



ISSO-publicatie 57

Warmteverliesberekening voor gebouwen met hoge ruimten

Status

Actueel

Uitgever

ISSO

Herkomst print

{{date-of-print}}

Inhoudsopgave: ISSO-publicatie 57

Warmteverliesberekening voor gebouwen met hoge ruimten

- Samenvatting
- Afkortingen
- Symbolenlijst
- Begrippenlijst
- 1 Inleiding
 - 1.1 Algemeen
 - 1.2 Toepassingsgebied
 - 1.3 Leeswijzer
 - 1.4 Wijzigingen ten opzichte van de eerste druk
- 2 Uitgangspunten
 - 2.1 Uitgangspunten
 - 2.2 Bepaling oppervlakte A van een vlak ten behoeve van transmissieberekening en tijdconstante
 - 2.3 Bepaling van of het oppervlak of de inhoud van een gebouw/ruimte bij het bepalen van de tijdconstante van een gebouw of voor ventilatieberekeningen
 - 2.4 Bepaling U-waarde
 - 2.5 Ontwerpbinnentemperatuur
 - 2.6 Ontwerpbuitencondities
 - 2.6.1 Industrie
 - 2.6.2 Utiliteitsgebouwen
 - 2.6.2.1 Bepaling tijdconstante
 - 2.6.2.2 Specifiek warmteverlies naar de buitenlucht
 - 2.6.2.3 Specifiek warmteverlies naar aangrenzende panden
 - 2.6.2.4 Specifiek warmteverlies naar aangrenzende onverwarmde ruimten
 - 2.6.2.5 Specifiek warmteverlies naar de grond
 - 2.6.2.6 Specifiek warmteverlies door buitenluchtoetreding
- 3 Warmteverliesberekening per vertrek
 - 3.1 Algemeen
 - 3.2 Specifiek warmteverlies naar de buitenlucht
 - 3.3 Specifiek warmteverlies naar verwarmd vertrek in hetzelfde gebouw
 - 3.4 Specifiek warmteverlies naar aangrenzende onverwarmde ruimten
 - 3.5 Specifiek warmteverlies naar aangrenzend pand
 - 3.6 Specifiek warmteverlies naar de grond
 - 3.7 Warmteverlies ten gevolge van toetreding van buitenlucht
 - 3.7.1 Specifiek warmteverlies door infiltratie
 - 3.7.1.1 Industriegebouwen
 - 3.7.1.2 Utiliteitsgebouwen
 - 3.7.2 Ventilatiewarmteverlies
 - 3.7.2.1 Industriegebouwen
 - 3.7.2.2 Utiliteitsgebouwen
 - 3.8 Toeslag voor bedrijfsbeperking
 - 3.8.1 Industriegebouwen
 - 3.8.1.1 Bedrijfsbeperking
 - 3.8.1.2 Toeslag voor de discontinue toevoer/doorvoer van materialen met andere temperatuur dan de vertrektemperatuur
 - 3.8.1.3 Toe te rekenen toeslag voor bedrijfsbeperking/materiaaltoevoer
 - 3.8.2 Utiliteitsgebouwen
 - 3.8.2.1 Specifieke toeslag voor bedrijfsbeperking bij vrije afkoeling
 - 3.8.2.2 Specifieke toeslag voor bedrijfsbeperking bij beperkte afkoeling
 - 3.8.2.3 Toe te rekenen toeslag voor bedrijfsbeperking
 - 3.9 Warmtewinst
- 4 Te installeren vermogen

- 4.1 Aansluitwaarde voor één ruimte
 - 4.1.1 Direct gestookte systemen
 - 4.1.2 Indirect gestookte systemen
- 4.2 Aansluitvermogen voor meerdere ruimten
- 5 Voorbeeld
 - 5.1 Voorbeeld 1
 - 5.2 Voorbeeld 2
- Bijlage A Bepaling van de ontwerpbinnentemperatuur
 - A.1 Algemeen
 - A.2 Bepalen van de kledingweerstand
 - A.3 Gemiddeld activiteitsniveau
 - A.4 Bepaling van toegestane percentage PPD
 - A.5 Bepaling van de optimale operationele temperatuur
- Bijlage B Principes van warmteoverdracht bij verschillende systemen
 - B.1 Wat is het doel van een warmteverliesberekening?
 - B.2 Vloerverwarming
 - B.3 Stralingsverwarming
 - B.4 Luchtverwarming
- Bijlage C Bepaling luchtvolumestromen infiltratie
 - C.1 Globale methode
 - C.2 Luchtstroom door grote openingen
 - C.2.1 Opening(en) in één gevel
 - C.2.2 Openingen in twee of meer gevels
- Bijlage D Berekening van de opbrengst van warmteterugwinning
- Bijlage E Specifieke toeslag voor bedrijfsbeperking industriegebouwen
- Bijlage F Bepaling temperatuur van aangrenzende vertrekken met een warmtebalans
 - F.1 Temperatuur van vertrekken die tot het gebouw behoren
 - F.2 Temperatuur van aangrenzende vertrekken die niet tot het gebouw behoren
 - F.2.1 Specifiek warmteverlies door uitwendige scheidingsconstructies
 - F.2.2 Specifiek warmteverlies naar aangrenzend pand
 - F.2.3 Specifiek warmteverlies door scheidingsconstructies in contact met grond
 - F.2.4 Specifiek warmteverlies ten gevolge van infiltratie
 - F.2.5 Specifiek warmteverlies ten gevolge van ventilatie
- Bijlage G Vraagspecificatieblad
- Bijlage H Grote glasoverkapte ruimte(n)
- Bijlage I Warmtedoorgangcoëfficiënt van een raam
 - I.1 Warmtedoorgangcoëfficiënt van beglazing zonder meerekening van randeffecten
 - I.2 U-waarden van kozijnen
- Bijlage J Bedfordfactor
- Bijlage K Verliezen van kanalen en leidingen in onverwarmde ruimten
 - K.1 Kanaalverliezen
 - K.2 Leidingverliezen
- Literatuurlijst
- Colofon
- Archief

Samenvatting

Deze ISSO-publicatie bevat de berekeningsmethode voor het bepalen van het te installeren vermogen in industriële ruimten en ruimten met een hoogte van meer dan vier meter. De ISSO-publicatie is bedoeld voor installateurs en adviseurs die de verwarming van industriële ruimten en hoge ruimten in utiliteitsgebouwen moeten dimensioneren. De berekeningsmethode kan zowel voor nieuwbouw als voor renovatie c.q. vervanging van verwarmingsinstallaties in de betreffende ruimten gebruikt worden. De methode is geldig voor zowel de direct gestookte verwarmingssystemen als de indirect gestookte verwarmingssystemen zoals die in hoge ruimten worden toegepast.

In de berekeningsmethode wordt onderscheid gemaakt in gebouwen die voldoen aan de (nieuwbouw) eisen van het Bouwbesluit en bestaande gebouwen die er niet aan voldoen.

Het in een ruimte op te stellen vermogen bestaat uit de volgende bijdragen:

1. Het transmissiewarmteverlies;
2. Het ventilatiewarmteverlies;
3. Eventuele toeslagen voor discontinu bedrijf en/of doorvoer of invoer van materialen met een afwijkende temperatuur.

Voor (industriële) ruimten lager dan vier meter die verwarmd worden met radiatoren/vloerverwarming wordt verwezen naar ISSO-publicatie 53. Ruimten van hoger dan vier meter, zowel ruimten in utiliteitsgebouwen als industriegebouwen vallen binnen reikwijdte van deze ISSO-publicatie. De in deze ISSO-publicatie gegeven methode sluit aan bij de NEN-EN 12831-1 [5].

De ISSO-publicatie begint met de uitgangspunten voor het uitvoeren van een warmteverliesberekening in hoge of industriële ruimten. In de volgende hoofdstukken wordt uitgebreider op de methode ingegaan. De berekeningsmethode wordt toegelicht aan de hand van een aantal voorbeelden.

Afkortingen

EPC	Energie Prestatie Coëfficiënt
HR	Hoog rendement
HT	Hoge temperatuur
HTV	Hogetemperatuurverwarming
LT	Lage temperatuur
LTV	Lagetemperatuurverwarming
NEN	Nederlands Normalisatie Instituut
PMV	Predicted Mean Vote
WTW	Warmteterugwinning

