

Bijlage 5: Specificaties voor het in rekening brengen van de
voorkoeling van ventilatielucht met een aarde-lucht
warmtewisselaar

1	Inleiding	2
2	EPW methode voor wooneenheden	2
2.1	Vermenigvuldigingsfactor voor het effect van voorkoeling van ventilatielucht	2
2.2	Hulpenergieverbruik voorkoeling ventilatielucht	6
3	EPN methode voor EPN-eenheden	7
3.1	Vermenigvuldigingsfactor voor het effect van voorkoeling van ventilatielucht	7
3.2	Hulpenergieverbruik voorkoeling ventilatielucht	11

Bijlage 5: Specificaties voor het in rekening brengen van de voorcoeling van ventilatielucht met een aarde-lucht warmtewisselaar

1 Inleiding

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 $r_{\text{precool,zone } z,m} = 1$

2 EPW methode voor wooneenheden

2.1 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 voorcoelsysteem, 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.

Bijlage 5: Specificaties voor het in rekening brengen van de voorkoeling van ventilatielucht met een aarde-lucht warmtewisselaar

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

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

met:

$\alpha_{precool}$ de warmtedoorgangscoefficiënt van de grondbuizen in de aarde-lucht warmtewisselaar, zoals hieronder bepaald, in W/m^2K ;

A_{wt} de warmtewisselende oppervlakte van de grondbuizen, zoals hieronder bepaald, in m^2 ;

$\dot{V}_{hyg,cool,sec\ i}$ het hygiënisch ventilatiedebiet van energiesector i , voor de koelberekeningen, zoals bepaald in §7.8.6 van de bijlage EPW, in m^3/h ;

$w_{soil/air,m}$ een maandelijks factor die de werkingstijd van de aarde-lucht warmtewisselaar inrekenent, (-)

Als $\theta_{e,m} - \theta_{soil,m} \leq 0$ stel $w_{soil/air,m} = 0$

Als $0 < \theta_{e,m} - \theta_{soil,m} \leq 2$ stel $w_{soil/air,m} = 0.5$

Als $\theta_{e,m} - \theta_{soil,m} > 2$ stel $w_{soil/air,m} = 1$

waar:

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

$\theta_{soil,m}$ de maandgemiddelde bodemtemperatuur afhankelijk van de diepte van de grondbuis, ontleend aan Tabel 20 van bijlage EPW, in $^{\circ}C$.

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

De warmtedoorgangscoefficiënt van de grondbuizen $\alpha_{precool}$ wordt gegeven door:

Bijlage 5: Specificaties voor het in rekening brengen van de verkoeling van ventilatielucht met een aarde-lucht warmtewisselaar

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

met:

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

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:

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

met:

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

en

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

Bijlage 5: Specificaties voor het in rekening brengen van de voorcooling van ventilatielucht met een aarde-lucht warmtewisselaar

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

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

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

$$\text{Pr} = 0.714$$

met:

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

Bijlage 5: Specificaties voor het in rekening brengen van de verkoeling van ventilatielucht met een aarde-lucht warmtewisselaar

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 verkoeling ventilatielucht

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

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

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

met:

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

$w_{soil/air,m}$ een maandelijks factor die de werkingstijd van de aarde-lucht warmtewisselaar inreken, bepaald volgens §2.1 (-);

$\dot{V}_{hyg,cool,seci}$ het hygiënisch ventilatiedebiet van energiesector i , voor de koelberekeningen, zoals bepaald in §7.8.6 van de bijlage EPW, in m^3/h ;

f een frictiefactor:

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

Bijlage 5: Specificaties voor het in rekening brengen van de verkoeling van ventilatielucht met een aarde-lucht warmtewisselaar

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

met Re het Reynolds getal bepaald volgens 2.1 (-);

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

3 EPN methode voor EPN-eenheden

3.1 Vermenigvuldigingsfactor voor het effect van verkoeling van ventilatielucht

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

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

met :

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

$\theta_{\text{precool,ref,max},m}$ de referentietemperatuur voor maximale temperatuurdaling, gelijk aan de maandgemiddelde bodemtemperatuur $\theta_{\text{soil},m}$, bepaald volgens §B.2.2 van bijlage EPN, in °C;

$\theta_{e,V,\text{cool},m}$ de conventionele rekenwaarde voor de toevoertemperatuur van de ventilatielucht voor hygiënische ventilatie voor de bepaling van de koelbehoefte, ontleend aan Tabel 45 van bijlage EPN, in °C;

$\theta_{i,\text{cool},\text{fct } f}$ de rekenwaarde van de binnentemperatuur voor de berekening van ruimtekoeling voor functioneel deel f , bepaald volgens §5.2.3 van bijlage EPN, in °C.

