

6. VOORBEELD

Het (kantoor)gebouw is weergegeven in figuur 6.1.

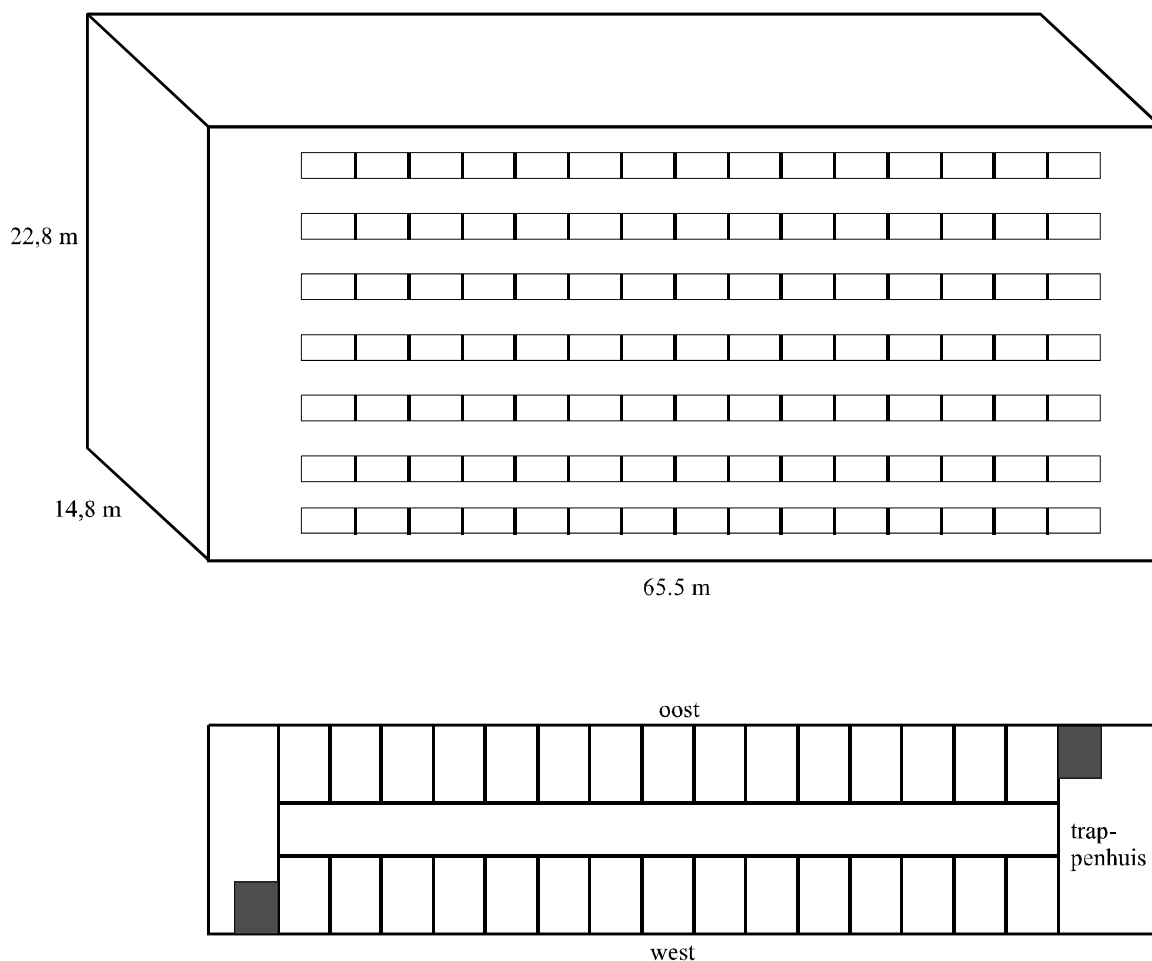


Fig. 6.1 Gevelaanzicht en plattegrond van het kantoorgebouw.

Het (kantoor)gebouw kan worden bestempeld als een middelgroot modulenkantoor. De verdere gebouwgegevens zijn :

- afmetingen: $65,5 \times 14,8 \times 22,8 \text{ m}$
- volume: $V = 22100 \text{ m}^3$
- omhullende oppervlak: $A_o = 5600 \text{ m}^2$ (voorgevel 1494 m^2 , zijgevel 337 m^2 , dak 969 m^2)
- vormfactor: $A_o/V = 0,25 \text{ m}^{-1}$
- vloeroppervlak: $A_{vl} = 6783 \text{ m}^2$
- aantal verdiepingen: 7 (verdiepingshoogte is 2,70 m tot het verlaagde, thermisch gesloten, plafond;)
- indeling verdieping: kantoormodulen aan beide gevels met daartussen verkeersruimte
- aantal kantoormodulen: $n = 210$
- oriëntatie hoofdgevel: oost/west georiënteerd
- totaal raamoppervlak: $A_{raam} = 1200 \text{ m}^2$ (op beide gevels 600 m^2) waarvan 75% glas
- luchtdoorlatendheid: $q_{v,10} = 2127 \text{ dm}^3/\text{s}$ ($q_{v,10}/A_g = 0,30$)

Beschrijving van de kantoormodulen

Het gebouw omvat 210 kantoormodulen, verdeeld over 7 verdiepingen en over 2 oriëntaties, met andere woorden 15 modules per verdieping op elk van de 2 oriëntaties.

De afmetingen van een moduul staan weergegeven in figuur 6.2 (afmetingen hart-op-hart): $3,50 \times 3,26 \times 5,80 \text{ m}$. De inwendige maten zijn $3,4 \times 2,7 \times 5,50 \text{ m}$.

De trappenhuisen zijn uitwendig 6,5 meter breed en 14,8 m diep. De inwendige maten zijn 6,25 m breed 14,3 m diep. De hoogte is 2,85 m.

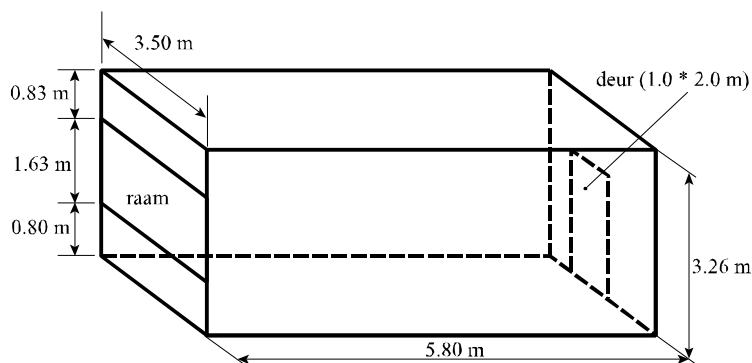


Fig. 6.2 Afmetingen van een kantormoduul.

