

Bijlage 4 - Voorkoeling van ventilatielucht met een aarde-lucht warmtewisselaar

Bodemwarmtewisselaars worden gebruikt om ventilatielucht te koelen of te verwarmen (voorverwarming/voorcoeling). Hierbij wordt gebruik gemaakt van de thermische massa van aarde om warmte naar over te dragen. Op een voldoende diepte is de grondtemperatuur stabiel. In de zomer betekent dit dat de toegevoerde ventilatielucht kan worden afgekoeld, in de winter kan deze worden opgewarmd. Bij aarde-lucht warmtewisselaars wordt de toevoerlucht door één of meerdere ondergrondse buizen gestuurd. De bodem zal de lucht verwarmen of koelen.

Indien slechts een gedeelte van het hygiënisch ventilatiedebiet van ventilatiezone z gekoeld wordt met behulp van een systeem voor voorcoeling van ventilatielucht, neem $r_{\text{precool,zone } z,m} = 1$

1 EPW methode voor wooneenheden

1.1 Vermenigvuldigingsfactor voor het effect van voorcoeling van ventilatielucht

De maandelijkse vermenigvuldigingsfactor $r_{\text{precool,zone } z,m}$ voor het effect van voorcoeling van ventilatielucht voor de koelberekeningen van ventilatiezone z wordt gegeven door:

$$r_{\text{precool,zone } z,m} = 1 - e_{\text{precool,m}} \frac{\theta_{\text{precool,ref,max,m}} - (\theta_{e,m} + \Delta\theta_{e,m})}{23 - (\theta_{e,m} + \Delta\theta_{e,m})} \quad [-]$$

met :

$e_{\text{precool,m}}$ de maandelijkse effectiviteit van het betreffende voorkoelsysteem, zoals hieronder bepaald (-);

$\theta_{\text{precool,ref,max,m}}$ de referentietemperatuur voor maximale temperatuurdaling, gelijk aan de maandgemiddelde bodemtemperatuur $\theta_{\text{soil,m}}$, ontleend aan Tabel 20 van bijlage EPW, in °C;

$\theta_{e,m}$ de maandgemiddelde buitentemperatuur, ontleend aan Tabel 1 van bijlage EPW, in °C;

$\Delta\theta_{e,m}$ een verhoging van de maandgemiddelde buitentemperatuur voor de berekening van de netto energiebehoefte voor koeling, gelijk te nemen aan 1°C.

Voor een aarde-lucht-warmtewisselaar wordt de effectiviteit $e_{\text{precool,m}}$ bepaald door :

$$e_{\text{precool},m} = w_{\text{soil/air},m} \left(1 - e^{-\frac{\alpha_{\text{precool}} A_{\text{wt}}}{0.34 \sum \dot{V}_{\text{hyg,cool,sec } i}}} \right) \quad [-]$$

met:

- α_{precool} de warmtedoorgangscoefficiënt van de grondbuizen in de aarde-lucht warmtewisselaar, zoals hieronder bepaald, in W/m²K;
- A_{wt} de warmtewisselende oppervlakte van de grondbuizen, zoals hieronder bepaald, in m²;
- $\dot{V}_{\text{hyg,cool,sec } i}$ het hygiënisch ventilatiedebiet van energiesector i, voor de koelberekeningen, zoals bepaald in 7.8.4 van de bijlage EPW, in m³/h;
- $w_{\text{soil/air},m}$ een maandelijkse factor die de werkingstijd van de aarde-lucht warmtewisselaar inrekent, (-)
- Als $\theta_{e,m} - \theta_{\text{soil},m} \leq 0$ stel $w_{\text{soil/air},m} = 0$
- Als $0 < \theta_{e,m} - \theta_{\text{soil},m} \leq 2$ stel $w_{\text{soil/air},m} = 0.5$
- Als $\theta_{e,m} - \theta_{\text{soil},m} > 2$ stel $w_{\text{soil/air},m} = 1$

waar:

- $\theta_{e,m}$ de maandgemiddelde buitentemperatuur, ontleend aan Tabel 1 van bijlage EPW, in °C;
- $\theta_{\text{soil},m}$ de maandgemiddelde bodemtemperatuur afhankelijk van de diepte van de grondbuis, ontleend aan Tabel 20 van bijlage EPW, in °C.

