

Bijlage B Voorkoeling van ventilatielucht

B.1 Rekenregel

De maandelijkse vermenigvuldigingsfactor $r_{\text{precool},fct f,m}$ voor het effect van voorkoeling van ventilatielucht voor de koelberekeningen van functioneel deel f is gelijk aan de maandelijkse vermenigvuldigingsfactor voor het effect van voorkoeling van ventilatielucht van energiesector i waarvan het functioneel deel uitmaakt en deze is gelijk aan de maandelijkse vermenigvuldigingsfactor voor het effect van voorkoeling van ventilatielucht van de ventilatiezone z waarvan de energiesector i deel uitmaakt:

$$\text{Eq. 171 } r_{\text{precool},fct f} = r_{\text{precool},seci,m} = r_{\text{precool},zone z,m}(-)$$

Indien er geen systeem is voor voorkoeling van ventilatielucht in ventilatiezone z , of indien slechts een gedeelte van het hygiënisch ventilatiedebiet van ventilatiezone z gekoeld wordt met behulp van een systeem voor voorkoeling van ventilatielucht, neem $r_{\text{precool},zone z,m} = 1$

Indien er meerdere EPB-eenheden gebruik maken van hetzelfde systeem voor voorkoeling van ventilatielucht is de waarde bij ontstentenis voor $r_{\text{precool},zone z,m} = 1$, betere waarden kunnen bepaald worden op basis van een gelijkwaardigheidsaanvraag.

Indien er wel een systeem voor voorkoeling aanwezig is en het ganse hygiënisch ventilatiedebiet van ventilatiezone z gekoeld wordt met behulp van een systeem voor voorkoeling van ventilatielucht dient $r_{\text{precool},zone z,m}$ te worden bepaald door de verhouding van de temperatuurval veroorzaakt door het voorkoelsysteem en het oorspronkelijke temperatuurverschil en de effectiviteit van het voorkoelsysteem $e_{\text{precool},m}$.

$$\text{Eq. 172 } r_{\text{precool},zone z,m} = 1 - e_{\text{precool},m} \cdot \left(\frac{\theta_{\text{precool},ref,max,m} - \theta_{e,V,cool,m}}{\theta_{i,cool,fct f} - \theta_{e,V,cool,m}} \right) \quad (-)$$

met:

$e_{\text{precool},m}$	de maandelijkse effectiviteit van het betreffende voorkoelsysteem, (-);
$\theta_{\text{precool},ref,max,m}$	de referentietemperatuur voor maximale temperatuurdaling, in °C;
$\theta_{e,V,cool,m}$	de conventionele rekenwaarde voor de toevoertemperatuur van de ventilatielucht voor hygiënische ventilatie voor de koelberekeningen, ontleend aan Tabel [45], in °C;
$\theta_{i,cool,fct f}$	de rekenwaarde van de binnentemperatuur voor de berekening van de ruimtekoeling voor functioneel deel f , bepaald volgens § 5.2.3, in °C;

Voor twee types technologieën wordt een uitdrukking voor $e_{\text{precool},m}$ en $\theta_{\text{precool},ref,max,m}$ uitgewerkt in volgende paragrafen.

Voor andere technologieën dient $r_{\text{precool},zone z}$ bepaald te worden volgens vooraf door de minister bepaalde regels.

B.2 Aarde-water warmtewisselaar

Bodemwarmtewisselaars worden gebruikt om ventilatielucht te koelen of te verwarmen (voorverwarming/voorkoeling). 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-water warmtewisselaars wordt water door een reeks buizen gestuurd, die via een collector aan een luchtbatterij zijn gekoppeld. Het water dat door een pomp door de buizen wordt gecirculeerd, zal de lucht verwarmen of koelen.