De kantoor vertrekken zijn voorzien van verlaagde plafonds. Gekozen wordt voor de forfaitaire methode. Dit wil zeggen dat de verlaagde plafonds verwaarloosd worden. De cursief weergegeven lagen van de constructies worden niet meegenomen bij het bepalen van de U -waarde.

Gegevens over de warmteweerstand van de scheidingsconstructies:

Dak

Buitenzijde	d	λ	ρ
Dakbedekking	0,012	0,300	1200
Steenwol	0,092	0,040	50
Kanaalplaatvloer	0,300	1,800	2200
<i>Spouw/plenum</i>	<i>0,300 (R = 0,17)</i>		
<i>Verlaagd plafond</i>	<i>0,020</i>	<i>0,040</i>	<i>120</i>

Binnenzijde

De U -waarde bedraagt 0,39 W/(m²·K).

Vloeren

Beganegrond vloer

Bovenzijde	d	λ	ρ
Afwerkvloer	0,060	1,500	2000
Isolatie EPS	0,088	0,038	50
Betonvloer	0,250	1,800	2200

Onderzijde

De U -waarde bedraagt 0,39 W/(m²·K).

Tussenvloer

Bovenzijde	d	λ	ρ
Tapijt	0,010	0,170	1200
Afwerklaag	0,020	1,30	1200
Beton	0,200	1,900	2500
<i>Spouw/plenum</i>	<i>0,300 (R = 0,17)</i>		
<i>Verlaagd plafond</i>	<i>0,020</i>	<i>0,040</i>	<i>120</i>

Onderzijde

De U -waarde bedraagt 2,43 W/(m²·K).

Buitengevel

Buitenzijde	d	λ	ρ
Baksteen	0,100	1,000	1900
Luchtsponw	0,050 (R = 0,17)		
Minerale wol	0,070	0,035	35
Kalkzandsteen	0,214	1,000	2000

Binnenzijde

De U -waarde bedraagt 0,40 W/(m²·K).

Ramen

Het raamsysteem (kozijn + beglazing) omvat 5,71 m² per kantoormoduul en loopt over de gehele breedte van het kantoormoduul. Het raamsysteem is opgebouwd uit een glasoppervlak van 4,29 m² (75 %) en een kozijnoppervlak (verticale projectie) van 1,42 m² (25%).

- beglazing : $U = 1,5 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$
- kozijn: $U = 2,4 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$

Uit tabel 2.5 volgt voor raam + Kozijn: $U = 1,95 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$.

Binnenwanden

Binnenzijde	d	λ	ρ
Gipsplaat	0,015	0,250	800
Isolatie	0,070	0,035	35
Gipsplaat	0,015	0,250	800
Binnenzijde			

De U -waarde bedraagt 0,44 W/(m²·K).

De deuren naar de verkeersruimte zijn geïsoleerde deuren met $U = 2,0 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$

Overige gegevens

Het gebouw is mechanisch geventileerd (50 m³/h per persoon) en voorzien van WTW met 80% rendement. Uitgegaan wordt van 2 personen per vertrek.

Voor de luchtdichtheid van het gebouw geldt een $q_{v,10 \text{ kar}}$ van 0,30 dm³/(s·m² gebruiksoopp.).

Voor het berekenen van het warmteverlies door uitwendige scheidingsconstructies wordt uitgegaan van de forfaitaire methode bij het in rekening brengen van de lineaire thermische bruggen.

De ontwerpbinntemperatuur van de kantoorvertrekken volgt uit tabel 2.1 en is 20 °C.

De ontwerpbinntemperatuur van de verkeersruimte tussen de kantoormodulen is 20 °C.

De ontwerpbinntemperatuur van de trappenhuizen is 15 °C.

Werktijd : 5 dagen per week en 10 uur per dag (08.00-18.00 uur).

De minimum nachttemperatuur is 10 °C.

Na een weekend is de maximale opwarmtijd 4 uur en doordeweeks is de toegestane opwarmtijd maximaal 3 uur.

De vertrekken worden verwarmd m.b.v. HT-radiatoren met thermostatische afsluiters.

Voor het bepalen van het warmteverlies van het gebouw moeten de volgende kantoormodulen beschouwd worden:

- beganegrondmodulen : een tussenmoduul en een hoekmoduul (grenzend aan het trappenhuis);
- verdiepingsmodulen: een tussenmoduul en een hoekmoduul (grenzend aan het trappenhuis);
- dakmodulen: een tussenmoduul en een hoekmoduul (grenzend aan het trappenhuis).

Beganegrondmoduul; tussenmoduul

Het benodigde vermogen voor het verwarmen van een ruimte bestaat uit 3 delen:

- transmissiewarmteverlies Φ_t ;
- warmteverlies door buitenluchttoetreding Φ_v ;
- in rekening te brengen toeslag voor bedrijfsbeperking Φ_o .

Het transmissiewarmteverlies Φ_t volgt uit:

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

- Het verlies door de buitenwanden $H_{t,ie}$ volgt uit (4.3a):

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

Ingevuld wordt dit:

$$\text{Buitenwand: } A_k \cdot U_k \cdot f_k = 5,70 \cdot (0,4 + 0,1) \cdot 1 = 2,85$$

$$\text{Raam: } A_k \cdot U_k \cdot f_k = 5,71 \cdot (1,95 + 0,1) \cdot 1 = 11,71$$

$$H_{t,ie} = 14,56 \text{ W/K}$$

- Het warmteverlies naar aangrenzende verwarmde ruimten $H_{t,ia}$ volgt uit (4.9):

$$H_{t,ia} = \sum_k (A_k \cdot U_k \cdot f_{iak})$$

Ingevuld wordt dit:

$$\text{vertrek rechts: } A_k \cdot U_k \cdot f_{iak} = 18,90 \cdot 0,44 \cdot 0 = 0$$

$$\text{vertrek links: } A_k \cdot U_k \cdot f_{iak} = 18,90 \cdot 0,44 \cdot 0 = 0$$

$$\text{vertrek boven: } A_k \cdot U_k \cdot f_{iak} = 18,7 \cdot 2,43 \cdot 0,133 = 6,04$$

$$\text{verkeersruimte wand } A_k \cdot U_k \cdot f_{iak} = 9,41 \cdot 0,85 \cdot 0 = 0,00$$

$$\text{verkeersruimte deur } A_k \cdot U_k \cdot f_{iak} = 2,0 \cdot 2,0 \cdot 0 = 0,00$$

$$H_{t,ia} = 6,04 \text{ W/K}$$

toelichting op bepaling f_{iak} :

$$\text{voor de naastgelegen vertrekken: } f_{iak} = \frac{20 - 20}{20 - (-10)} = 0$$

$$\text{voor het plafond: } f_{iak} = \frac{(\theta_i + \Delta\theta_1) - (\theta_a + \Delta\theta_{a2})}{\theta_i - \theta_e} = \frac{(20 + 3) - (20 + (-1))}{20 - (-10)} = 0,133$$