Er dient gesommeerd te worden over alle energiesectoren i van ventilatiezone z.

De warmtedoorgangscoefficiënt van de grondbuizen α_{precool} wordt gegeven door:

$$\alpha_{\text{precool}} = \left(\frac{1}{\alpha_i} + \frac{\ln\left(\frac{D_{\text{tube}} + 2t_{\text{tube}}}{D_{\text{tube}}}\right)}{2\lambda_{\text{tube}}/D_{\text{tube}}} + \frac{\ln\left(\frac{D_{\text{tube}} + 2t_{\text{soil}}}{D_{\text{tube}} + 2t_{\text{tube}}}\right)}{2\lambda_{\text{soil}}/D_{\text{tube}}} \right)^{-1} \quad [\text{W/m}^2\text{K}]$$

met:

- α_i de inwendige convectiecoëfficiënt van stroming in de grondbuis van de

	warmtewisselaar voor verkoeling, zoals hieronder bepaald, in W/m ² K;
t_{soil}	de dikte van het grondmassief rond de grondbuis dat in rekening wordt gebracht, zoals hieronder bepaald, in m;
D_{tube}	de binnendiameter van de grondbuis, in m;
t_{tube}	de dikte van de buiswand, in m;
λ_{tube}	de thermische geleidbaarheid van de grondbuis, in W/mK;
λ_{soil}	de thermische geleidbaarheid van de grond, gelijk te nemen aan 2, in W/mK.

De inwendige convectiecoëfficiënt wordt gegeven door:

$$\alpha_i = 0.026 \frac{Nu}{D_{tube}} \quad [W/m^2K]$$

met:

$$Nu = \left(Nu_{lam}^5 + Nu_{turb}^5 \right)^{1/5}$$

en

$$Nu_{lam} = \left[3.66^3 + 1.61^3 \cdot \left(\frac{Re \cdot Pr \cdot D_{tube}}{L_{tube}} \right) \right]^{1/3}$$

$$Nu_{turb} = \frac{f_{turb} \cdot (Re - 1000) \cdot Pr}{2 \cdot \left(1 + 12.7 \cdot \sqrt{\frac{f_{turb}}{2}} \cdot \left(Pr^{2/3} - 1 \right) \right)}$$

$$f_{turb} = (1.58 \cdot \ln Re - 3.28)^{-2}$$

$$Re = 64935 \frac{4 \sum \dot{V}_{hyg,cool,sec i}}{3600\pi n_{tube} D_{tube}}$$

$$Pr = 0.714$$

met:

$$\dot{V}_{hyg,cool,sec i} \quad \text{het hygiënisch ventilatiedebiet van energiesector i, voor de koelberekeningen, zoals bepaald in 7.8.4 van de bijlage EPW, in}$$

m³/h;

D_{tube} de binnendiameter van de grondbuis, in m.

L_{tube} de lengte van de grondbuis, in m;

Er dient gesommeerd te worden over alle energiesectoren i van ventilatiezone z .

De dikte van het grondmassief rond de grondbuis dat in rekening wordt gebracht t_{soil} wordt gegeven door:

$$t_{\text{soil}} = \frac{p_{\text{tube}} - D_{\text{tube}}}{2} \quad \text{als } p_{\text{tube}} - D_{\text{tube}} < 0.5$$

$$t_{\text{soil}} = 0.25 \quad \text{als } p_{\text{tube}} - D_{\text{tube}} \geq 0.5$$

met:

p_{tube} de afstand tussen de parallelle grondbuizen, in m;

D_{tube} de binnendiameter van de grondbuis, in m.

De warmtewisselende oppervlakte A_{wt} wordt gegeven door:

$$A_{\text{wt}} = \pi D_{\text{tube}} L_{\text{tube}} n_{\text{tube}} \quad [\text{m}^2]$$

met:

D_{tube} de binnendiameter van de grondbuis, in m;

L_{tube} de lengte van de grondbuis, in m;

n_{tube} het aantal grondbuizen in parallel (-).