Symbolenlijst

Symbool	Omschrijving	Eenheid
a	factor afhankelijk van de lichtsnelheid	[-]
a, b, c, d	parameter bij berekening equivalente warmtedoorgang	[-]
Aa,i ... Ad,i	oppervlakte van de openingen in de gevels a, b, c en d	[m ²]
Ak	oppervlak van de uitwendige scheidingsconstructie k	[m ²]
Amassa	equivalent vloeroppervlak voor verrekening interne massa	[m ²]
Aopen,fac1,i	effectief oppervlak van grote openingen	[m ²]
Aopen,1,i	effectieve oppervlakte van de opening in gevel 1	[m ²]
Aopen,2,i	effectieve oppervlakte van de opening in gevel 2	[m ²]
Avl	vloeroppervlak	[m ²]
Atot	de totale oppervlakte van openingen in de gevels	[m ²]
B	breedte van het gebouw	[m]
B'	geometrische factor	[m]
c	soortelijke warmte van het toegevoerde materiaal	[J/(kg·K)]
ceff	specifieke warmte-inhoud van het gebouw	[Wh/K per m ³]
Cconstr	warmte-inhoud van de constructie	[J/K]
Ceff	effectieve opslagcapaciteit van het gebouw	[Wh/K]
Cinwendig	warmte-inhoud van de binnenwanden en machines, apparatuur en opslag	[J/K]
clo	isolatiewaarde van kledingpakket	[clo]
Cschil	warmte-inhoud van de gebouwmhulling	[J/K]
fgw	grondwaterfactor	[-]
finf	correctiefactor voor invloed van ventilatievoorziening op de infiltratie	[-]
fk	correctie voor temperatuurgradiënten	[-]
fs	correctiefactor voor aanstraling	[-]
ftype	correctiefactor voor gebouwfafhankelijke winddrukverdeling	[-]
fv	correctiefactor voor inblaastemperaturen hoger dan de buitentemperatuur	[-]
fwind	correctiefactor voor invloed van de winddrukgeïnduceerde infiltratie	[-]
h	hoogte van de ruimte c.q. hoogte van de bovenzijde van het deelvlak	[m]
h1-2,i	gemiddeld hoogteverschil tussen het centrum van de ruimte en de openingen in de gevel	[m]
h	hoogte van het gebouw	[m]
H	specifieke warmteverlies	[W/K]
Hg,z	gemiddelde hoogte van de ventilatieopeningen boven de grond	[m]
HT,ia	specifiek warmteverlies naar verwarmde aangrenzend vertrek	[W]
HT,iae	specifiek warmteverlies naar onverwarmde aangrenzend vertrek	[W]
HT,iaBE	specifiek warmteverlies naar burens	[W]
HT,ie	specifiek warmteverlies naar buitenlucht	[W]
HT,ig	specifiek warmteverlies naar de bodem	[W]
Is	thermische isolatie van afzonderlijke kledingstuk	[clo]
kt	hellingshoek	[K/h]
l	afstand tussen de openingen	[m]
L	lengte van het gebouw	[m]
m	massa van het toegevoerde materiaal	[kg]
n	ventilatievoud	[-]
nv	aantal luchtwisselingen	[h ⁻¹]
r	reductiefactor voor circulatievoud	[-]

q_i	volumestroom infiltratielucht	[m ³ /s]
q_{is}	luchtvolumestroom infiltratie per vierkante meter uitwendige scheidingsconstructie	[m ³ /s per m ²]
$q_{i,spec}$	specifieke luchtvolumestroom infiltratie afhankelijk van het gebouwtype en bouwjaar	[m ³ /s per m ²]
$q_{v,open,fac1-2,th,i}$	infiltratiedeel door thermische invloeden bij grote openingen	[m ³ /h]
$q_{v,open,fac1-2,w,i}$	infiltratiedeel door winddruk bij grote openingen	[m ³ /h]
R_c	warmteweerstand van de constructie	[m ² ·K/W]
R_e	warmteovergangsweerstand aan het buitenoppervlak	[m ² ·K/W]
R_i	warmteovergangsweerstand aan het binnenoppervlak	[m ² ·K/W]
R_T	totale warmteovergangsweerstand	[m ² ·K/W]
t	tijd waarin het materiaal opgewarmd wordt	[s]
T_e	ontwerpbuitentemperatuur (= $\theta_e + 273$)	[K]
$U_{equiv,k}$	equivalente warmtedoorgangscoefficiënt	[W/(m ² ·K)]
U_k	warmtedoorgangscoefficiënt van de constructie	[W/(m ² ·K)]
U_T	warmtedoorgangscoefficiënt van de constructie zonder correctie	[W/(m ² ·K)]
v	windsnelheid	[m/s]
v_{fac}	gemiddelde lokale windsnelheid op de gevel	[m/s]
v_{wind}	windsnelheid (volgens meteogegevens) onder ontwerpcondities (= 5 m/s)	[m/s]
V	inhoud van het gebouw gebaseerd op de buitenafmetingen	[m ³]
Y	dimensieloze constante	[-]
z	diepte vloer onder maaiveld	[m]
z	reductiefactor voor in rekening te brengen infiltratie	[-]
z_0	ruwheid van de omgeving	[m]
ΔU	toeslagfactor voor eventuele convectie, bevestigingsmiddelen, omgekeerde daken en bouwkwaliteit	[W/(m ² ·K)]
ΔU_{TB}	toeslag voor thermische bruggen	[W/(m ² ·K)]
$\Delta \theta_{a1}$	temperatuurverlaging t.g.v. temperatuurgelaagdheid aangrenzende ruimte	[K]
$\Delta \theta_{a2}$	temperatuurverlaging t.g.v. temperatuurgelaagdheid aangrenzende ruimte	[K]
$\Delta \theta_{e,\tau}$	temperatuurcorrectie in verband met de tijdconstante van het gebouw	[°C]
$\Delta \theta_{i-e}$	verschil tussen de ontwerptemperatuur buiten en de ontwerpbinrentemperatuur	[K]
$\Delta \theta_1$	temperatuurverhoging t.g.v. temperatuurgelaagdheid (plafondzijde)	[K]
$\Delta \theta_2$	temperatuurverlaging t.g.v. temperatuurgelaagdheid (vloerzijde)	[K]
$\Delta \theta_v$	temperatuurcorrectie voor stralingsinvloeden	[K]
$\varphi_{hu,i}$	specifieke toeslag voor bedrijfsbeperking	[W/m ²]
$\Phi_{add,i}$	toeslag verliezen van leidingen/kanalen in onverwarmde ruimten	[W]
$\Phi_{T,i}$	warmteverlies door transmissie van vertrek i	[W]
$\Phi_{V,i}$	warmteverlies door buitenluchttoetreding van vertrek	[W]
$\Phi_{hu,i}$	toeslag voor opwarming na bedrijfsbeperking en/of materiaaldoorvoer van vertrek i	[W]
$\Phi_{gain,i}$	warmtewinst van vertrek i	[W]
Φ_{vloer}	warmteafgifte van vloerverwarming naar de bodem/kruipruimte	[W]
Φ_{vv}	vermogen van de voorverwarmer van ventilatielucht	[W]
η_{θ}	temperatuurrendement warmteterugwinapparaat	[-]
θ_b	binnentemperatuur van het aangrenzende gebouw	[°C]
θ_e	ontwerpbuitentemperatuur	[°C]
$\theta_{e,0}$	basisontwerpbuitentemperatuur	[°C]
θ_i	ontwerpbinrentemperatuur	[°C]
$\theta_{inblaas}$	inblaastemperatuur	[°C]
θ_l	luchttemperatuur	[°C]
θ_m	temperatuur van toegevoerde materiaal (veelal de buiten temperatuur)	[°C]

θ_{me}	jaarlijks gemiddelde buitentemperatuur	[°C]
θ_o	operatieve temperatuur	[°C]
θ_r	gemiddelde retourtemperatuur	[°C]
θ_s	gemiddelde stralingstemperatuur	[°C]
θ_t	toevoertemperatuur ventilatielucht	[°C]
τ	tijdconstante	[h]

Begrippenlijst

Bedrijfstijd

De tijd gedurende welke de installatie in bedrijf is.

Bedrijfsbeperking

Het buiten werktijd verlagen van de binnentemperatuur.

Circulatievoud

Het volume lucht dat per uur verplaatst wordt, gedeeld door de netto inhoud van de ruimte (deze lucht hoeft niet of niet geheel van buiten te komen, kan ook recirculatielucht zijn); deze waarde wordt gedefinieerd bij de ontwerp binnentemperatuur.

Comforttemperatuur

Temperatuur op 1,1 m hoogte waarbij geldt $-0,5 \leq PMV \leq 0,5$.

Industriefunctie

Het bedrijfsmatig verwerken of opslaan van materialen of goederen of agrarische werkzaamheden.

Infiltratie

Alle lucht die ongecontroleerd een gebouw binnenkomt (door kieren, spleten, niet afsluitbare openingen).

Lichte industriefunctie

Industriefunctie waarin activiteiten plaatsvinden waarbij het verblijven van mensen een ondergeschikte rol speelt.

Ontwerpbinnentemperatuur

Operatieve temperatuur, gemeten op 1,1 m hoogte, behorende bij $PMV = 0$.

Operatieve temperatuur

Deze is gedefinieerd als:

$$\theta_o = a \cdot \theta_l + (1 - a) \cdot \theta_s$$

Waarin:

θ_o	=	operatieve temperatuur	[°C]
θ_l	=	luchttemperatuur	[°C]
θ_s	=	gemiddelde stralingstemperatuur	[°C]
a	=	factor afhankelijk van de luchtsnelheid	[-]

Opwarmtijd

De tijd, onder ontwerpcondities, vanaf het moment van inschakelen van de installatie na een periode van bedrijfsbeperking tot het moment dat de temperatuur behorende bij $PMV = -0,5$ bereikt is.

Optimaliserende regelaar

Regeling waarbij de ingestelde comforttemperatuur automatisch bereikt wordt op het moment dat de werktijd begint en de comforttemperatuur gedurende de werktijd gehandhaafd wordt (de regelaar bepaalt zelfstandig de tijdsduur en grootte van de bedrijfsbeperking).

PMV

(Predicted Mean Vote) gemiddelde voorspelde waardering van het binnenklimaat op basis van de vergelijkingen van Fanger.

Recirculatie

Lucht die uit de ruimte wordt aangezogen en weer aan dezelfde ruimte wordt toegevoerd.