- Het warmteverlies naar onverwarmde ruimten $H_{t,io} = 0$ (geen aangrenzende onverwarmde ruimten).
- Het warmteverlies naar aangrenzend gebouw $H_{t,ib} = 0$ (vrijstaand kantoorgebouw).
- Het warmteverlies naar de grond $H_{t,ig}$ volgt uit (4.21):

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

$$\text{met } f_{g2} = \frac{(\theta_i + \Delta\theta_2) - \theta_{me}}{\theta_i - \theta_e} = \frac{(20 + (-1)) - 9}{20 - (-10)} = 0,333$$

$G_w = 1$ (grondwater meer dan 1 meter onder het maaiveld)

$U = 0,39$ en $B' = 2A_v/O = 12,07$ (moet bepaald worden voor het gehele gebouw).

Uit figuur 4.3 volgt: $U_{e,k} = 0,18 \text{ W/(m}^2 \cdot \text{K)}$.

$$H_{t,ig} = 1,45 \cdot 0,333 \cdot 1 \cdot 18,7 \cdot 0,18 = 1,63 \text{ W/K}$$

Het transmissiewarmteverlies Φ_t volgt uit:

$$\Phi_t = (H_{t,ie} + H_{t,ia} + H_{t,io} + H_{t,ib} + H_{t,ig}) \cdot (\theta_i - \theta_e) = (14,56 + 6,04 + 0 + 0 + 1,63) \cdot (20 - (-10)) = 670 \text{ W}$$

Het warmteverlies door buitenluchtoetreding Φ , wordt bepaald door :

- infiltratie;
- ventilatie;
- ventilatie-eisen;
- type ventilatiesysteem.

Het infiltratiewarmteverlies Φ_i volgt uit (4.23):

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

$$\text{met } H_i = q_i \cdot 1200 \cdot A_u \cdot f_v \quad [\text{W/K}]$$

voor f_v geldt $f_v = 1$ (uit tabel 2.2 volgt $\Delta\theta_v = 0$).

De hoogte van het gebouw is 19,65 meter (22,8 - 3,25 = hoogste van de verdiepingvloer). Hoogte dus 20 m voor infiltratieberekening (afronden op hele meters).

Uit tabel 4.3 volgt dat $q_i = 0,00077 \text{ m}^3/(\text{s} \cdot \text{m}^2_{\text{gevelopp}}) = 0,00077 \cdot 11,41 = 0,0088 \text{ m}^3/\text{s}$

Ingevuld wordt $H_i = 0,0088 \cdot 1200 \cdot 1 = 10,55 \text{ W/K}$

Hieruit volgt $\Phi_i = 10,55 \cdot (20 - (-10)) = 316 \text{ W}$

Het ventilatiewarmteverlies Φ_{vent} volgt uit (4.28):

$$\Phi_{vent} = H_v \cdot (\theta_i - \theta_e) \quad [\text{W}]$$

$$\text{met } H_v = q_v \cdot 1200 \cdot A_{vl} \cdot f_v$$

[W/K]

Het ventilatie-debiet $q_v = 100 \text{ m}^3/\text{h} = 27,8 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3/\text{s}$ (is gegeven).

De vloeroppervlakte van de kantoor-module is $5,5 \cdot 3,4 = 18,7 \text{ m}^2$. De bezetting 2 personen per kantoor-module. Per persoon is er dus $9,35 \text{ m}^2$ beschikbaar. Uit tabel 4.6 volgt de bezettingsgraad: B4.

Uit tabel 4.5 volgt de ventilatie-eis volgens het Bouwbesluit: $1,3 \cdot 10^{-3} \cdot 18,7 = 24,31 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3/\text{s}$.

Het gegeven ventilatie-debiet is groter dan het door het Bouwbesluit vereiste minimale debiet en voldoet dus.

Voor de temperatuur correctiefactor f_v geldt:

$$f_v = \frac{\theta_i + \Delta\theta_v - \theta_i}{\theta_i - \theta_e}$$

waarin: θ_i = ontwerp binnentemperatuur = $20 \text{ }^\circ\text{C}$

θ_e = ontwerp buitentemperatuur = $-10 \text{ }^\circ\text{C}$

θ_t = toevoertemperatuur ventilatielucht na WTW-unit met een rendement van 0,8 (80%).
uit bijlage C volgt $\theta_t = \eta_\theta \cdot (\theta_r - \theta_e) + \theta_e = 0,8 \cdot (20 - (-10)) - 10 = 14 \text{ }^\circ\text{C}$.

$\Delta\theta_v$ = temperatuurcorrectie voor stralingsinvloeden volgens tabel 2.2 = 0 K (HT-radiatoren).

Hieruit volgt $f_v = 0,2$.

$$H_v = 27,8 \cdot 10^{-3} \cdot 1200 \cdot 0,2 = 6,672 \text{ W/K}$$

$$\text{Het ventilatieverlies van een module} = \Phi_{vent} = H_v \cdot (\theta_i - \theta_e) = 200 \text{ W}$$

Uit (4.32) volgt dat het totale warmteverlies door buitenluchttoetreding gelijk is aan $\Phi_i + \Phi_{vent} = 516 \text{ W}$.

Bedrijfsbeperking

Er is sprake van een werkweek van 5 dagen met een werktijd van 10 uur per dag.

De minimum nachttemperatuur is 10 graden .

De kantoor-modulen zijn voorzien van thermostatische afsluiters = regeling per vertrek.