1.2 Hulpenergieverbruik voorkoeling ventilatielucht

Het maandelijks elektriciteitsverbruik voor het voorkoelen van de ventilatielucht door middel van een aarde-lucht warmtewisselaar wordt gegeven door:

$$W_{\text{precool,m}} = W_{\text{soil/air,m}} \quad [\text{kWh}]$$

$$W_{\text{soil/air,m}} = 0.167 \cdot t_m \cdot w_{\text{soil/air,m}} \cdot \frac{\sum \dot{V}_{\text{hyg,cool,sec } i}}{3600} \cdot f \cdot \frac{L_{\text{tube}}}{D_{\text{tube}}} \left(\frac{\sum \dot{V}_{\text{hyg,cool,sec } i}}{3600 n_{\text{tube}} \frac{\pi}{4} D_{\text{tube}}^2} \right)^2 \quad [\text{kWh}]$$

met:

t_m de lengte van de betreffende maand, in Ms, ontleend aan Tabel 1 van bijlage EPW;

$w_{\text{soil/air,m}}$ een maandelijks factor die de werkingstijd van de aarde-lucht warmtewisselaar inreket, bepaald volgens 1.1 (-);

$\dot{V}_{\text{hyg,cool,sec } i}$ het hygiënisch ventilatiedebiet van energiesector i , voor de koelberekeningen, zoals bepaald in 7.8.4 van de bijlage EPW, in m^3/h ;

f een frictiefactor:

- als $Re < 2300$: $f = \frac{64}{Re}$

- in alle andere gevallen: $f = (1.58 \cdot \ln Re - 3.28)^{-2}$

met Re het Reynolds getal bepaald volgens 1.1 (-);

L_{tube} lengte van de grondbuis, in m;

D_{tube} binnendiameter van de grondbuis, in m;

n_{tube} het aantal grondbuizen in parallel (-).

Er dient gesommeerd te worden over alle energiesectoren i van ventilatiezone z

2 EPU methode voor kantoren en diensten en onderwijs

2.1 Vermenigvuldigingsfactor voor het effect van voorcooling van ventilatielucht

De maandelijks vermenigvuldigingsfactor $r_{\text{precool,zone } z,m}$ voor het effect van voorcooling van ventilatielucht voor de koelberekeningen van ventilatiezone z wordt gegeven door:

$$r_{\text{precool,zone } z,m} = 1 - e_{\text{precool,m}} \frac{\theta_{\text{precool,ref,max,m}} - \theta_{\text{e,V,cool,m}}}{\theta_{\text{i,cool}} - \theta_{\text{e,V,cool,m}}} \quad [-]$$

met :

$e_{\text{precool,m}}$ de maandelijks effectiviteit van het betreffende voorkoelsysteem, zoals hieronder bepaald (-);

$\theta_{\text{precool,ref,max,m}}$	de referentietemperatuur voor maximale temperatuurdaling, gelijk aan de maandgemiddelde bodemtemperatuur $\theta_{\text{soil,m}}$, ontleend aan Tabel 29 van bijlage EPU, in °C;
$\theta_{\text{e,V,cool,m}}$	de conventionele rekenwaarde voor de toevoertemperatuur van de ventilatielucht voor hygiënische ventilatie voor de bepaling van de koelbehoefte, ontleend aan Tabel 1 van bijlage EPU, in °C;
$\theta_{\text{i,cool}}$	de bij conventie vastgelegde gemiddelde binnentemperatuur voor de bepaling van de koelbehoefte, ontleend aan Tabel 2 van bijlage EPU, in °C.