B.2.1 Effectiviteit $e_{\text{precool},m}$ van het voorkoelsysteem

Voor een aarde-water warmtewisselaar is de waarde bij ontstentenis:

$$\text{Eq. 173} \quad e_{\text{precool},m} = 0,7 \cdot w_{\text{soil/water},m} \quad (-)$$

met:

$w_{\text{soil/water},m}$ een maandelijkse factor die de werkingstijd van de aarde-water warmtewisselaar inrekenent, (-).

$$\begin{aligned} \text{Eq. 174} \quad & \text{Als } \theta_{e,\text{heat},m} - \theta_{\text{soil},m} \leq 0 && \text{stel } w_{\text{soil/water},m} = 0 \\ & \text{Als } 0 < \theta_{e,\text{heat},m} - \theta_{\text{soil},m} \leq 2 && \text{stel } w_{\text{soil/water},m} = 0,5 \\ & \text{Als } \theta_{e,\text{heat},m} - \theta_{\text{soil},m} > 2 && \text{stel } w_{\text{soil/water},m} = 1 \end{aligned} \quad (-)$$

waar:

$\theta_{e,\text{heat},m}$ de maandgemiddelde buitentemperatuur voor verwarmingsberekeningen, ontleend aan Tabel [1], in °C;

$\theta_{\text{soil},m}$ de maandgemiddelde bodemtemperatuur afhankelijk van de diepte van de grondbuis, zoals bepaald in § B.2.2, in °C;

B.2.2 Referentietemperatuur voor maximale temperatuurdaling $\theta_{\text{precool},\text{ref},\text{max},m}$

De referentietemperatuur voor de bepaling van de prestatie van de aarde-water warmtewisselaar wordt gegeven door:

$$\text{Eq. 346} \quad \theta_{\text{precool},\text{ref},\text{max},m} = \frac{\left(\frac{e_{wt} \cdot \theta_{\text{soil},m}}{e_{wt} - 1} - \frac{0.34 \cdot \sum_f \dot{V}_{\text{hyg},\text{fct } f}}{1160 \dot{V}_w} \cdot \theta_{e,V,\text{cool},m} \right)}{\left(1 - \frac{0.34 \cdot \sum_f \dot{V}_{\text{hyg},\text{fct } f}}{1160 \dot{V}_w} + \frac{1}{e_{wt} - 1} \right)} \quad (^\circ\text{C})$$

met:

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

- \dot{V}_w het waterdebiet doorheen de aarde-water warmtewisselaar, in m³/h;
- e_{wt} de effectiviteit van de aarde-water warmtewisselaar, zoals hieronder bepaald;
- $\theta_{soil,m}$ de maandgemiddelde bodemtemperatuur afhankelijk van de diepte van de grondbuis, zoals hieronder bepaald, in °C;
- $\theta_{e,v,cool,m}$ de conventionele rekenwaarde voor de toevoertemperatuur van de ventilatielucht voor hygiënische ventilatie voor de koelberekeningen, ontleend aan Tabel [1], in °C;

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

Voor de bepaling van de maandgemiddelde bodemtemperatuur $\theta_{soil,m}$ wordt er onderscheid gemaakt tussen horizontale en verticale grondbuizen.

- Horizontale grondbuizen: ontleen de maandgemiddelde bodemtemperatuur aan Tabel [38]
- Verticale grondbuizen: bepaal de maandgemiddelde bodemtemperatuur met onderstaande formule:

Eq. 176

$$\theta_{soil,m} = \frac{\theta_{soil,1m,m} + \theta_{soil,2m,m} + \theta_{soil,3m,m} + \theta_{soil,4m,m} + \theta_{soil,5m,m} \cdot (L_{soil/water} - 4)}{L_{soil/water}}$$

(°C)

met:

$\theta_{soil,1m,m}$, $\theta_{soil,2m,m}$, $\theta_{soil,3m,m}$, $\theta_{soil,4m,m}$, $\theta_{soil,5m,m}$ De maandgemiddelde bodemtemperatuur op respectievelijk 1, 2, 3, 4 en 5 m diepte, ontleend aan Tabel [38];

$L_{soil/water}$ de maximale diepte van de grondbuis, in m.