Resulterende temperatuur

Deze is gedefinieerd als:

$$\theta_r = 0,5 \cdot \theta_l + 0,5 \cdot \theta_s$$

Waarin:

θ_l = luchttemperatuur [°C]

θ_s = gemiddelde stralingstemperatuur [°C]

Stralingsverwarming

Verwarmingssysteem dat z'n warmte vooral afgeeft door (neerwaarts gerichte) straling (zwartebuisstraler, indirect gestookt stralingspaneel, open direct gestookte straler). In deze ISSO-publicatie valt vloerverwarming hier niet onder; vloerverwarming wordt apart beschouwd.

Thermische brug

Gedeelte van de uitwendige scheidingsconstructie waar het normale eendimensionale karakter van de warmtestroom significant wijzigt door:

1. Gehele of gedeeltelijke doorbreking van de bouwschil door materialen met verschillende warmtegeleidingscoëfficiënt; en/of
2. Dikteverandering in de bouwschil; en/of
3. Aansluitingen tussen verschillende scheidingsconstructies, zoals wanden, vloeren en plafonds.

Ventilatie

Alle lucht die door regelbare voorzieningen het gebouw binnenkomt (bijv. buitenluchtroosters, ventilatoren).

Verblijfsgebied

Gedeelte van een gebruiksfunctie met ten minste een verkeersruimte, bestaande uit een of meer op dezelfde bouwlaag gelegen aan elkaar grenzende ruimten anders dan een toiletruimte, een badruimte, een technische ruimte of een verkeersruimte.

Verblijfsruimte

Ruimte voor het verblijven van mensen, dan wel een ruimte waarin de voor een gebruiksfunctie kenmerkende activiteiten plaatsvinden.

Verkeersruimte

Een ruimte bestemd voor het bereiken van een andere ruimte, niet zijnde een ruimte in een verblijfsgebied of in een functiegebied, een toiletruimte, een badruimte of een technische ruimte.

Warmtebehoefte van een ruimte

De warmte die onder ontwerpcondities vanuit het vertrek gezien aan het vertrek moet worden toegevoerd om de warmteverliezen van het vertrek te compenseren.

Werktijd

Tijd waarin de ontwerpbinrentemperatuur gerealiseerd moet zijn; echter in de opwarmfase mag $PMV \leq 0$, doch moet groter dan -0,5 zijn.

1 Inleiding

1.1 Algemeen

Tot 1992 was er geen algemene methode voor het bepalen van het warmteverlies van hoge ruimten. In het algemeen gebruikte men door de verschillende leveranciers gehanteerde methoden die veelal op ervaring gebaseerd waren. In 1992 verscheen voor het dimensioneren van verwarmingssystemen met indirect gestookte stralingspanelen ISSO-publicatie 29. Voor de direct gestookte (hoge temperatuur)stralers verscheen in 1994 ISSO-publicatie 34. Zowel ISSO-publicatie 29 als ISSO-publicatie 34 steunden op NEN 5066 en ISSO-publicatie 4. Voor luchtverwarming of vloerverwarming in industriële ruimten was er geen algemene methode voor de dimensionering. Bij deze methoden werd in het algemeen ruim gedimensioneerd omdat er nogal wat onzekerheden waren in de bouwkundige kwaliteit (vooral de luchtdichtheid). Door de eisen van het Bouwbesluit betreffende isolatie en luchtdichtheid wordt in het algemeen beter gebouwd en kan nauwkeuriger gedimensioneerd worden. In 2002 verscheen de eerste uitgave van ISSO-publicatie 57. Deze sloot aan bij de eerste uitgave van NEN-EN 12831 en was aangevuld met praktijkmetingen verricht door de Gasunie [11,12,13].

De in deze ISSO-publicatie gegeven methode sluit aan bij de NEN-EN-12831-1[5] en ISSO-publicatie 53 [10].

1.2 Toepassingsgebied

De voorliggende berekeningsmethode is bedoeld voor het bepalen van het benodigde vermogen voor het verwarmen van industriegebouwen en/of utiliteitsgebouwen met een inwendige hoogte van meer dan vier meter. Veelal zijn deze gebouwen voorzien van verwarmingssystemen als luchtverwarmers, en (in)direct gestookte stralingspanelen of vloerverwarming. Grote glasoverkapte ruimten (vides en atria) kunnen ook met deze ISSO-publicatie berekend worden (zie ook bijlage H).

De methode is niet bedoeld voor het bepalen van het op te stellen vermogen voor terrasverwarming, kasverwarming, stalverwarming of voor het bepalen van het benodigde vermogen van zones waar een hogere temperatuur gewenst wordt (spotverwarming).

De voorliggende berekeningsmethode is ontwikkeld voor industriegebouwen en ruimten met een vertrekhoogte van meer dan vier meter. Voor woningen en woongebouwen wordt verwezen naar ISSO-publicatie 51 [9]. De methode voor utiliteitsgebouwen lager dan 4 meter of industriegebouwen met vertrekken van maximaal vier meter die met radiatoren worden verwarmd, wordt behandeld in ISSO-publicatie 53 [10].

Voor tuinentra in kasachtige gebouwen wordt voor de warmteverliesberekening verwezen naar ISSO-publicatie 86 [20].

Keuze berekeningsmethode op basis van de gebouwsoort

Hierbij wordt aangesloten bij de indeling in gebruiksfuncties zoals die bij het Bouwbesluit gehanteerd worden. Bij een gebouw kunnen meer gebruiksfuncties onder één dak gehuisvest zijn.

De manier van kiezen is als volgt:



Afb. 1.1 Keuzemethodiek

Bij utiliteitsgebouwen waarin zowel vertrekken met een vertrekhoogte kleiner dan vier meter als groter dan vier meter voorkomen moeten de vertrekken met een vertrekhoogte groter dan vier meter uitgerekend worden met ISSO-publicatie 57 en de overige vertrekken met ISSO-publicatie 53. Voor het bepalen van de grootte van de warmteopwekker kan dan weer ISSO-publicatie 53 gebruikt worden.

Toelichting bij de verschillende keuzes:

1. Betreft het een gebouw met woonfunctie?

Toelichting:

Woongebouw: gebouw of gedeelte daarvan met uitsluitend woonfuncties of nevenfuncties daarvan, waarin meer dan een woonfunctie ligt die is aangewezen op een gemeenschappelijke verkeersroute.

Woonfunctie: gebruiksfunctie voor het wonen.

Logiesfunctie: gebruiksfunctie voor het bieden van recreatief verblijf of tijdelijk onderdak aan mensen (zomerhuisje, kamers in een hotel, pension of jeugdherberg, etc.).

Opmerking: Hieronder vallen geen gevangenissen (celfunctie); wel vallen wooneenheden voor bejaarden hieronder;

2. Betreft het ruimten met een industriefunctie die lager zijn dan vier meter en die verwarmd worden met radiatoren of vloerverwarming?

Toelichting:

Industriefunctie: gebruiksfunctie voor bedrijfsmatig verwerken of opslaan van materialen of goederen, of voor agrarische doeleinden (bijvoorbeeld montagehal, werkplaats of het magazijn van een fabriek, de opslagruimte in een pakhuis. Voor stallen van boerderijen gelden vaak aparte eisen en deze vallen daarom buiten het doel van deze ISSO-publicatie;

3. Betreft het ruimten met een vertrekhoogte > 4 m?

Toelichting:

Ruimten met een hoogte > 4 m moeten apart beschouwd worden; veelal hebben deze ruimten een groter verticaal temperatuurverschil en/of andere verwarmingssystemen als de ruimten met een beperkte hoogte (≤ 4 m);

4. Hieronder vallen utiliteitsgebouwen met vertrekhoogten lager dan vier meter.

Toelichting:

Dit zijn ruimten met de in het Bouwbesluit gedefinieerde gebruiksfuncties: bijeenkomstfunctie, celfunctie, gezondheidszorgfunctie, kantoorfunctie, onderwijsfunctie, sportfunctie en/of winkelfunctie.

Tabel 1.1 geeft voorbeelden van toepassing van de verschillende ISSO-publicaties over de warmteverliesberekening.

Tabel 1.1 Welke ISSO-publicatie gebruiken bij verschillende toepassingen

Functie/soort gebouw		ISSO-publicatie 51	ISSO-publicatie 53	ISSO-publicatie 57
Kantoorfunctie	Ruimten ≤ 4 m		x	
	Ruimten > 4 m			x
Woonfunctie/ gezondheidszorgfunctie	Wooneenheden	x		
	Zusterpost		x	
	Restaurant/kantine		x	
Logiesfunctie	Hotel		x	
Winkelfunctie	Winkelgedeelte ≤ 4 m		x	
	Winkelgedeelte > 4 m			x
	Magazijn/opslag en ruimten > 4 m			x
	Bloemenveiling/tuincentrum			x
	Bouwmarkten met een hoogte > 4 meter			x
	Restaurant/kantine		x	
Garagebedrijf	Werkplaats			x
	Magazijn			x
Industriefunctie	Laboratorium (> 4 m)			x
	Scheepswerf			x
	Assemblageruimte			x

1.3 Leeswijzer

In industrieruimten en hoge ruimten in utiliteitsgebouwen worden vaak andere systemen voor verwarming en ventilatie toegepast. Gebouwen als sporthallen, tennishallen, bouwmarkten etc. zijn volgens de terminologie van het Bouwbesluit utiliteitsgebouwen, maar de bouwwijze en de toegepaste systemen zijn zodanig dat ze meer op industriegebouwen lijken en bij het bepalen van de warmteverliesberekening gezien moeten worden als industriegebouwen.