Voor een aarde-lucht-warmtewisselaar wordt de effectiviteit $e_{\text{precool,m}}$ bepaald door :

$$e_{\text{precool,m}} = w_{\text{soil/air,m}} \left(1 - e^{-\frac{\alpha_{\text{precool}} A_{\text{wt}}}{0.34 \sum \dot{V}_{\text{hyg,seci,k}}}} \right) \quad [-]$$

met:

α_{precool}	de warmtedoorgangscoefficiënt van de grondbuizen in de aarde-lucht warmtewisselaar, zoals hieronder bepaald, in W/m ² K;
A_{wt}	de warmtewisselende oppervlakte van de grondbuizen, zoals hieronder bepaald, in m ² ;
$\dot{V}_{\text{hyg,seci,k}}$	de deelstroom k van het ontwerptoevoerdebiet aan buitenlucht dat door de aarde-lucht warmtewisselaar voorgekoeld wordt in energiesector i, in m ³ /h;
$w_{\text{soil/air,m}}$	een maandelijkse factor die de werkingstijd van de aarde-lucht warmtewisselaar inreken(-) Als $\theta_{\text{e,m}} - \theta_{\text{soil,m}} \leq 0$ stel $w_{\text{soil/air,m}} = 0$ Als $0 < \theta_{\text{e,m}} - \theta_{\text{soil,m}} \leq 2$ stel $w_{\text{soil/air,m}} = 0.5$ Als $\theta_{\text{e,m}} - \theta_{\text{soil,m}} > 2$ stel $w_{\text{soil/air,m}} = 1$

waar:

$\theta_{\text{e,m}}$	de maandgemiddelde buitentemperatuur, ontleend aan Tabel 1 van bijlage EPU, in °C;
-----------------------	--

$\theta_{\text{soil,m}}$ de maandgemiddelde bodemtemperatuur afhankelijk van de diepte van de grondbuis, ontleend aan Tabel 29 van bijlage EPU, in °C;

Er dient gesommeerd te worden over alle deelstromen k en alle energiesectoren i van ventilatiezone z .

De warmtedoorgangscoefficiënt van de grondbuizen α_{precool} wordt gegeven door:

$$\alpha_{\text{precool}} = \left(\frac{1}{\alpha_i} + \frac{\ln\left(\frac{D_{\text{tube}} + 2t_{\text{tube}}}{D_{\text{tube}}}\right)}{2\lambda_{\text{tube}}/D_{\text{tube}}} + \frac{\ln\left(\frac{D_{\text{tube}} + 2t_{\text{soil}}}{D_{\text{tube}} + 2t_{\text{tube}}}\right)}{2\lambda_{\text{soil}}/D_{\text{tube}}} \right)^{-1} \quad [\text{W/m}^2\text{K}]$$

met:

α_i de inwendige convectiecoëfficiënt van stroming in de grondbuis van de warmtewisselaar voor verkoeling, zoals hieronder bepaald, in $\text{W/m}^2\text{K}$;

t_{soil} de dikte van het grondmassief rond de grondbuis dat in rekening wordt gebracht, zoals hieronder bepaald, in m;

D_{tube} de binnendiameter van de grondbuis, in m;

t_{tube} de dikte van de buiswand, in m;

λ_{tube} de thermische geleidbaarheid van de grondbuis, in W/mK ;

λ_{soil} de thermische geleidbaarheid van de grond, gelijk te nemen aan 2, in W/mK .

De inwendige convectiecoëfficiënt wordt gegeven door:

$$\alpha_i = 0.026 \frac{\text{Nu}}{D_{\text{tube}}} \quad [\text{W/m}^2\text{K}]$$

met:

$$\text{Nu} = \left(\text{Nu}_{\text{lam}}^5 + \text{Nu}_{\text{turb}}^5 \right)^{1/5}$$

en

$$\text{Nu}_{\text{lam}} = \left[3.66^3 + 1.61^3 \cdot \left(\frac{\text{Re} \cdot \text{Pr} \cdot D_{\text{tube}}}{L_{\text{tube}}} \right) \right]^{1/3}$$

$$\text{Nu}_{\text{turb}} = \frac{f_{\text{turb}} \cdot (\text{Re} - 1000) \cdot \text{Pr}}{2 \cdot \left(1 + 12.7 \cdot \sqrt{\frac{f_{\text{turb}}}{2}} \cdot \left(\text{Pr}^{2/3} - 1 \right) \right)}$$

$$f_{\text{turb}} = (1.58 \cdot \ln \text{Re} - 3.28)^{-2}$$

$$\text{Re} = 64935 \frac{4}{3600\pi} \frac{\sum \dot{V}_{\text{hyg,sec } i,k}}{n_{\text{tube}} D_{\text{tube}}}$$

$$\text{Pr} = 0.714$$

met:

$\dot{V}_{\text{hyg,sec } i,k}$ de deelstroom k van het ontwerptoevoerdebiet aan buitenlucht dat door de aarde-lucht warmtewisselaar voorgekoeld wordt in energiesector i, in m³/h;

D_{tube} de binnendiameter van de grondbuis, in m.

