

**Bijlage 7****Bijlage IX: Voorkoeling van ventilatielucht met een aarde-lucht warmtewisselaar**

Bodemwarmtewisselaars worden gebruikt om ventilatielucht te koelen of te verwarmen (voorverwarming/voorkeeling). 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 voorkeeling van ventilatielucht, neem  $r_{\text{precool,zone } z, m} = 1$

**1 EPW methode voor wooneenheden****1.1 Vermenigvuldigingsfactor voor het effect van voorkeeling van ventilatielucht**

De maandelijkse vermenigvuldigingsfactor  $r_{\text{precool,zone } z, m}$  voor het effect van voorkeeling 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 voorkeelsysteem, 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 V bij het Energiebesluit, in °C;
- $\theta_{e, m}$  de maandgemiddelde buitentemperatuur, ontleend aan Tabel 1 van bijlage V bij het Energiebesluit, 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 :

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

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

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

$W_{\text{soil/air},m}$  een maandelijkse factor die de werkingstijd van de aarde-lucht warmtewisselaar inreket, (-)

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 V bij het Energiebesluit, in  $^{\circ}\text{C}$ ;

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

Er dient gesommeerd te worden over alle functionele delen  $f$  van ventilatiezone  $z$

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

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

met :

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

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

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

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

$\lambda_{\text{tube}}$  de thermische geleidbaarheid van de grondbuis, in  $\text{W}/\text{mK}$ ;

$\lambda_{\text{soil}}$  de thermische geleidbaarheid van de grond, gelijk te nemen aan 2, in  $\text{W}/\text{mK}$ .

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

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

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

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

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

$$Pr = 0.714$$

met:

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

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

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

$n_{\text{tube}}$  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  $t_{\text{soil}}$  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:

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

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

De warmtewisselende oppervlakte  $A_{\text{wt}}$  wordt gegeven door:

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

met:

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

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

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

## 1.2 Hulpenergieverbruik voorkoeling ventilatielucht

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

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

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

met:

$t_m$  de lengte van de betreffende maand, in Ms, ontleend aan Tabel 1 van bijlage V bij het Energiebesluit;

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

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

$f$  een frictiefactor:

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

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

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

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

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

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

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

## 2 EPN methode voor EPN-eenheden

### 2.1 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:

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

met :

- $e_{\text{precool},m}$  de maandelijkse effectiviteit van het betreffende verkoelsysteem, 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 38 van bijlage VI bij het Energiebesluit, 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 VI bij het Energiebesluit, in °C;
- $\theta_{i,\text{cool},fctf}$  de rekenwaarde van de binnentemperatuur voor de berekening van de ruimtekoeling voor functioneel deel  $f$ , bepaald volgens 5.2.3 van bijlage VI bij het Energiebesluit, in °C.

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

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

met :

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

- $A_{wt}$  de warmtewisselende oppervlakte van de grondbuizen, zoals hieronder bepaald, in  $m^2$ ;
- $\dot{V}_{hygftf}$  het ontwerptoevoerdebiet 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 VI bij het Energiebesluit, in  $m^3/h$ ;
- $w_{soil/air,m}$  een maandelijkse factor die de werkingstijd van de aarde-lucht warmtewisselaar inreket, (-)
- 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 VI bij het Energiebesluit, in  $^{\circ}C$ ;
- $\theta_{soil,m}$  de maandgemiddelde bodemtemperatuur afhankelijk van de diepte van de grondbuis, ontleend aan Tabel 38 van bijlage VI bij het Energiebesluit, in  $^{\circ}C$ ;

Er dient gesommeerd te worden over alle functionele delen  $f$  van ventilatiezone  $z$ , die worden bediend door de aarde-lucht warmtewisselaar.

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

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

met:

- $\alpha_i$  de inwendige convectiecoëfficiënt van stroming in de grondbuis van de warmtewisselaar voor voorcooling, zoals hieronder bepaald, in  $W/m^2K$ ;
- $t_{soil}$  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  $m$ ;

- $t_{\text{tube}}$  de dikte van de buiswand, in m;
- $\lambda_{\text{tube}}$  de thermische geleidbaarheid van de grondbuis, in W/mK;
- $\lambda_{\text{soil}}$  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

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

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

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

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

$$\text{Pr} = 0.714$$

met:

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

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



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

$n_{\text{tube}}$  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  $t_{\text{soil}}$  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:

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

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

De warmtewisselende oppervlakte  $A_{\text{wt}}$  wordt gegeven door:

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

met:

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

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

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

## 2.2 Hulpenergieverbruik voorkoeling ventilatielucht

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

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

|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |                                                                                                                                                                                                                                                           |         |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------|
| $W_{\text{soil/air,m}} = 0,167 \cdot t_m \cdot w_{\text{soil/air,m}} \cdot \frac{\sum f_{\text{vent,cool,fct f}} \cdot \dot{V}_{\text{hygfctf}}}{3600} \cdot f \cdot \frac{L_{\text{tube}}}{D_{\text{tube}}} \left( \frac{\sum \dot{V}_{\text{hygfctf}}}{3600 n_{\text{tube}} \frac{\pi}{4} D_{\text{tube}}^2} \right)^2$ |                                                                                                                                                                                                                                                           | [ kWh ] |
| met :                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |                                                                                                                                                                                                                                                           |         |
| $t_m$                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     | de lengte van de betreffende maand, in Ms, ontleend aan Tabel 1 van bijlage VI bij het Energiebesluit;                                                                                                                                                    |         |
| $f_{\text{vent,cool,fct f}}$                                                                                                                                                                                                                                                                                              | 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 VI bij het Energiebesluit;                                                                      |         |
| $w_{\text{soil/air,m}}$                                                                                                                                                                                                                                                                                                   | een maandelijks factor die de werkingstijd van de aarde-lucht warmtewisselaar inreken, bepaald volgens 2.1 (-);                                                                                                                                           |         |
| $\dot{V}_{\text{hygfctf}}$                                                                                                                                                                                                                                                                                                | het ontwerpvoerdebiet 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 VI bij het Energiebesluit, in m <sup>3</sup> /h; |         |
| f                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         | een frictiefactor:<br>- als $Re < 2300$ : $f = \frac{64}{Re}$<br>- in alle andere gevallen: $f = (1.58 \cdot \ln Re - 3.28)^{-2}$<br>met Re het Reynolds getal bepaald volgens 2.1 (-);                                                                   |         |
| $L_{\text{tube}}$                                                                                                                                                                                                                                                                                                         | lengte van de grondbuis, in m;                                                                                                                                                                                                                            |         |
| $D_{\text{tube}}$                                                                                                                                                                                                                                                                                                         | binnendiameter van de grondbuis, in m;                                                                                                                                                                                                                    |         |
| $n_{\text{tube}}$                                                                                                                                                                                                                                                                                                         | het aantal grondbuizen in parallel (-).                                                                                                                                                                                                                   |         |

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

Gezien om gevoegd te worden bij het ministerieel besluit houdende de wijziging van diverse ministeriële besluiten in het kader van de energieprestatieregelgeving.

Brussel, 30 januari 2017

De Vlaamse minister van Begroting, Financiën en Energie

Bart TOMMELEIN