Door de verschillen in de toegepaste systemen en om de utiliteitsgebouwen goed te laten aansluiten bij de berekeningsmethode voor ruimten lager dan vier meter is in een aantal (sub)paragrafen onderscheid gemaakt in utiliteitsbouw en industrie. Hier moet in de berekeningsmethode de van toepassing zijnde methodiek gevolgd worden.

1.4 Wijzigingen ten opzichte van de eerste druk

De belangrijkste wijzigingen zijn:

1. Betere aansluiting van hoge ruimten in utiliteitsgebouwen met andere ruimten in utiliteitsgebouwen bij de berekening van de infiltratie;
2. Toepassing van luchtgordijnen bij grote openingen;
3. De berekening van het warmteverlies door de begane grondvloer is aangepast aan de Europese methode;
4. Aanpassing van de ontwerp-buitentemperatuur;
5. Aanpassing aan de terminologie uit het Bouwbesluit.

2 Uitgangspunten

2.1 Uitgangspunten

Het toepassingsgebied van ISSO-publicatie 57 is bedrijfsruimten (in deze ISSO-publicatie industriegebouwen genoemd) en ruimten in utiliteitsgebouwen hoger dan vier meter.

Gebouwen als sporthallen, tennishallen, bouwmarkten etc. zijn volgens de terminologie van het Bouwbesluit utiliteitsgebouwen, maar de bouwwijze is zodanig dat ze meer op industriegebouwen lijken en bij het bepalen van de warmteverliesberekening gezien moeten worden als industriegebouwen.

De warmteverliesberekening bepaalt het vermogen dat onder ontwerpcondities nodig is om een gebouw of ruimte op temperatuur te houden of na een periode van bedrijfsbeperking (nachtverlaging) weer binnen een redelijke termijn op temperatuur te brengen.

In paragraaf 2.5 wordt ingegaan op het bepalen van de ontwerpinnencondities. Paragraaf 2.6 geeft de methode voor het bepalen van de ontwerpuitendcondities.

De warmteverliesberekening is samengesteld uit vijf componenten:

1. Warmteverlies door transmissie;
2. Warmteverlies door buitenluchttoetreding;
3. Toeslag voor discontinu gebruik;
4. Reductie door constant aanwezige interne warmtelasten;
5. Doorvoer/toevoer materialen met een andere temperatuur.

De toeslag voor discontinu gebruik is optioneel en moet in overleg met de opdrachtgever worden vastgesteld.

Toelichting op het warmteverlies door transmissie

De transmissieberekening berekent hoeveel warmte vanuit het vertrek gezien moet worden toegevoerd om het warmteverlies door wanden, vloer en plafond te compenseren. Vanuit het vertrek gezien wil zeggen dat er geen warmteverlies optreedt door verwarmde delen als bijvoorbeeld vloerverwarming, wandverwarming of betonkernactivering (deze oppervlakken hebben een temperatuur die gelijk of hoger is dan de vertrektemperatuur). De warmteverliesberekening bepaalt hoeveel warmte deze systemen aan de vertrekzijde moeten afgeven. Dit is dus niet gelijk aan het totale vermogen van de vloerverwarming, wandverwarming of betonkernactivering. Het aan de andere zijde afgegeven vermogen wordt wel in rekening gebracht bij de dimensionering van de warmteopwekker (warmteafgifte van bijvoorbeeld vloerverwarming aan de kruipruimte/ondergrond is warmteverlies van het vloerverwarmingssysteem en moet wel door de warmteopwekker geleverd worden).

Toelichting bij het warmteverlies door buitenluchttoetreding

Lucht die in het vertrek komt met een lagere temperatuur dan de vertrektemperatuur moet opgewarmd worden tot de vertrektemperatuur. Hiervoor is vermogen nodig.

De buitenluchttoetreding bestaat uit twee componenten:

1. Infiltratie: lucht die toetreedt door kieren en naden (is er altijd en voor alle niet-inpandige ruimten);
2. Ventilatie: lucht die toetreedt door daarvoor aangebrachte voorzieningen (bijvoorbeeld mechanische toevoer of toevoer door buitenluchtroosters).

De infiltratielucht heeft voor de warmteverliesberekening altijd de ontwerpuitentemperatuur. Bij ventilatielucht zijn er veel verschillen. Bij systemen met toevoerroosters in de gevel heeft de ventilatielucht altijd de ontwerpuitentemperatuur. Dit geldt ook voor andere systemen tenzij er sprake is van voorverwarming (bijvoorbeeld door WTW).

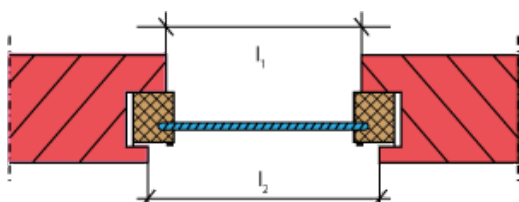
Bij vraaggestuurde systemen moet voor de warmteverliesberekening altijd de ontwerpwaarde (= maximumwaarde) worden aangehouden. Vraagsturing betreft een reductie van de luchtvolumestroom gedurende een deel van de tijd en heeft dus alleen invloed op het energiegebruik en niet de maximale warmtebehoefte.

2.2 Bepaling oppervlakte A van een vlak ten behoeve van transmissieberekening en tijdconstante

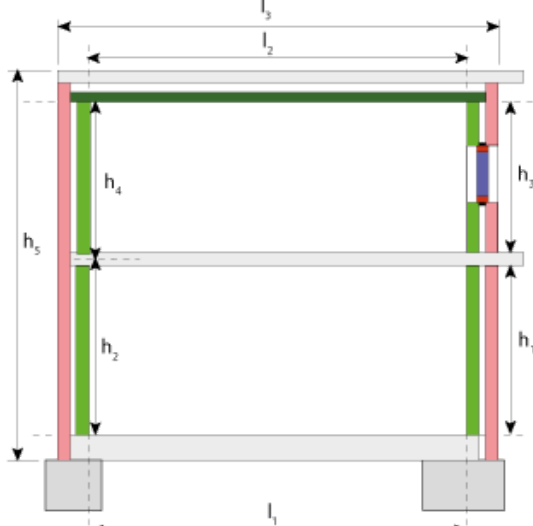
De oppervlakte van een vlak wordt berekend uit de afmetingen zoals die gedefinieerd zijn in NEN 1068 [1]. Voor vlakke wanden en schuine daken zie ook afbeelding 2.3.

De belangrijkste definities zijn:

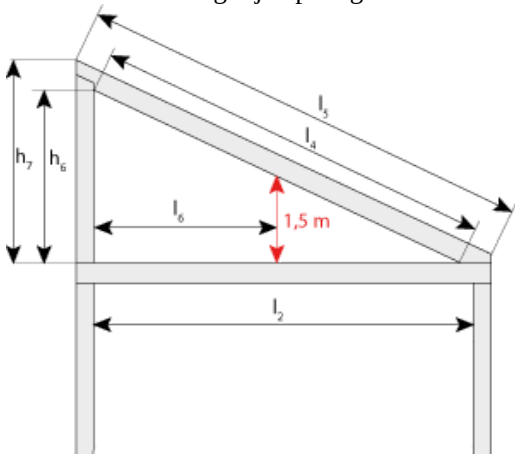
1. Bij vloeren geldt dat uitgegaan wordt van de binnenafmetingen (afmeting I2);
2. Bij verticale wanden is de maat afhankelijk van de constructie (zie ook afbeeldingen 2.2 en 2.4):
 1. Bij een door de wand heenlopende vloer wordt de maat genomen tot de vloer (binnenmaat; afmeting h1);
 2. Bij een niet door de wand lopende vloer wordt de halve vloerdikte bij de bepaling van de hoogte meegenomen (afmeting h2).
3. Bij schuine wanden/daken wordt bij de hoogte uitgegaan van de binnenafmetingen (I4 en h6);
4. Bij aansluiting van wanden via een kolom wordt uitgegaan van de binnenafmetingen (I7);
5. Voor ramen en deuren (inclusief kozijn) moet worden uitgegaan van het grootste oppervlak van binnen of buiten gezien (afmeting I2 in afbeelding 2.1).



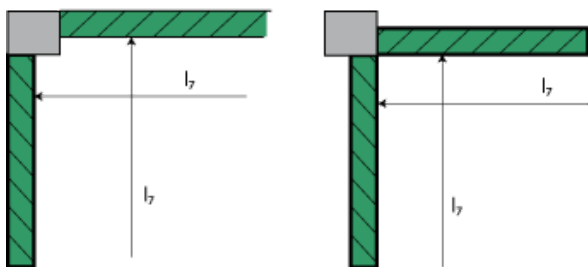
Afb. 2.1 Toelichting bepaling afmetingen raam/deur



Afb. 2.2 Toelichting bij bepaling van de afmetingen



Afb. 2.3 Toelichting bij bepaling van de afmetingen bij schuine daken
Bovenaanzicht bij wandaansluitingen met een kolom:



Afb. 2.4 Toelichting bij bepaling van de afmetingen bij kolommen

2.3 Bepaling van of het oppervlak of de inhoud van een gebouw/ruimte bij het bepalen van de tijdconstante van een gebouw of voor ventilatieberekeningen

Tijdconstante

Bij het bepalen van de inhoud van een gebouw ten behoeve van de bepaling van de tijdconstante van een gebouw moet worden uitgegaan van de buitenafmetingen.