L_{tube} de lengte van de grondbuis, in m;

n_{tube} het aantal grondbuizen in parallel (-).

Er dient gesommeerd te worden over alle deelstromen k en alle energiesectoren i van ventilatiezone z.

De dikte van het grondmassief rond de grondbuis dat in rekening wordt gebracht t_{soil} wordt gegeven door:

$$t_{\text{soil}} = \frac{p_{\text{tube}} - D_{\text{tube}}}{2} \quad \text{als } p_{\text{tube}} - D_{\text{tube}} < 0.5$$

$$t_{\text{soil}} = 0.25 \quad \text{als } p_{\text{tube}} - D_{\text{tube}} \geq 0.5$$

met:

p_{tube} de afstand tussen de parallelle grondbuizen, in m;

D_{tube} de binnendiameter van de grondbuis, in m.

De warmtewisselende oppervlakte A_{wt} wordt gegeven door:

$$A_{wt} = \pi D_{tube} L_{tube} n_{tube} \quad [m^2]$$

met:

D_{tube} de binnendiameter van de grondbuis, in m;

L_{tube} de lengte van de grondbuis, in m;

n_{tube} het aantal grondbuizen in parallel (-).

2.2 Hulpenergieverbruik voorkoeling ventilatielucht

Het maandelijks elektriciteitsverbruik voor het voorcoelen van de ventilatielucht door middel van een aarde-lucht warmtewisselaar wordt gegeven door:

$W_{precool,m} = W_{soil/air,m}$	[kWh]
$W_{soil/air,m} = 0.167 \cdot t_m \cdot w_{soil/air,m} \cdot \frac{\sum f_{vent,cool,k} \dot{V}_{hyg,sec i,k}}{3600} \cdot f \cdot \frac{L_{tube}}{D_{tube}} \left(\frac{\sum \dot{V}_{hyg,sec i,k}}{3600 n_{tube} \frac{\pi}{4} D_{tube}^2} \right)^2$	[kWh]
met:	
t_m	de lengte van de betreffende maand, in Ms, ontleend aan Tabel 1 van bijlage EPU;
$f_{vent,cool,k}$	de conventionele tijdsfractie dat toevoer k in bedrijf is voor de koelberekeningen, bepaald volgens Tabel 4 van bijlage EPU;
$w_{soil/air,m}$	een maandelijkse factor die de werkingstijd van de aarde-lucht warmtewisselaar inreken, bepaald volgens 2.1 (-);
$\dot{V}_{hyg,sec i,k}$	de deelstroom k van het ontwerptoevoerdebiet aan buitenlucht dat door de aarde-lucht warmtewisselaar voorgekoeld wordt in energiesector i, in m ³ /h;
f	een frictiefactor:

	<ul style="list-style-type: none"> - als $Re < 2300$: $f = \frac{64}{Re}$ - in alle andere gevallen: $f = (1.58 \cdot \ln Re - 3.28)^{-2}$ <p>met Re het Reynolds getal bepaald volgens 2.1 (-);</p>
L_{tube}	lengte van de grondbuis, in m;
D_{tube}	binnendiameter van de grondbuis, in m;
n_{tube}	het aantal grondbuizen in parallel (-).

Er dient gesommeerd te worden over alle deelstromen k en alle energiesectoren i van ventilatiezone z .

Gezien om te worden gevoegd bij het ministerieel besluit houdende uitvoering van bijlagen V, IX en X van het besluit van de Brusselse Hoofdstedelijke Regering van 21 december 2007 tot vaststelling van de eisen op het vlak van de energieprestatie en het binnenklimaat van gebouwen.

Brussel, 6 mei 2014

Evelyne HUYTEBROECK