Met bijlage E moet nagegaan worden wat de te verwachten afkoeling is.

De berekening moet worden uitgevoerd op gebouwniveau.

$$\Delta\theta = (\theta_i - \theta_e) - (\theta_i - \theta_e) \cdot e^{-t/\tau} \quad [^\circ\text{C}]$$

waarin: t = tijd van afkoeling = $58 \cdot 3600 = 208800 \text{ s}$ (na een weekend)

θ_i = ontwerp binnentemperatuur = $20 \text{ }^\circ\text{C}$

θ_e = ontwerp buitentemperatuur = $-10 \text{ }^\circ\text{C}$

τ = tijdconstante

Bepaling van τ

Uit (E.5) volgt: $\tau = C_\tau / H_\tau$

Uit (E.2) volgt:

$$H_\tau = \Sigma H_{t,ie} + \Sigma H_{t,ib} + \Sigma H_{t,io} + \Sigma H_{t,ig} + H_i$$

$$A_{gevel} = 14,8 \cdot 22,8 \cdot 2 + 2 \cdot (65,5 \cdot 22,8 - 600) = 2461,7 \text{ m}^2 \text{ (oppervlak exclusief glas)}$$

$$A_{dak} = A_{vloer} = 65,5 \cdot 14,8 = 969,4 \text{ m}^2$$

$$H_{t,ie} = 2461,7 \cdot (0,4+0,1) \cdot 1 + 1200 \cdot (1,95+0,1) \cdot 1 + 969,4 \cdot (0,39+0,1) \cdot 1 = 4165,9 \text{ W/K}$$

$$H_{t,ig} = 1,45 \cdot 0,333 \cdot 1 \cdot 969,4 \cdot 0,18 = 84,3 \text{ W/K}$$

$$H_{t,io} = 0 \text{ W/K}$$

$$H_{t,ib} = 0 \text{ W/K}$$

$$H_i = 0,00073 \cdot (14,8 \cdot 22,8 \cdot 2 + 65,5 \cdot 22,8 \cdot 2) \cdot 1200 = 3207,6 \text{ W/K}$$

Hieruit volgt: $H_\tau = 7456,9 \text{ W/K}$

Uit (E.4) volgt:

$C_\tau = 0,7 \cdot C_{inwendig} + 0,5 \cdot C_{schil}$
 met $C_{schil} = \Sigma C_{constr}$ over alle uitwendige scheidingsconstructies;
 $C_{inwendig} = \Sigma(C_{inv})$ over alle inwendige constructiedelen.

$$C_{constr} = \sum_{i=1}^{\text{allelagen}} (d_i \cdot A_i \cdot \rho \cdot c_p) \quad [\text{J/K}]$$

waarin: d_i = thermisch effectieve dikte; bij steenachtige constructies
 200 mm (echter nooit meer dan de helft van de totale
 dikte); bij gelaagde constructies de dikte van het binnenblad
 (tot de isolatie) en wel tot een maximum van 200 mm [m]
 A_i = oppervlakte van het betreffende vlak [m²]
 ρ = dichtheid van het materiaal [kg/m³]
 c_p = soortelijke warmte [J/(kg·K)]

Voor de buitenwand geldt: $C_{constr} = (d_i \cdot A_i \cdot \rho \cdot c_p) = 0,2 \cdot 1261,8 \cdot 2000 \cdot 840 = 423964800 \text{ J/K}$

Voor het dak geldt: $C_{constr} = (d_i \cdot A_i \cdot \rho \cdot c_p) = 0,2 \cdot 969,4 \cdot 2200 \cdot 840 = 358290240 \text{ J/K}$

Voor de (BG) vloer geldt: $C_{constr} = (d_i \cdot A_i \cdot \rho \cdot c_p) = 0,06 \cdot 969,4 \cdot 2000 \cdot 840 = 97715520 \text{ J/K}$

Hieruit volgt: $C_{schil} = 879970560 \text{ J/K}$

De oppervlakte van binnenwanden en tussenvloeren/plafonds geldt:

tussenwanden:

per verdieping zijn er 32 wanden tussen de vertrekken onderling (tellen elk 2 keer mee): $2 \cdot 32 \cdot 18,9 = 1209,6 \text{ m}^2$

per verdieping zijn er 30 wanden naar de verkeersruimte (tellen elk 2 keer mee): $2 \cdot 30 \cdot 11,4 = 684 \text{ m}^2$

totaal 7 verdiepingen: $13255,2 \text{ m}^2$

plafonds/tussenvloeren:

er zijn 6 lagen tussen de verdiepingen (kantoren + trappenhuis):

oppervlakte: $6 \cdot 2 \cdot (30 \cdot 5,8 \cdot 3,5 + 89,37) = 8380,4 \text{ m}^2$

Voor de binnenwanden geldt: $C_{constr} = d_i \cdot A_i \cdot \rho \cdot c_p = 0,015 \cdot 13255,2 \cdot 800 \cdot 840 = 133612416 \text{ J/K}$

Voor het plafond/tussenvloeren geldt: $C_{constr} = d_i \cdot A_i \cdot \rho \cdot c_p = 0,1 \cdot 8380,4 \cdot 2500 \cdot 840 = 1759884000 \text{ J/K}$

Voor de afwerklaag (vloerzijde) geldt: $C_{constr} = d_i \cdot A_i \cdot \rho \cdot c_p = 0,02 \cdot 4190,2 \cdot 1200 \cdot 840 = 84474432 \text{ J/K}$

Hieruit volgt $C_{inwendig} = 1977970848 \text{ J/K}$

$C_\tau = 0,7 \cdot C_{inwendig} + 0,5 \cdot C_{schil} = 0,7 \cdot 1977970848 + 0,5 \cdot 879970560 = 1824564873 \text{ J/K}$

$\tau = C_\tau / H_\tau = 1824564873 / 7456,9 = 244681 \text{ s}$ (ongeveer 68 uur)

De afkoeling na een weekend volgt uit:

$\Delta\theta = (\theta_i - \theta_e) - (\theta_i - \theta_e) \cdot e^{-t/\tau} = (20 - (-10)) - (20 - (-10)) \cdot e^{-208800/244681} = 17,2 \text{ K}$ (dit is groter dan de ingestelde verla-
 gering van 10 K).