Ventilatieberekeningen

Bij het bepalen van het vloeroppervlak ten behoeve van het bepalen van de vereiste hoeveelheid ventilatie moet worden uitgegaan van het gebruiksoppervlak. Bij rechthoekige ruimten moet worden uitgegaan van afmeting l2; bij schuine daken moet worden uitgegaan van afmeting l6. Voor het bepalen van de infiltratie wordt het gehele (binnen)oppervlak in rekening gebracht.

Bij het bepalen van de inhoud van een rechthoekige ruimte moet uitgegaan worden van de binnenafmetingen van een ruimte (afmetingen l2 en h1); bij een schilberekening moet uitgegaan worden van de afmetingen binnen de gebouwschil (incl. eventuele tussenvloeren en/of binnenwanden; afmetingen l3 en h5). Bij het bepalen van de inhoud van ruimten met een schuin dak moet worden uitgegaan van de lengte (afmeting l2) en de gemiddelde hoogte ($0,5 \cdot (h6)$).

2.4 Bepaling U-waarde

Niet-transparante delen

Indien de gemiddelde U-waarde van een constructie U_k niet bekend is moet deze worden bepaald volgens NEN 1068 [1]. Voor het bepalen van de U-waarden van constructies kan gebruik gemaakt worden van het ISSO-kleintje U- en Rc-waarden van bouwkundige constructies (herziene uitgave 2014) [2].

Indien de warmteweerstand van een constructie (R_c) bekend is moet de U-waarde berekend worden uit de R_c -waarde met behulp van formule 2.2 voor constructies grenzend aan de buitenlucht of formule 2.3 voor constructies die niet grenzen aan de buitenlucht. De U-waarde voor nieuwe materialen heeft een correctie voor praktisch gebruik (invloed van bevestigingsmiddelen, veroudering, vocht, vervuiling etc.):

$$U = U_T + \Delta U \quad [W/(m^2 \cdot K)] \quad (2.1)$$

$$U_T = \frac{1}{R_T} = \frac{1}{R_i + R_c + R_e} \quad [W/(m^2 \cdot K)] \quad (2.2)$$

of

$$U_T = \frac{1}{R_T} = \frac{1}{R_i + R_c + R_i} \quad [W/(m^2 \cdot K)] \quad (2.3)$$

Waarin:

R_i	= warmteovergangswaarde aan het binnenoppervlak	$[m^2 \cdot K/W]$
R_c	= warmteovergangswaarde van de constructie	$[m^2 \cdot K/W]$
R_e	= warmteovergangswaarde aan het buitenoppervlak	$[m^2 \cdot K/W]$
R_T	= totale warmteovergangswaarde	$[m^2 \cdot K/W]$
U	= warmtegeleidingscoëfficiënt van de constructie	$[W/(m^2 \cdot K)]$
U_T	= warmtegeleidingscoëfficiënt van de constructie zonder correctie	$[W/(m^2 \cdot K)]$
ΔU	= toeslagfactor voor eventuele convectie, bevestigingsmiddelen, omgekeerde daken en bouwkwiteit (zie NEN 1068 of bijlage I)	$[W/(m^2 \cdot K)]$

Opmerking: De gegeven U-waarden in het ISSO-kleintje U- en R_c -waarden [2] zijn conform de NEN 1068 [1]. Hierin is de toeslagfactor ΔU al meegenomen.

Transparante delen

Bij het bepalen van de U-waarde van raamsystemen kan niet volstaan worden met de U-waarde van de beglazing. Met name bij zeer goed isolerende beglazing moet de invloed van het (in het algemeen slechter geïsoleerde) kozijn in de berekening betrokken worden. Voor het bepalen van de warmtegeleidingscoëfficiënt van ramen en deuren moet plaatsvinden conform NEN 1068 (zie ook bijlage I).

2.5 Ontwerpbinnentemperatuur

Het behaaglijkheidsgevoel wordt niet alleen beïnvloed door de luchttemperatuur in een ruimte, maar ook door de oppervlaktetemperatuur van de omringende vlakken met inbegrip van eventuele verwarmingslichamen (gemiddelde stralingstemperatuur).

Bij de ontwerpberekening van een verwarmingsinstallatie is het noodzakelijk de ontwerpbinnentemperatuur helder te formuleren.

Internationaal wordt de operationele temperatuur als ontwerpbinnentemperatuur gebruikt.

De operationele temperatuur is gedefinieerd als:

$$\theta_o = a \cdot \theta_l + (1 - a) \cdot \theta_s \quad [^\circ C] \quad (2.4)$$

Waarin:

θ_o	=	operationele temperatuur	$[^\circ C]$
θ_l	=	luchttemperatuur	$[^\circ C]$
θ_s	=	stralingstemperatuur	$[^\circ C]$
a	=	factor afhankelijk van de luchtsnelheid	$[-]$

Voor de factor a geldt:

$a = 0,5$ indien de luchtsnelheid rond de persoon $\leq 0,2$ m/s is;

$0,75$ voor luchtsnelheden rond de persoon die tussen $0,2$ m/s en 1 m/s liggen.

In deze ISSO-publicatie wordt de operationele temperatuur als ontwerpbinnentemperatuur gebruikt. De ontwerpbinnentemperatuur wordt bepaald op basis van de activiteit en de kleding van de werknemers volgens de methode zoals die gegeven is in bijlage A of volgt uit waarden zoals die opgenomen zijn in tabel 2.1.

Tabel 2.1 Richtwaarden voor de ontwerpbinnentemperatuur θ_i in $^\circ C$

Soort activiteit	Ontwerpbinnentemperatuur θ_i (PMV = 0) [°C]	Temperatuur bij PMV = -0,51 [°C]
Lage activiteit; algemeen zittend werk bijvoorbeeld, kantoor, laboratorium	20	17
Lage activiteit; algemeen zittend werk en af en toe opstaan en lopen (< 3,5 km/h)	18	15
Matige activiteit; lichte industrie met arm- en handarbeid of lopen met snelheid tussen 3,5 en 5,5, km/h	15	12
Hoge activiteit; zware industrie met hand- en armarbeid c.q. dragen van lasten	10	7
Zeer hoge activiteit; zware arm- en romparbeid en sjouwen	8	5

1) Alleen t.b.v. opwarming; ontwerpbinnentemperatuur is temperatuur bij PMV = 0.
Bij ontwerpbinnentemperaturen die niet in de tabel zijn opgenomen of afwijkende temperaturen moet overleg met de opdrachtgever plaatsvinden en moet dit goed worden vastgelegd bij de aanbidding.

Temperatuurgelaagdheid en correctie van de (comfort)temperatuur bij berekening van de warmteverliezen door buitenluchttoetreding

De verschillende principes van warmteoverdracht en de manier waarop deze principes in de warmteverliesberekening verrekend worden, zijn gegeven in bijlage B.

Tabel 2.2, gebaseerd op bijlage B, geeft de waarden voor de temperatuurgradiënt en de correctie van de temperatuur voor bepaling van de warmteverliezen door buitenluchttoetreding.

Bij het bepalen van het warmteverlies door buitenluchttoetreding wordt uitgegaan van de gemiddelde temperatuur in de ruimte.

Bij het bepalen van het warmteverlies door transmissie van verticale wanden en/of schuine wanden wordt uitgegaan van de gemiddelde temperatuur van deze wand. Bij deelvlakken (bijvoorbeeld een strook glas in een wand) moet worden uitgegaan van de gemiddelde temperatuur op de hoogte van het deelvlak.

Luchtbehandelingskasten (LBK's) zijn te beschouwen als luchtverwarming.

Tabel 2.2 Waarden voor $\delta\theta_1$, $\delta\theta_2$ en $\Delta\theta_v$ onder ontwerpcondities voor verwarmde ruimten met een hoogte h_4)

Verwarmingssystemen voor hoge ruimten		$\delta\theta_1$ [K/m]	$\delta\theta_2$ [K/m]	$\Delta\theta_v$ 5) [K]
Radiatoren6)		0,60	-1	0
Stralingsverwarming	Zwartebuisstralers3)	0,5	0	-1,5
	IR open stralers3)	0,9	0	-1,5
	Indirect gestookte stralingspanelen3)	0,5	0	-1,0
Vloerverwarming		0,20	0	-1,0
Luchtverwarming	HT circulatievoud 1) 2)	1,3	-1	0
	LT circulatievoud 1) 2)	1,1	-1	0

1) HT = $\theta_{inblaas} - \theta_{ruimte} \geq 30$ K, LT = $\theta_{inblaas} - \theta_{ruimte} < 30$ K