Bijlage 5: Specificaties voor het in rekening brengen van de voorkoeling van ventilatielucht met een aarde-lucht warmtewisselaar

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

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

met :

$\alpha_{precool}$ de warmtedoorgangscoefficiënt van de grondbuizen in de aarde-lucht warmtewisselaar, zoals hieronder bepaald, in W/m^2K ;

A_{wt} de warmtewisselende oppervlakte van de grondbuizen, zoals hieronder bepaald, in m^2 ;

$\dot{V}_{hyg,fcf}$ het ontwerpdebiet aan buitenlucht voor hygiënische ventilatie dat door de aarde-lucht warmtewisselaar voorgekoeld wordt in functioneel deel f , in m^3/h , bepaald volgens de principes uit §5.6.2.2 van bijlage EPN;

$w_{soil/air,m}$ een maandelijkse factor die de werkingstijd van de aarde-lucht warmtewisselaar inreken, (-)

Als $\theta_{e,m} - \theta_{soil,m} \leq 0$ stel $w_{soil/air,m} = 0$

Als $0 < \theta_{e,m} - \theta_{soil,m} \leq 2$ stel $w_{soil/air,m} = 0.5$

Als $\theta_{e,m} - \theta_{soil,m} > 2$ stel $w_{soil/air,m} = 1$

waar :

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

$\theta_{soil,m}$ de maandgemiddelde bodemtemperatuur afhankelijk van de diepte van de grondbuis, bepaald volgens § B.2.2 van bijlage EPN, in $^{\circ}C$.

Er dient gesommeerd te worden over alle deelstromen k en alle functionele delen f van ventilatiezone z .

De warmtedoorgangscoefficiënt van de grondbuizen $\alpha_{precool}$ wordt gegeven door:

Bijlage 5: Specificaties voor het in rekening brengen van de verkoeling van ventilatielucht met een aarde-lucht warmtewisselaar

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

met:

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

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:

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

met:

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

en

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

Bijlage 5: Specificaties voor het in rekening brengen van de voorcoeling van ventilatielucht met een aarde-lucht warmtewisselaar

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

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

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

$$\text{Pr} = 0.714$$

met:

$\dot{V}_{\text{hyg, fctf}}$ het ontwerpdebiet aan buitenlucht voor hygiënische ventilatie dat door de aarde-lucht warmtewisselaar voorgekoeld wordt in functioneel deel f, in m³/h, bepaald volgens de principes uit §5.6.2.2 van bijlage EPN;

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 functionele delen f 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.

Bijlage 5: Specificaties voor het in rekening brengen van de verkoeling van ventilatielucht met een aarde-lucht warmtewisselaar

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 (-).

3.2 Hulpenergieverbruik verkoeling ventilatielucht

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

$W_{precool,m} = W_{soil/air,m}$	[kWh]
$W_{soil/air,m} = 0.167 \cdot t_m \cdot w_{soil/air,m} \cdot \frac{\sum f_{vent,cool,fcf} \dot{V}_{hyg,fcf}}{3600} \cdot f \cdot \frac{L_{tube}}{D_{tube}} \left(\frac{\sum \dot{V}_{hyg,fcf}}{3600 n_{tube} \frac{\pi}{4} D_{tube}^2} \right)^2$	[kWh]
met:	
t_m	de lengte van de betreffende maand, in Ms, ontleend aan Tabel 1 van bijlage EPN;
$f_{vent,cool,fcf}$	de fractie van de tijd gedurende dewelke de ventilatie in bedrijf is, voor de koelberekeningen van functioneel deel f, ontleend aan Tabel 7 van bijlage EPN.
$w_{soil/air,m}$	een maandelijkse factor die de werkingstijd van de aarde-lucht warmtewisselaar inrekent, bepaald volgens 3.1 (-);
$\dot{V}_{hyg,fcf}$	het ontwerpdebiet aan buitenlucht voor hygiënische ventilatie dat door de aarde-lucht warmtewisselaar voorgekoeld wordt in functioneel deel f, bepaald volgens de principes uit §5.6.2.2 van bijlage EPN, in m ³ /h

Bijlage 5: Specificaties voor het in rekening brengen van de voorkoeling van ventilatielucht met een aarde-lucht warmtewisselaar

f	<p>een frictiefactor:</p> <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 3.1 (-);</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 functionele delen f van ventilatiezone z .

Gezien om te worden gevoegd bij het ministerieel besluit houdende wijziging en uitvoering van bijlagen XII en XIII 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, 9 november 2017

De Minister van Huisvesting, Levenskwaliteit, Leefmilieu en Energie

C. FREMAULT