De afkoeling na een nacht volgt uit:

$\Delta\theta = (\theta_i - \theta_e) - (\theta_i - \theta_e) \cdot e^{-t/\tau} = (20 - (-10)) - (20 - (-10)) \cdot e^{-39600/244681} = 4,5 \text{ K}$ (dit is minder dan de ingestelde verla-
 gering van 10 K).

Bepalen van de SWM-waarde:

Zie tabel in E.2 voor richtwaarden:

vloer en plafond van beton en lichte wanden;

licht gebouw	Vloer en plafond van beton, de binnenwanden en de binnenzijde van de gevel voor- zien van isolatie met een afwerklaag ($SWM^* \leq 65 \text{ kg/m}^2$).
middelzwaar gebouw	Vloer, plafond en de binnenzijde van de gevel van beton, de binnenwanden voorzien van isolatie met een afwerklaag ($65 \text{ kg/m}^2 < SWM^* < 100 \text{ kg/m}^2$).
zwaar gebouw	Vloer en plafond van beton, de wanden van beton of metselwerk ($SWM^* \geq 100$ kg/m^2).

Het betreft dus een licht gebouw ($SWM < 65 \text{ kg/m}^2$).

Uit figuur E.2 volgt dat de specifieke toeslag voor bedrijfsbeperking 5 W/m^2 is na een meerdaagse bedrijfsbeperking. Bij een toeslag van 5 W/m^2 zal bij dagelijkse beperking de opwarming sneller geschieden dan de toegestane 3 uur (ca. 1 uur).

Uit (4.33) volgt: $\Phi_{op} = P \cdot (A_a + A_{massa})$

$A_{massa} = 0$ (het betreft een kantoorgebouw)

A_a = accumulerend oppervlak: $5,7 + 18,7 + 0,7 \cdot 18,7 = 37,49 \text{ m}^2$ (buitengevel, plafond en $0,7 \cdot$ vloer)

Hieruit volgt: $\Phi_{op} = 187,5 \text{ W}$

Uit 4.37 volgt: $\Phi_o = \Phi_{op} - a \cdot H_v \cdot (\theta_i - \theta_e) = 187,5 - 200 \Rightarrow 0 \text{ W}$ (indien $< 0 \text{ W}$ dan 0 W)

Totaal in het vertrek te installeren: $\Phi_t + \Phi_v + \Phi_o = 670 + 516 + 0 = 1186 \text{ W}$

Verdiepingsmoduul, tussenmoduul

Voor een verdiepingsmoduul/ tussenmoduul geldt voor het grootste deel hetzelfde als voor het uitgebreid behandelde beganegrond tussenmoduul. Hier wordt alleen ingegaan op de verschillen; waarden die hetzelfde zijn worden overgenomen.

Het transmissiewarmteverlies Φ_t volgt uit:

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

Aangezien het een verdiepingsmoduul betreft geldt nu $H_{t,ig} = 0$.

Bij $H_{t,ia}$ moet nu de verdiepingvloer ook in rekening gebracht worden.

Voor de verdiepingvloer geldt: $A_k \cdot U_k \cdot f_{iak} = 18,7 \cdot 2,43 \cdot (-0,133) = -6,04$

$$\text{met: } f_{iak} = \frac{(\theta_i + \Delta\theta_2) - (\theta_a + \Delta\theta_{al})}{\theta_i - \theta_e} = \frac{(20 + (-1)) - (20 + 3)}{20 - (-10)} = -0,133$$

De overige bijdragen aan $H_{t,ia}$ zijn ongewijzigd.

Gesommeerd wordt $H_{t,ia} = 0$.

Het transmissiewarmteverlies Φ_t volgt uit:

$$\Phi_t = (H_{t,ie} + H_{t,ia} + H_{t,io} + H_{t,ib} + H_{t,ig}) \cdot (\theta_i - \theta_e) = (14,56 + 0 + 0 + 0 + 0) \cdot (20 - (-10)) = 437 \text{ W}$$

Het warmteverlies door buitenluchtoetreding wijzigt niet.

Ook de toeslag voor bedrijfsbeperking wijzigt niet.

Het totaal op te stellen vermogen per verdiepingstussenmoduul:

$$\Phi_t + \Phi_v + \Phi_o = 437 + 516 + 0 = 953 \text{ W}$$

Dakmoduul, tussenmoduul

Voor een dakmoduul, tussenmoduul geldt voor het grootste deel hetzelfde als voor het uitgebreid behandelde beganegrond tussenmoduul. Hier wordt alleen ingegaan op de verschillen; waarden die hetzelfde zijn worden overgenomen.

Het transmissiewarmteverlies Φ_t volgt uit:

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

$H_{t,ie}$ moet uitgebreid worden met het plafond/dak:

$H_{t,ie} = (A_k \cdot (U_k + 0,1) \cdot f_k) = 18,7 \cdot (0,39 + 0,1) \cdot 1,1 = 10,08$

$$f_k = \frac{(\theta_i + \Delta\theta_1) - \theta_e}{\theta_i - \theta_e} = \frac{((20 + 3) - (-10))}{20 - (-10)} = 1,1$$

Gesommeerd over alle vlakken wordt $H_{t,ie} = 2,85 + 11,71 + 10,08 = 24,64$

Bij $H_{t,ia}$ moet nu wel de verdiepingvloer ook in rekening gebracht worden, maar niet meer het plafond.

Voor de verdiepingvloer geldt: $A_k \cdot U_k \cdot f_{iak} = 18,7 \cdot 2,43 \cdot -0,133 = -6,04$

$$\text{met: } f_{iak} = \frac{(\theta_i + \Delta\theta_2) - (\theta_a + \Delta\theta_{a1})}{\theta_i - \theta_e} = \frac{(20 + (-1)) - (20 + 3)}{20 - (-10)} = -0,133$$

Gesommeerd over alle vlakken wordt $H_{t,ia} = -6,04$

Aangezien het een verdiepingsmoduul betreft geldt nu $H_{t,ig} = 0$.

Het transmissiewarmteverlies Φ_t volgt uit:

$$\Phi_t = (H_{t,ie} + H_{t,ia} + H_{t,io} + H_{t,ib} + H_{t,ig}) \cdot (\theta_i - \theta_e) = (26,64 + -6,04 + 0 + 0 + 0) \cdot (20 - (-10)) = 558 \text{ W}$$

Het warmteverlies door buitenluchttoetreding wijzigt niet.

Ook de toeslag voor bedrijfsbeperking wijzigt niet.