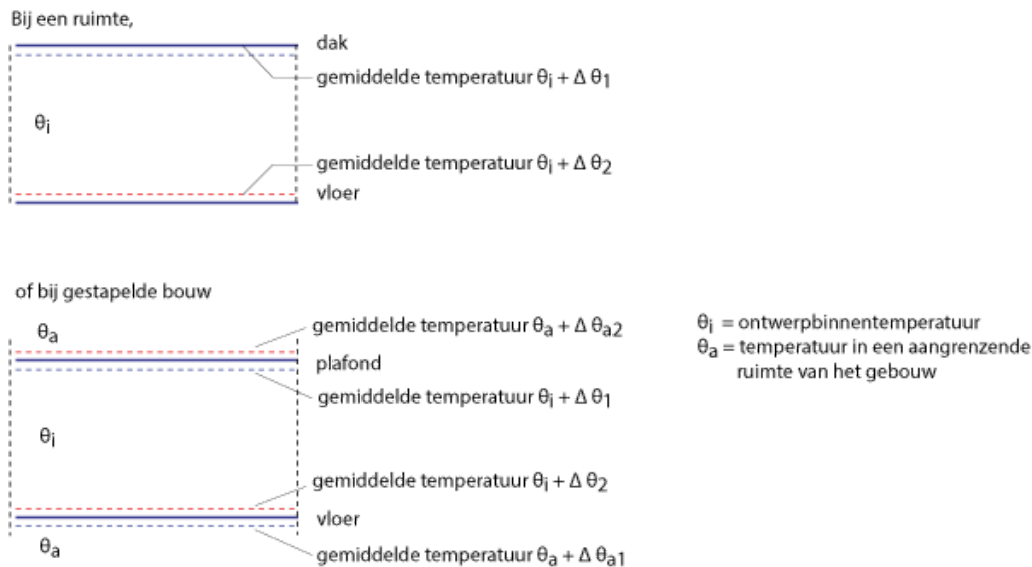
2) Circulatievoud minimaal volgens tabel 2.3. De invloed van het circulatievoud op de temperatuurgradiënt volgt uit tabel 2.4 door vermenigvuldiging van de temperatuurgradiënt met reductiefactor r . De in deze tabel gegeven waarden gelden bij een circulatievoud van 1.

3) Dit is een gemiddelde waarde over de hal; boven de stralers is de temperatuurgradiënt veel hoger dan eronder; bij de IR open stralers 1,5 K/m boven de stralers en 1 K/m boven de andere stralers.

4) Dit is de hoogte tot het dakoppervlak; extra hoogte bij lichtkoepels en punten van sheddaken wordt niet meegeteld.

5) $\Delta\theta_v$ is afhankelijk van het ventilatievoud. Uitgegaan is van voorverwarming van de ventilatielucht bij grote ventilatiebehoeften.

6) Niet aan te bevelen voor ruimten hoger dan vier meter.



Afb. 2.5 Temperatuurgelaagdheid in de beschouwde ruimte

Tabel 2.3 Minimaal circulatievoud afhankelijk van de inhoud van de ruimte

Ruimte inhoud [m ³]	Circulatievoud [-]
1.000	6
2.000	5
3.000	4
5.000	3
7.000	2,5
9.000	2
12.000	1,5

Tabel 2.4 Reductiefactor r afhankelijk van het circulatievoud

Circulatievoud [h ⁻¹]	Reductiefactor r [-]
1	1
3	0,6
5	0,41
7	0,3
10	0,2
15	0,15

Bepaling van $\Delta\theta_1$ en $\Delta\theta_{a1}$

Vooral bij luchtverwarming is de verticale temperatuurgradiënt sterk afhankelijk van het circulatievoud. Ook bij stralingsverwarming kan door het circulatievoud te verhogen de verticale temperatuurgradiënt verlaagd worden. In tabel 2.2 zijn de waarden gegeven voor stralingsverwarming zonder ondersteuningsventilatoren en luchtverwarming met een circulatievoud van 1. Voor hogere circulatievouden volgt uit afbeelding 2.4 een reductiefactor r.

De temperatuurverhoging $\Delta\theta_1$ resp. $\Delta\theta_{a1}$ ten gevolge van de verticale temperatuurgradiënt volgt uit:

$$\Delta\theta_1 = \Delta\theta_{a1} = r \cdot \delta\theta_1 \cdot (h - 1) \quad [\text{K}] \quad (2.5)$$

Waarin:

- r = reductiefactor voor circulatievoud volgens afbeelding 2.4 [-]
 $\delta\theta_1$ = grootte van de verticale temperatuurgradiënt volgens tabel 2.2 [K/m]
h = hoogte van de ruimte of hoogte van de bovenzijde van het deelvlak [m]

Voor luchtverwarming met hooginducerende luchttoevoer kan worden uitgegaan van een circulatievoud van minimaal 10.

Bepaling van $\Delta\theta_2$ en $\Delta\theta_{a2}$

Voor de temperatuurcorrectie $\Delta\theta_2$ resp. $\Delta\theta_{a2}$ ten gevolge van het verticale temperatuurverloop geldt indien de onderzijde van het (deel)vlak minder dan 1 meter boven de vloer ligt:

$$\Delta\theta_2 = \delta\theta_2 \cdot (1 - h) \quad [\text{K}] \quad (2.6)$$

Voor alle andere gevallen geldt:

$$\Delta\theta_2 = r \cdot \delta\theta_1 \cdot (h - 1) \quad [\text{K}] \quad (2.7)$$

Waarin:

r	=	reductiefactor voor circulatievoud volgens afbeelding 2.4	[-]
$\delta\theta_1$	=	grootte van de verticale temperatuurgradiënt volgens tabel 2.2	[K/m]
$\delta\theta_2$	=	grootte van de temperatuurcorrectie volgens tabel 2.2	[K/m]
h	=	hoogte van de onderzijde van het (deel)vlak boven de vloer	[m]

2.6 Ontwerpbuitencondities

De methode voor het vastleggen van de ontwerpbuitencondities voor warmteverliesberekeningen is vastgelegd in NEN-EN-12831-1[5]. Hierin is bepaald dat de ontwerpbuitentemperatuur bestaat uit een zgn. basisontwerpbuitentemperatuur verminderd met een term waarin de invloed van de thermische massa van een gebouw verrekend wordt.

2.6.1 Industrie

Voor industriegebouwen waarbij de buitenwanden zijn opgebouwd uit niet-steenachtige materialen is de invloed van de thermische massa gering. Hiervoor geldt dat de ontwerpbuitentemperatuur θ_e gelijk is aan -10°C .

2.6.2 Utiliteitsgebouwen

De ontwerpbuitentemperatuur θ_e volgt uit:

$$\theta_e = \theta_{e,0} + \Delta\theta_{e,\tau} \quad [^\circ\text{C}] \quad (2.8)$$

Waarin:

$\theta_{e,0}$	=	basisontwerpbuitentemperatuur (-10°C)	[$^\circ\text{C}$]
$\Delta\theta_{e,\tau}$	=	temperatuurcorrectie in verband met de tijdconstante van het gebouw	[$^\circ\text{C}$]

De methode voor het vastleggen van de basisontwerpbuitencondities voor warmteverliesberekeningen is vastgelegd in NEN-EN-ISO 15927-5. Hieruit volgt voor Nederland een waarde van $-8,4^\circ\text{C}$ bij selectie op basis van tweedaagse gemiddelden. Bij selectie op basis van dagelijkse gemiddelden wordt een lagere waarde nl. $-13,6^\circ\text{C}$ gevonden. Deze waarde geldt met name voor thermisch lichte gebouwen.

Voorheen werd uitgegaan van -10°C . Aangezien deze waarde algemeen aanvaard wordt en tussen de waarde van thermisch lichte en zware woningen in zit is besloten de basisontwerpbuitentemperatuur te handhaven op -10°C . De hierbij horende windsnelheid ten behoeve van bepaling van infiltratie is 5 m/s.

Opmerking: In NEN-EN 12831-1 is bij het bepalen van de ontwerpbasistemperatuur de mogelijkheid opgenomen een correctie op te nemen voor gebouwen die of zeer hoog zijn of op een hoog gelegen locatie gebouwd zijn. Aangezien de correctie $-0,7$ graden per 100 meter hoogte is en Nederland relatief vlak is, is besloten deze term voor Nederland niet in rekening te brengen.

De temperatuurcorrectie $\Delta\theta_{e,\tau}$ voor de tijdconstante van een gebouw volgt uit vergelijking 2.9:

$$\Delta\theta_{e,\tau} = 0,016 \cdot \tau - 0,8 \quad [\text{K}] \quad (2.9)$$

Voor de waarde van $\Delta\theta_{e,\tau}$ geldt dat deze minimaal 0 K en maximaal 4 K is.

Indien: $\Delta\theta_{e,\tau} < 0$ dan geldt $\Delta\theta_{e,\tau} = 0$.

Indien: $\Delta\theta_{e,\tau} > 4$ dan geldt $\Delta\theta_{e,\tau} = 4$.

De waarde van $\Delta\theta_{e,\tau}$ moet worden afgerond op halve graden.

De waarde van $\Delta\theta_{e,\tau}$ wordt bepaald voor het gehele gebouw. Heeft een industriegebouw aparte kantoorvertrekken, vergaderruimten en/of een kantine die niet in de industriehal gelegen zijn, dan moet voor deze ruimten gezamenlijk de waarde van $\Delta\theta_{e,\tau}$ bepaald worden. Wordt de berekening uitgevoerd voor één vertrek of een gedeelte van het gebouw, mag de $\Delta\theta_{e,\tau}$ bepaald worden voor dat gedeelte van het gebouw of dat vertrek.