Tabel [38]: gemiddelde bodemtemperaturen voor de bepaling van $\theta_{soil,m}$

	Jan	Feb	Maa	Apr	Mei	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Dec
0,5 m	4,2	4,3	5,8	8,8	12,1	15,1	16,8	16,8	15,0	12,1	8,7	5,9
1 m	5,4	5,0	6,0	8,2	11,0	13,8	15,5	16,0	14,9	12,7	9,8	7,2
2 m	7,5	6,5	6,6	7,8	9,6	11,7	13,5	14,5	14,3	13,2	11,3	9,2
3 m	9,0	7,9	7,6	7,9	9,0	10,5	11,9	13,1	13,4	13,1	11,9	10,5
4 m	10,0	9,0	8,5	8,4	8,9	9,8	10,9	11,9	12,5	12,6	12,1	11,2
5 m+	10,0	10,0	10,0	10,0	10,0	10,0	10,0	10,0	10,0	10,0	10,0	10,0

Voor tussenliggende diepten wordt de tabel geïnterpoleerd.

De effectiviteit van de aarde-water warmtewisselaar wordt gegeven door:

Eq. 177

$$e_{wt} = 1 - e^{-\frac{\alpha_{wt} A_{wt}}{1160 \cdot \dot{V}_w}}$$

(-)

met:

α_{wt}	de warmtedoorgangscoefficiënt van de buizen in de aarde-water warmtewisselaar, zoals hieronder bepaald, in $W/(m^2.K)$;
A_{wt}	de warmtewisselende oppervlakte van de buizen, in m^2 , zoals hieronder bepaald;
\dot{V}_w	het waterdebiet doorheen de aarde-water warmtewisselaar, in m^3/h ;

De warmtedoorgangscoefficiënt van de buizen α_{wt} wordt gegeven door:

$$\text{Eq. 178} \quad \alpha_{wt} = \left(\frac{1}{\alpha_i} + \frac{\ln\left(\frac{D_{tube} + 2t_{tube}}{D_{tube}}\right)}{2\lambda_{tube}/D_{tube}} + \frac{\ln\left(\frac{D_{tube} + 2t_{soil}}{D_{tube} + 2t_{tube}}\right)}{2\lambda_{soil}/D_{tube}} \right)^{-1}$$

($W/(m^2.K)$)

met:

α_i	de inwendige convectiecoëfficiënt van stroming in de buis van de warmtewisselaar voor verkoeling, zoals hieronder bepaald, in $W/(m^2.K)$;
t_{soil}	de dikte van het grondmassief rond de buis dat in rekening wordt gebracht, zoals hieronder bepaald, in m;
D_{tube}	de binnendiameter van de buis, in m;
t_{tube}	de dikte van de buiswand, in m;
λ_{tube}	de thermische geleidbaarheid van de buis, in $W/(m.K)$;
λ_{soil}	de thermische geleidbaarheid van de grond, gelijk aan 2, in $W/(m.K)$.

De inwendige convectiecoëfficiënt wordt gegeven door:

- voor water:

$$\text{Eq. 179} \quad \alpha_i = 0,58 \cdot \frac{Nu}{D_{tube}} \quad (W/(m^2.K))$$

- voor een oplossing water/glycol (alle types):

$$\text{Eq. 180} \quad \alpha_i = 0,43 \cdot \frac{Nu}{D_{tube}} \quad (W/(m^2.K))$$

met:

$$\text{Eq. 181} \quad Nu = \left(Nu_{lam}^5 + Nu_{turb}^5 \right)^{1/5} \quad (-)$$

$$\text{Eq. 182} \quad Nu_{lam} = \left[3,66^3 + 1,61^3 \cdot \left(\frac{Re \cdot Pr \cdot D_{tube}}{L_{tube}} \right) \right]^{1/3} \quad (-)$$

en:

$$\text{Eq. 183} \quad \text{Nu}_{\text{turb}} = \frac{f_{\text{turb}} \cdot (\text{Re} - 1000) \cdot \text{Pr}}{2 \times \left(1 + 12,7 \cdot \sqrt{\frac{f_{\text{turb}}}{2}} \cdot (\text{Pr}^{\frac{2}{3}} - 1) \right)} \quad (-)$$

met:

$$\text{Eq. 184} \quad f_{\text{turb}} = (1,58 \cdot \ln \text{Re} - 3,28)^{-2} \quad (-)$$

met:

- Voor Water:

$$\text{Eq. 185} \quad \text{Re} = 996200 \cdot \frac{4}{3600 \cdot \pi} \cdot \frac{\dot{V}_w}{n_{\text{tube}} \cdot D_{\text{tube}}} \quad (-)$$

$$\text{Pr} = 7$$

- Voor een oplossing water/glycol (alle types):

$$\text{Eq. 186} \quad \text{Re} = 624200 \cdot \frac{4}{3600 \cdot \pi} \cdot \frac{\dot{V}_w}{n_{\text{tube}} \cdot D_{\text{tube}}} \quad (-)$$

$$\text{Pr} = 12,5$$

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

$$\text{Eq. 187} \quad t_{\text{soil}} = \frac{p_{\text{tube}} - D_{\text{tube}}}{2} \quad \text{als} \quad p_{\text{tube}} - D_{\text{tube}} < 0,5$$

$$t_{\text{soil}} = 0,25 \quad \text{als} \quad p_{\text{tube}} - D_{\text{tube}} \geq 0,5 \quad (\text{m})$$

met:

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

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

De warmtewisselende oppervlakte A_{wt} wordt gegeven door:

$$\text{Eq. 188} \quad A_{\text{wt}} = \pi \cdot D_{\text{tube}} \cdot L_{\text{tube}} \cdot n_{\text{tube}} \quad (\text{m}^2)$$

met:

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

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

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

B.3 Verdampingskoeling

Verdampingskoeling (of adiabate koeling) bestaat in principe uit een methode om door injectie van water de toevoerlucht van een gebouw te koelen. Er bestaan een groot aantal variaties van deze technologie, met verschillende voorbehandelingen

en recuperatietechnologieën. De prestatie van verdampingskoelsystemen is sterk variabel met de wijze van ontwerp van deze systemen.

Indien gewoon water wordt geïnjecteerd in de toevoerlucht of afvoerlucht dan kan gebruik gemaakt worden van onderstaande methode.

Voor andere meer complexe systemen dient $r_{\text{precool},j,m}$ bepaald te worden volgens het principe van gelijkwaardigheid.

B.3.1 Effectiviteit $e_{\text{precool},m}$ van het voorkoelsysteem

Voor verdampingskoeling is de waarde bij ontstentenis voor de effectiviteit:

$$\text{Eq. 189} \quad e_{\text{precool},m} = 0,8 \cdot w_{\text{evap},m} \quad (-)$$

met:

$w_{\text{evap},m}$ een factor die de werkingstijd van de verdampingskoeling inreket, (-):

$$\text{Eq. 190} \quad \begin{aligned} \text{Als } Q_{\text{cool},\text{net},m} \leq 0 \text{ stel } w_{\text{evap},m} &= 0 \\ \text{Als } Q_{\text{cool},\text{net},m} > 0 \text{ stel } w_{\text{evap},m} &= 1 \end{aligned} \quad (\text{MJ})$$

waarin:

$$\text{Eq. 191} \quad Q_{\text{cool},\text{net},m} = \sum Q_{\text{cool},\text{net},\text{sec } l,m} \quad (\text{MJ})$$

met:

$Q_{\text{cool},\text{net},\text{sec } l,m}$ de maandelijkse netto energiebehoefte voor ruimtekoeling van energiesector l , bepaald zonder de verdampingskoeling in rekening te brengen, in MJ.

Er dient gesommeerd te worden over alle energiesectoren l van de EPN-eenheid die gebruik maken van verdampingskoeling.

B.3.2 Referentietemperatuur voor maximale temperatuurdaling $\theta_{\text{precool},\text{ref},\text{max},m}$

Indien gewoon water wordt geïnjecteerd in de toevoerlucht of afvoerlucht dan is de referentietemperatuur de natteboltemperatuur van de respectievelijke luchtstroom. De waarde bij ontstentenis voor $\theta_{\text{precool},\text{ref},\text{max},m}$ wordt gelijk gesteld aan de maandgemiddelde natteboltemperatuur ontleend aan Tabel [39].

Tabel [39]: andgemiddelde natteboltemperatuur (°C)

Jan	Feb	Maa	Apr	Mei	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Dec
1,9	1,7	3,0	5,9	9,3	12,7	14,6	14,7	12,0	9,7	4,8	2,3