Het totaal op te stellen vermogen per dak tussenmoduul:

$$\Phi_t + \Phi_v + \Phi_o = 558 + 516 + 0 = 1074 \text{ W}$$

Begane grond, randmodule

Voor een begane grond randmoduul geldt voor het grootste deel hetzelfde als voor het uitgebreid behandelde begane grond tussenmoduul. Hier wordt alleen ingegaan op de verschillen; waarden die hetzelfde zijn worden overgenomen.

Het transmissiewarmteverlies Φ_t volgt uit:

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

$H_{t,ia}$ verandert omdat een wand niet meer aan een andere kantoormodule grenst maar aan het trappenhuis.

$$H_{t,ia} = \sum_k (A_k \cdot U_k \cdot f_{iak})$$

Ingevuld wordt dit:

$$\begin{aligned} \text{vertrek rechts: } A_k \cdot U_k \cdot f_{iak} &= 18,9 \cdot 0,44 \cdot 0 &= 0 \\ \text{naar verkeersruimte: } A_k \cdot U_k \cdot f_{iak} &= 11,4 \cdot 0,44 \cdot 0 &= 0 \\ \text{vertrek boven: } A_k \cdot U_k \cdot f_{iak} &= 18,7 \cdot 2,43 \cdot 0,133 &= 6,04 \\ \text{trappenhuis: } A_k \cdot U_k \cdot f_{iak} &= 18,9 \cdot 0,44 \cdot 0,167 &= \underline{1,39} \\ & & H_{t,ia} = 7,43 \text{ W/K} \end{aligned}$$

Verder wijzigt er niets voor het bepalen van het transmissiewarmteverlies.

Het transmissiewarmteverlies Φ_t volgt uit:

$$\Phi_t = (H_{t,ie} + H_{t,ia} + H_{t,io} + H_{t,ib} + H_{t,ig}) \cdot (\theta_i - \theta_e) = (14,56 + 7,43 + 0 + 0 + 1,63) \cdot (20 - (-10)) = 709 \text{ W}$$

Het warmteverlies door buitenluchttoetreding wijzigt niet.

Ook de toeslag voor bedrijfsbeperking wijzigt niet.

Het totaal op te stellen vermogen per begane grond randmoduul:

$$\Phi_t + \Phi_v + \Phi_o = 709 + 516 + 0 = 1225 \text{ W}$$

Verdiepingsrandmodule

Voor een verdiepingsrandmoduul geldt voor het grootste deel hetzelfde als voor het uitgebreid behandelde begane grond tussenmoduul. Hier wordt alleen ingegaan op de verschillen; waarden die hetzelfde zijn worden overgenomen.

Het transmissiewarmteverlies Φ_t volgt uit:

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

$H_{t,ia}$ verandert omdat een wand niet meer aan een andere kantoormodule grenst maar aan het trappenhuis (verkeersruimte) en de vloer is nu een verdiepingsvloer i.p.v. begane grondvloer.

$$H_{t,ia} = \sum_k (A_k \cdot U_k \cdot f_{iak})$$

Ingevuld wordt dit:

$$\begin{aligned} \text{vertrek rechts: } A_k \cdot U_k \cdot f_{iak} &= 18,9 \cdot 0,44 \cdot 0 &= 0 \\ \text{naar trappenhuis: } A_k \cdot U_k \cdot f_{iak} &= 18,9 \cdot 0,44 \cdot 0,167 &= 1,39 \\ \text{vertrek boven: } A_k \cdot U_k \cdot f_{iak} &= 18,7 \cdot 2,43 \cdot 0,133 &= 6,04 \\ \text{verkeersruimte } A_k \cdot U_k \cdot f_{iak} &= 9,18 \cdot 0,42 \cdot 0 &= 0 \\ \text{verdiepingsvloer geldt: } A_k \cdot U_k \cdot f_{iak} &= 18,7 \cdot 2,43 \cdot -0,133 &= \underline{-6,04} \\ & & H_{t,ia} = 1,39 \text{ W/K} \end{aligned}$$

Aangezien het een verdiepingsmodule betreft geldt nu $H_{t,ig} = 0$.

Het transmissiewarmteverlies Φ_t volgt uit:

$$\Phi_t = (H_{t,ie} + H_{t,ia} + H_{t,io} + H_{t,ib} + H_{t,ig}) \cdot (\theta_i - \theta_e) = (14,56 + 1,39 + 0 + 0 + 0) \cdot (20 - (-10)) = 479 \text{ W}$$

Het warmteverlies door buitenluchtoetreding wijzigt niet.

Ook de toeslag voor bedrijfsbeperking wijzigt niet.

Het totaal op te stellen vermogen per dak tussenmodule:

$$\Phi_t + \Phi_v + \Phi_o = 479 + 516 + 0 = 995 \text{ W}$$

Dak, randmodule

Voor een begane dakrandmodule geldt voor het grootste deel hetzelfde als voor het uitgebreid behandelde begane grond tussenmodule. Hier wordt alleen ingegaan op de verschillen; waarden die hetzelfde zijn worden overgenomen.

Het transmissiewarmteverlies Φ_t volgt uit:

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

$H_{t,ie}$ moet uitgebreid worden met het plafond/dak:

$$H_{t,ie} = (A_k \cdot (U_k + 0,1) \cdot f_k) = 18,7 \cdot (0,39 + 0,1) \cdot 1,1 = 10,07$$

$$f_k = \frac{(\theta_i + \Delta\theta_1) - \theta_e}{\theta_i - \theta_e} = \frac{((20 + 3) - (-10))}{20 - (-10)} = 1,1$$

Gesommeerd over alle vlakken wordt $H_{t,ie} = 2,85 + 11,71 + 10,07 = 24,63$.

$H_{t,ia}$ verandert omdat een wand niet meer aan een andere kantoormodule grenst maar aan het trappenhuis (verkeersruimte), de vloer is nu een verdiepingsvloer i.p.v. begane grondvloer.

$$H_{t,ia} = \sum_k (A_k \cdot U_k \cdot f_{iak})$$

Ingevuld wordt dit:

vertrek rechts: $A_k \cdot U_k \cdot f_{iak} = 18,9 \cdot 0,44 \cdot 0$	= 0
naar trappenhuis: $A_k \cdot U_k \cdot f_{iak} = 18,9 \cdot 0,44 \cdot 0,167$	= 1,39
naar verkeersruimte $A_k \cdot U_k \cdot f_{iak} = 11,41 \cdot 0,44 \cdot 0$	= 0
verdiepingsvloer geldt: $A_k \cdot U_k \cdot f_{iak} = 18,7 \cdot 2,43 \cdot -0,133$	= <u>-6,04</u>
	$H_{t,ia} = -4,65 \text{ W/K}$

Aangezien het een verdiepingsmodule betreft geldt nu $H_{t,ig} = 0$.