2.6.2.1 Bepaling tijdconstante

De tijdconstante τ van een gebouw volgt uit:

$$\tau = C_{eff}/H \quad [\text{s}] \quad (2.10)$$

Waarin:

C_{eff} = effectieve opslagcapaciteit van het gebouw [Wh/K]

H = specifieke warmteverlies [W/K]

De bepaling van de warmte-inhoud/effectieve opslagcapaciteit C_{eff} van het gebouw gebeurt in twee delen:

1. Warmte-inhoud van de constructiedelen die deel uitmaken van de uitwendige scheidingsconstructie (schil);
2. Warmte-inhoud van de inwendige constructiedelen.

De warmte-inhoud van een constructiedeel wordt bepaald door:

$$C_{constr} = \sum_{i=1}^{\text{alle lagen}} (d_i \cdot A_i \cdot \rho \cdot c_p \cdot f_{wm}) \quad [\text{J/K}] \quad (2.11)$$

Waarin:

d_i = thermisch effectieve dikte; bij steenachtige constructies ($\rho \geq 1000 \text{ kg/m}^3$); 200 mm (echter nooit meer dan de helft van de totale dikte); bij gelaagde constructies de dikte van het binnenblad (tot de isolatie ($\lambda \leq 0,1 \text{ W/(m}\cdot\text{K)}$)/spouw of tot een maximum van 200 mm) [m]

A_i = oppervlakte van het betreffende vlak, bepaald volgens paragraaf 2.3 [m²]

ρ = dichtheid van het materiaal [kg/m³]

c_p = soortelijke warmte [J/(kg·K)]

f_{wm} = reductiefactor om bij wanden/vloer/plafond en met isolerende deklagen de verminderde warmte-indringing in rekening te brengen [-]
 $f_{wm} = 0,7$ voor tapijt, lambrizing, verlaagd plafond
 $f_{wm} = 1,0$ voor pleisterlagen

$C_{schil} = \sum C_{constr}$ over alle uitwendige scheidingsconstructies

$$C_{inwendig} = \sum C_{constr} \text{ inw} + \sum C_{massa} \quad [\text{Wh/K}] \quad (2.12)$$

Waarin:

$\sum C_{constr} \text{ inw}$ = warmte-inhoud over alle inwendige constructiedelen (zie formule 2.11) [J/K]

$\sum C_{massa}$ = warmte-inhoud van machines, apparatuur, opslag in de ruimte [J/K]

$$C_{\text{massa}} = m \cdot c_p \quad [\text{J/K}] \quad (2.13)$$

Waarin:

$$\begin{aligned} m &= \text{massa van de machines, apparatuur, opslag} & [\text{kg}] \\ c_p &= \text{soortelijke warmte} & [\text{J}/(\text{kg} \cdot \text{K})] \end{aligned}$$

Opmerking: Materiaal dat opgeslagen is in kartonnen dozen wordt door de isolerende werking van het karton niet meegenomen bij het bepalen van de massa van machines, apparatuur en opslag.

$$C_{\text{eff}} = (0,7 \cdot C_{\text{inwendig}} + 0,5 \cdot C_{\text{schil}}) / 3600 \quad [\text{Wh/K}] \quad (2.14)$$

Het specifieke warmteverlies H van het gebouw volgt uit:

$$H = \Sigma H_{T,ie} + \Sigma H_{T,iaBE} + \Sigma H_{T,iae} + \Sigma H_{T,ig} + H_v \quad [\text{W/K}] \quad (2.15)$$

Waarin:

$$\begin{aligned} \Sigma H_{T,ie} &= \text{specifiek warmteverlies naar de buitenlucht bepaald conform paragraaf 2.6.2.2} & [\text{W/K}] \\ \Sigma H_{T,iaBE} &= \text{specifiek warmteverlies naar aangrenzende panden bepaald conform paragraaf 2.6.2.3} & [\text{W/K}] \\ \Sigma H_{T,iae} &= \text{specifiek warmteverlies naar de buitenlucht via aangrenzende onverwarmde ruimten bepaald conform paragraaf 2.6.2.4} & [\text{W/K}] \\ \Sigma H_{T,ig} &= \text{specifiek warmteverlies naar de bodem bepaald conform paragraaf 2.6.2.5} & [\text{W/K}] \\ H_v &= \text{specifiek warmteverlies door buitenluchttoetreding bepaald conform paragraaf 2.6.2.6} & [\text{W/K}] \end{aligned}$$

Opmerking: Bij het bepalen van het specifieke warmteverlies van een gebouw ten behoeve van de bepaling van de tijdconstante van het gebouw wordt uitgegaan van de volgende randvoorwaarden:

1. De buitentemperatuur $\theta_e = -10^\circ\text{C}$;
2. Er zijn geen temperatuurgradiënten t.g.v. verwarming;
3. Voor het in rekening brengen van koudebruggen wordt uitgegaan van $\Delta U_{TB} = 0,1$.

Voor gebouwen waarvan niet alle wandgegevens beschikbaar zijn, maar wel de U-waarden kan de volgende benadering gebruikt worden om de warmte-inhoud C_{eff} van de constructie te bepalen:

$$C_{\text{eff}} = c_{\text{eff}} \cdot V \quad [\text{Wh/K}] \quad (2.16)$$

Waarin:

$$\begin{aligned} c_{\text{eff}} &= \text{specifieke warmte-inhoud van het gebouw volgens tabel 2.5} & [\text{Wh/K per m}^3] \\ V &= \text{inhoud van het gebouw gebaseerd op de buitenafmetingen} & [\text{m}^3] \end{aligned}$$

Tabel 2.5 Waarde van c_{eff}

Thermische massa	Omschrijving	ceff [Wh/ (m³·K)]
Laag	Lichte constructie zoals: 1. Lichte daken; 2. Lichte wanden (houtskeletbouw en sandwichpanelen).	15
	Verlaagde plafonds	
	Verhoogde vloeren	
Gemiddeld	Lage volumeverhouding intern – extern (kleine hoge vertrekken, dikke wanden)	50
	Hoofdzakelijk middelzware constructies: 1. Buitenwanden/wanden naar aangrenzend pand van beton of steenachtig ($\rho \geq 1000 \text{ kg/m}^3$) 2. Betonnen vloeren/plafonds 3. Binnenwanden gips/gasbeton/cellenbeton 4. Wand naar aangrenzend pand kalkzandsteen/beton	
Zwaar	Lage volumeverhouding intern – extern (kleine hoge vertrekken, dikke	75
	Hoofdzakelijk zware constructies: 1. Wanden van beton of steenachtig ($\rho \geq 1500 \text{ kg/m}^3$); 2. Betonnen vloeren/plafonds.	

2.6.2.2 Specifiek warmteverlies naar de buitenlucht

Voor het specifieke warmteverlies HT_{ie} van het gebouw naar de buitenlucht via de aan de buitenlucht grenzende omhulling (schil) geldt:

$$\sum_k HT_{ie} = \sum_k (A_k \cdot (U_k + 0,1)) \quad [W/K] \quad (2.17)$$

Waarin:

A_k = oppervlak van de uitwendige scheidingsconstructies bepaald volgens 2.2 [m²]

U_k = warmtedoorgangscoefficiënt van de uitwendige scheidingsconstructie bepaald volgens paragraaf 2.4 [W/(m²·K)]

0,1 = toeslag voor thermische bruggen [W/(m²·K)]

2.6.2.3 Specifiek warmteverlies naar aangrenzende panden

Voor het specifieke warmteverlies HT_{iaBE} van het gebouw naar aangrenzende panden (naast gelegen, boven en/of onder) geldt:

$$HT_{iaBE} = \sum_k (A_k \cdot U_k \cdot f_{ia,k}) \quad [W/K] \quad (2.18)$$

Waarin:

A_k = oppervlakte wand/vloer/plafond k bepaald volgens paragraaf 2.2 [m²]

U_k = warmtedoorgangscoefficiënt van wand k bepaald volgens paragraaf 2.4 [W/(m²·K)]

$f_{ia,k}$ = correctiefactor voor aanpassing temperatuurverschil tussen ontwerp binnentemperatuur en temperatuur aangrenzende ruimte [-]

Voor de waarde van de correctiefactor $f_{ia,k}$ geldt:

$$f_{ia,k} = \frac{\theta_i - \theta_b}{\theta_i + 10} \quad [-] \quad (2.19)$$

Waarin:

θ_b	=	binnentemperatuur van het aangrenzende gebouw	[°C]
θ_i	=	ontwerp binnentemperatuur	[°C]

Voor de temperatuur θ_b van het aangrenzende gebouw geldt:

1. $\theta_b = 15$ °C aangrenzende kantoren en winkels en bovengelegen woningen;
2. $\theta_b = 5$ °C indien aangrenzend pand vorstvrij wordt gehouden;
3. $\theta_b = \theta_e$ voor aangrenzende stallingsruimten.

