor bedrijfsbeperking P van 56 W/m².

De reductiefactor voor opwarmen tot PMV = -0,5 buiten bedrijfstijd en tot PMV = 0 binnen bedrijfstijd = 0,08.

Hieruit volgt voor de gecorrigeerde specifieke toeslag voor bedrijfsbeperking $P = 0,08 \cdot 56 = 4,48 \text{ W/m}^2$.

De toeslag voor bedrijfsbeperking: $\Phi_{op} = 4,48 \cdot (2625 + 1354) = 17826 \text{ Watt}$.

Er is geen mechanische ventilatie dus $\Phi_o = \Phi_{op} = 17826 \text{ Watt} \approx 18 \text{ kW}$.

Toeslag voor regelmatige toevoer (koud) materiaal

$$\text{Uit (3.38) volgt: } \Phi_{extra} = \frac{m \cdot c \cdot (\theta_i - \theta_m)}{t} \quad [\text{W}]$$

$m = 10000 \text{ kg}$

$c = 500 \text{ J/(kg}\cdot\text{K)}$

opwarmen in 6 uur = 21600 sec.

$$\text{Ingevuld wordt dit: } \Phi_{extra} = \frac{10000 \cdot 500 \cdot (16 - (-10))}{21600} = 6019 \text{ W}$$

Bepaling van het benodigde vermogen

Hierbij moet erop gelet worden dat geen vermogens worden gesommeerd die niet gelijktijdig gevraagd worden.

In dit geval zullen niet de toeslag voor bedrijfsonderbreking en de toeslag voor regelmatige toevoer (koud) materiaal gelijktijdig nodig zijn. In dit geval moet de grootste van de twee waarden in rekening gebracht worden.

Te leveren verwarmingsvermogen: $148.705 + 68.911 + 17.826 = 235.442 \text{ Watt} \approx 236 \text{ kW}$.