Het transmissiewarmteverlies Φ_t volgt uit:

$$\Phi_t = (H_{t,ie} + H_{t,ia} + H_{t,io} + H_{t,ib} + H_{t,ig}) \cdot (\theta_i - \theta_e) = (24,63 + -4,65 + 0 + 0 + 0) \cdot (20 - (-10)) = 599 \text{ W}$$

Het warmteverlies door buitenluchtoetreding wijzigt niet.

Ook de toeslag voor bedrijfsbeperking wijzigt niet.

Het totaal op te stellen vermogen per dak tussenmodule:

$$\Phi_t + \Phi_v + \Phi_o = 599 + 516 + 0 = 1115 \text{ W}$$

Alle kantoormodules zijn nu berekend. Nu moeten de verkeersruimten nog berekend worden. Hiervoor geldt dat er drie verschillende modules zijn voor de trappenhuisen.

De verkeersruimten tussen de kantoormodules hoeven niet verwarmd te worden.

Trappenhuis; begane grond

Het transmissiewarmteverlies Φ_t volgt uit:

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

– Het verlies door de buitenwanden $H_{t,ie}$ volgt uit (4.3):

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

Ingevuld wordt dit:

$$\text{totaal oppervlak: } (6,25 + 14,3 + 6,25) \cdot 2,85 = 76,38$$

buitenwanden: $H_{t,ie} = A_k \cdot U_k \cdot f_k = 76,38 \cdot (0,40+0,1) \cdot 1 = 38,19$

- Het warmteverlies naar aangrenzende verwarmde ruimten $H_{t,ia}$ volgt uit (4.9):

$$H_{t,ia} = \sum_k (A_k \cdot U_k \cdot f_{iak})$$

Ingevuld wordt dit:

$$\text{naar kantoormodule: } A_k \cdot U_k \cdot f_{iak} = 18,9 \cdot 0,44 \cdot -0,2 = -1,66$$

$$\text{naar bovenverdieping } A_k \cdot U_k \cdot f_{iak} = 89,37 \cdot 2,43 \cdot 0,16 = 34,74$$

$$H_{t,ia} = 33,08$$

- Het warmteverlies naar onverwarmde ruimten $H_{t,io} = 0$ (geen aangrenzende onverwarmde ruimten).

- Het warmteverlies naar aangrenzend gebouw $H_{t,ib} = 0$ (vrijstaand kantoorgebouw).

- Het warmteverlies naar de grond $H_{t,ig}$ volgt uit (4.21):

$$H_{t,ig} = 1,45 \cdot f_{g2} \cdot G_w \cdot \sum_k (A_k \cdot U_{e,k}) \quad [\text{W/K}]$$

$$\text{met } f_{g2} = \frac{(\theta_i + \Delta\theta_2) - \theta_{me}}{\theta_i - \theta_e} = \frac{(15 + (-1)) - 9}{15 - (-10)} = 0,2$$

$G_w = 1$ (grondwater meer dan 1 meter onder het maaiveld)

$U = 0,39$ en $B' = 2A_{vl}/O = 6,04$. Uit figuur 4.3 volgt: $U_{e,k} = 0,16 \text{ W/(m}^2 \cdot \text{K)}$.

$$H_{t,ig} = 1,45 \cdot 0,2 \cdot 1 \cdot 89,37 \cdot 0,16 = 4,66 \text{ W/K}$$

Het transmissiewarmteverlies Φ_t volgt uit:

$$\Phi_t = (H_{t,ie} + H_{t,ia} + H_{t,io} + H_{t,ib} + H_{t,ig}) \cdot (\theta_i - \theta_e) = (38,19 + 33,08 + 0 + 0 + 4,66) \cdot (15 - (-10)) = 1898 \text{ W}$$

Het warmteverlies door buitenluchtoetreding Φ_v

Het infiltratiewarmteverlies Φ_i volgt uit (4.23):

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

$$\text{met } H_i = q_i \cdot 1200 \cdot A_u \cdot f_v \quad [\text{W/K}]$$

voor f_v geldt $f_v = 1$ (uit tabel 2.2 volgt $\Delta\theta_v = 0$).

Uit tabel 4.2 volgt dat $q_i = 0,00077 \text{ m}^3/(\text{s} \cdot \text{m}^2_{\text{gevelopp}}) = 0,00077 \cdot 76,38 = 0,059 \text{ m}^3/\text{s}$.

Ingevuld wordt $H_i = 0,00077 \cdot 1200 \cdot 76,38 \cdot 1 = 70,58 \text{ W/K}$.

Hieruit volgt $\Phi_i = 70,58 \cdot (15 - (-10)) = 1765 \text{ W}$.

In de verkeersruimte (trappenhuis) is geen mechanische ventilatie aanwezig.

Bedrijfsbeperking

Voor het trappenhuis is er geen bedrijfsbeperking.

Het totaal op te stellen vermogen per trappenhuis op de begane grond:

$$\Phi_t + \Phi_v + \Phi_o = 1898 + 1765 + 0 = 3663 \text{ W}$$

Trappenhuis; tussenverdieping

Voor het trappenhuis van een tussenverdieping geldt voor het grootste deel hetzelfde als voor het uitgebreid behandelde begane grond trappenhuis. Hier wordt alleen ingegaan op de verschillen; waarden die hetzelfde zijn worden overgenomen.

Het transmissiewarmteverlies Φ_t volgt uit:

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

Aangezien het een verdiepingsmoduul betreft geldt nu $H_{t,ig} = 0$.

Bij $H_{t,ia}$ moet nu de verdiepingsvloer ook in rekening gebracht worden:

$$A_k \cdot U_k \cdot f_{iak} = 89,37 \cdot 2,43 \cdot -0,16 = -34,74$$

$$\text{met: } f_{iak} = \frac{(\theta_i + \Delta\theta_2) - (\theta_a + \Delta\theta_{a1})}{\theta_i - \theta_e} = \frac{(15 + (-1)) - (15 + 3)}{15 - (-10)} = -0,16$$

De overige bijdragen aan $H_{t,ia}$ zijn ongewijzigd.
Gesommeerd wordt $H_{t,ia} = -1,66$

Het transmissiewarmteverlies Φ_t volgt uit:

$$\Phi_t = (H_{t,ie} + H_{t,ia} + H_{t,io} + H_{t,ib} + H_{t,ig}) \cdot (\theta_i - \theta_e) = (38,19 + -1,66 + 0 + 0 + 0) \cdot (15 - (-10)) = 913 \text{ W}$$

Het warmteverlies door buitenluchttoetreding wijzigt niet.
Ook de toeslag voor bedrijfsbeperking wijzigt niet.

Het totaal op te stellen vermogen per trappenhuis op de tussenverdiepingen:

$$\Phi_t + \Phi_v + \Phi_o = 913 + 1765 + 0 = 2678 \text{ W}$$

Trappenhuis; dakverdieping

Voor het trappenhuis van een dakverdieping geldt voor het grootste deel hetzelfde als voor het uitgebreid behandelde begane grond trappenhuis. Hier wordt alleen ingegaan op de verschillen; waarden die hetzelfde zijn worden overgenomen.

Het transmissiewarmteverlies Φ_t volgt uit:

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

$H_{t,ie}$ moet uitgebreid worden met het dak.

Hiervoor geldt:

$$H_{t,ie} = (A_k \cdot (U_k + 0,1) \cdot f_k) = 89,38 \cdot (0,39 + 0,1) \cdot 1,12 = 49,05 \text{ W/K}$$

$$f_k = \frac{(\theta_i + \Delta\theta_1) - \theta_e}{\theta_i - \theta_e} = \frac{(15 + 3) - (-10)}{15 - (-10)} = 1,12$$

Gesommeerd over alle vlakken wordt $H_{t,ie} = 38,19 + 49,05 = 87,24 \text{ W/K}$

Aangezien het een verdieping modulo betreft geldt nu $H_{t,ig} = 0$.

Bij $H_{t,ia}$ moet nu wel de verdiepingsvloer ook in rekening gebracht worden maar niet meer het plafond.

$$\text{naar bovenverdieping } A_k \cdot U_k \cdot f_{iak} = 89,37 \cdot 2,43 \cdot -0,16 = -34,74$$

$$\text{met: } f_{iak} = \frac{(\theta_i + \Delta\theta_2) - (\theta_a + \Delta\theta_{a1})}{\theta_i - \theta_e} = \frac{(15 + (-1)) - (15 + 3)}{15 - (-10)} = -0,16$$

De overige bijdragen aan $H_{t,ia}$ zijn ongewijzigd.
Gesommeerd wordt $H_{t,ia} = -36,40$.

Het transmissiewarmteverlies Φ_t volgt uit:

$$\Phi_t = (H_{t,ie} + H_{t,ia} + H_{t,io} + H_{t,ib} + H_{t,ig}) \cdot (\theta_i - \theta_e) = (87,24 - 36,40 + 0 + 0 + 0) \cdot (15 - (-10)) = 1271 \text{ W}$$

Het warmteverlies door buitenluchttoetreding wijzigt niet.
Ook de toeslag voor bedrijfsbeperking wijzigt niet.

Het totaal op te stellen vermogen per trappenhuis op de dakverdiepingen:

$$\Phi_t + \Phi_v + \Phi_o = 1271 + 1765 + 0 = 3036 \text{ W}$$

Nu is voor alle vertrekken het op te stellen vermogen bepaald.

Overzicht van de verschillende vertrekken.

type vertrek	aantal zelfde vertrekken	Φ_i	Φ_i	Φ_{vent}	Φ_0	op te stellen vermogen per moduul [W]
begane grond tussenmoduul	26	670	316	200	0	1186
begane grond hoekmoduul	4	709	316	200	0	1225
begane grond trappenhuis	2	1898	1765	0	0	3663
verdieping tussenmoduul	130	437	316	200	0	953
verdieping hoekmoduul	20	479	316	200	0	995
verdieping trappenhuis	10	913	1765	0	0	2678
dakverdieping tussenmoduul	26	558	316	200	0	1074
dakverdieping hoekmoduul	4	599	316	200	0	1115
dakverdieping trappenhuis	2	1271	1765	0	0	3036

Wat nog rest is het bepalen van het vermogen van de warmteopwekker.
Hiervoor moet het schema van figuur 5.3 gebrikt worden:

Aanvullende gegevens: Vanaf de warmteopwekker ligt er 100 m leiding (diameter 168 mm met 30 mm isolatie met $\lambda = 0,035 \text{ W/(m}\cdot\text{K)}$) in een ruimte van $10 \text{ }^\circ\text{C}$.

Volgens bijlage D is het verlies 45 W/m leiding.

gesommeerd transmissiewarmteverlies door de uitwendige scheidingsconstructies (incl. ramen en deuren) en begane grondvloer	$\Sigma\{(H_{t,ie} + H_{t,io} + H_{t,ig}) \cdot (\theta_i - \theta_e)\}$	118086 W
B gesommeerd warmteverlies naar aangrenzend gebouw	$\Sigma\{H_{t,ib} \cdot (\theta_i - \theta_e)\}$	0 W
warmteverlies van leidingen in onverwarmde ruimten	$\Sigma(\Phi_{verlies})$	4500 W
benodigd vermogen voor de voorverwarming van de ventilatielucht	Φ_{vv}	0 W
gesommeerd warmteverlies t.g.v. infiltratie \cdot fractie z	$\Sigma(\Phi_i) \cdot z$ ($z=0,5$)	45535 W
benodigd vermogen voor naverwarming van de ventilatielucht van θ_i tot θ_e	$\Sigma(\Phi_{vent})$	42000 W
gesommeerde toe te rekenen toeslag voor bedrijfsbeperking	$\Sigma(\Phi_0)$	0 W
----- (+	----- (+	----- (+
te leveren verwarmingsvermogen voor het gebouw		210421 W

Totaal is voor het gebouw dus 211 kW (waterzijdig afgegeven) nodig.

Opmerking: De in deze handberekening gegeven resultaten kunnen door afrondingen iets afwijken van met de computer berekende resultaten omdat in de computerberekeningen meer decimalen meegenomen worden.

Voor het bepalen van het vermogen van de warmteopwekker moet nog gedeeld worden door het rendement van de warmteopwekker.