2.6.2.4 Specifiek warmteverlies naar aangrenzende onverwarmde ruimten

Het specifieke warmteverlies $HT_{,iae}$ naar de buitenlucht via aangrenzende onverwarmde ruimten (bijv. kruipruimte, stallingsruimte, onverwarmde berging, etc.) volgt uit:

$$HT_{,iae} = \sum k (A_k \cdot U_k \cdot f_k) \quad [W/K] \quad (2.20)$$

Waarin:

A_k	=	oppervlakte wand k bepaald volgens paragraaf 2.2	[m ²]
U_k	=	warmtedoorgangscoefficiënt van wand k bepaald volgens paragraaf 2.4	[W/(m ² ·K)]
f_k	=	correctiefactor voor aanpassing temperatuurverschil tussen ontwerp binnentemperatuur en ontwerp buitentemperatuur resp. temperatuur aangrenzende ruimte	[-]

De correctiefactor f_k volgt uit tabel 2.6

Tabel 2.6 Waarden voor de correctiefactor f_k

Omschrijving van de aangrenzende onverwarmde ruimte	f_k [-]
Ruimte met één buitenwand	0,4
Kelder, vorstvrije ruimte	0,5
Ruimte met twee buitenwanden	0,6
Kruipruimte, trappenhuis, ruimten met drie of meer buitenwanden	0,8
Stallingsruimte, goed geventileerde ruimten	1,0

2.6.2.5 Specifiek warmteverlies naar de grond

Het specifieke warmteverlies $HT_{,ig}$ door uitwendige scheidingsconstructies (wanden en vloeren) in contact met de grond volgt uit:

$$\sum k HT_{,ig} = 1,45 \cdot f_s \cdot \sum k (A_k \cdot U_{equiv,k} \cdot fgw \cdot 0,37) \quad [W/K] \quad (2.21)$$

Waarin:

$\sum k$	=	sommatie over alle uitwendige scheidingsconstructies in contact met de grond	[-]
A_k	=	oppervlakte van vlak k, dat in contact is met de grond bepaald volgens 2.2	[m ²]
$U_{equiv,k}$	=	equivalente warmtedoorgangscoefficiënt	[W/(m ² ·K)]
fgw	=	grondwaterfactor	[-]
f_s	=	correctiefactor voor aanstraling door stralingsverwarming	[-]

Voor de correctiefactor voor aanstraling door stralingsverwarmingssystemen f_s geldt:

$f_s = 1,25$ voor IR open stralers en zwartebuisstralers

$f_s = 1,10$ voor indirect gestookte stralingspanelen

$f_s = 1,0$ voor de overige gevallen

Voor de grondwaterfactor fgw geldt:

$fgw = 1$ indien de grondwaterspiegel ≥ 1 m onder het vloerniveau gelegen is

$fgw = 1,15$ voor de overige gevallen

Voor de waarde van de equivalente warmtedoorgangscoefficiënt $U_{\text{equiv},k}$ geldt:

$U_{\text{equiv},k} = 0,18$ voor vloeren met een $R_c \geq 3,5 \text{ m}^2 \cdot \text{K/W}$

$U_{\text{equiv},k} = 0,30$ voor vloeren met een $2,5 \leq R_c < 3,5 \text{ m}^2 \cdot \text{K/W}$

$U_{\text{equiv},k} = 0,50$ voor vloeren met een $R_c < 2,5 \text{ m}^2 \cdot \text{K/W}$

2.6.2.6 Specifiek warmteverlies door buitenluchttoetreding

Het specifieke warmteverlies door ventilatie H_v volgt uit:

$$H_v = 1200 \cdot q_v \cdot f_v \quad [\text{W/K}] \quad (2.22)$$

Waarin:

$$1200 = \text{waarde voor } c_p \cdot \rho \quad [\text{J}/(\text{m}^3 \cdot \text{K})]$$

$$q_v = \text{volumestroom ventilatielucht} \quad [\text{m}^3/\text{s}]$$

$$f_v = \text{correctiefactor voor inblaastemperaturen hoger dan de buitentemperatuur} \quad [-]$$

De volumestroom ventilatielucht q_v volgt uit:

$$q_v = n_v \cdot V / 3600 \quad [\text{m}^3/\text{s}] \quad (2.23)$$

Waarin:

$$n_v = \text{aantal luchtwisselingen} \quad [\text{h}^{-1}]$$

$$V = \text{volume bepaald volgen paragraaf 2.3} \quad [-]$$

Voor het aantal luchtwisselingen n_v geldt:

$n_v = 0,5$ voor gebouwen die voldoen aan de nieuwbouw eisen van het Bouwbesluit

$n_v = 0,75$ voor gebouwen die gebouwd zijn in of na 1992

$n_v = 1,0$ voor gebouwen die gebouwd zijn voor 1992

Voor de temperatuur correctiefactor f_v voor inblaastemperaturen geldt:

Voor alle systemen zonder WTW of voorverwarming van de inblaaslucht:

$$f_v = \frac{\theta_i + \Delta\theta_v + 10}{\theta_i + 10} \quad [-] \quad (2.24)$$

Voor systemen met WTW of voorverwarming van de inblaaslucht:

$$f_v = \frac{\theta_i + \Delta\theta_v - \theta_t}{\theta_i + 10} \quad [-] \quad (2.25)$$

Waarin:

$$\Delta\theta_v = \text{temperatuurcorrectie voor lagere luchttemperatuur bij stralingsverwarming conform tabel 2.2. Indien verwarmingssysteem nog niet bekend dan } \Delta\theta_v = 0 \quad [\text{K}]$$

$$\theta_i = \text{ontwerpbinnentemperatuur volgens paragraaf 2.5} \quad [^\circ\text{C}]$$

$$\theta_t = \text{temperatuur na de voorverwarmer of } \theta_t = 15 \text{ } ^\circ\text{C} \text{ bij systemen met WTW} \quad [^\circ\text{C}]$$

3 Warmteverliesberekening per vertrek

3.1 Algemeen

Het ontwerpwarmteverlies voor een vertrek volgt uit de transmissieverliezen naar buiten (direct of indirect), het ventilatieverlies en, indien van toepassing, een toeslag voor bedrijfsbeperking. Om overdimensionering te voorkomen moeten alleen die warmtebehoeften in rekening gebracht worden die gelijktijdig optreden. Het is van belang hierover met de opdrachtgever afspraken te maken.

Het warmteverlies van een vertrek $\Phi_{HL,i}$ volgt uit:

$$\Phi_{HL,i} = \Phi_{T,i} + \Phi_{V,i} + \Phi_{hu,i} - \Phi_{gain,i} \quad [W] \quad (3.1)$$

Met

$$\Phi_{T,i} = (HT_{,ie} + HT_{,ia} + HT_{,iae} + HT_{,iaBE} + HT_{,ig}) \cdot (\theta_i - \theta_e) \quad [W] \quad (3.2)$$

Waarin:

$\Phi_{T,i}$ = warmteverlies door transmissie van vertrek i [W]

$\Phi_{V,i}$ = warmteverlies door buitenluchttoetreding van vertrek i (zie paragraaf 3.7) [W]

$\Phi_{hu,i}$ = toeslag van vertrek i voor opwarmen na bedrijfsbeperking en/of discontinue toevoer/doorvoer van materialen met andere temperatuur dan de ruimtetemperatuur (zie paragraaf 3.8) [W]

$\Phi_{gain,i}$ = warmtewinst van vertrek i (zie paragraaf 3.9) [W]

$HT_{,ie}$ = specifiek warmteverlies naar buitenlucht (zie paragraaf 3.2) [W/K]

$HT_{,iae}$ = specifiek warmteverlies naar onverwarmde aangrenzend vertrek (zie paragraaf 3.3) [W/K]

$HT_{,ia}$ = specifiek warmteverlies naar verwarmde aangrenzend vertrek (zie paragraaf 3.4) [W/K]

$HT_{,iaBE}$ = specifiek warmteverlies naar burens (zie paragraaf 3.5) [W/K]

$HT_{,ig}$ = specifiek warmteverlies naar de bodem (zie paragraaf 3.6) [W/K]

θ_i = ontwerp binnentemperatuur volgens paragraaf 2.5 [°C]

θ_e = ontwerp buitentemperatuur volgens paragraaf 2.6 [°C]

Opmerking: Het warmteverlies door buitenluchttoetreding is het vermogen benodigd voor het verwarmen van de lucht die het beschouwde vertrek binnenkomt en een temperatuur heeft die afwijkt van de vertrektemperatuur.

Het warmteverlies door buitenluchttoetreding wordt bepaald door ventilatie (al dan niet bewust) en infiltratie.

Het verdelen van het te installeren vermogen over een vertrek geschiedt bij het ontwerpen van het systeem en valt buiten de reikwijdte van deze ISSO-publicatie.

3.2 Specifiek warmteverlies naar de buitenlucht

Voor het specifieke warmteverlies $HT_{,ie}$ van het vertrek naar de buitenlucht via de aan de buitenlucht grenzende omhulling geldt:

$$HT_{,ie} = \Sigma k(A_k \cdot (U_k + \Delta U_{TB}) \cdot f_k) \quad [W/K] \quad (3.3)$$

Waarin:

A_k	= oppervlak van de uitwendige scheidingsconstructie k , bepaald volgens 2.2	$[m^2]$
U_k	= warmtedoorgangscoefficiënt van de uitwendige scheidingsconstructie k bepaald volgens paragraaf 2.4	$[W/(m^2 \cdot K)]$
Δ_{UTB}	= toeslag voor thermische bruggen volgens tabel 3.1	$[W/(m^2 \cdot K)]$
f_k	= correctie voor temperatuurgradiënten	$[-]$

Tabel 3.1 Toegevoegde warmtedoorgangscoefficiënt Δ_{UTB}

Omschrijving	Δ_{UTB} [W/ m ² ·K]
Toeslagen reeds verrekend in de U-waarde (bepaald volgens NEN 1068)	0
Nieuw gebouw met goede isolatie en speciale bouwkundige voorzieningen om koudebruggen te beperken/voorkomen	0,02
Nieuw gebouw gebouwd met aandacht voor thermische bruggen	0,05
Gebouwen met isolatie aan de binnenzijde en isolatie doorbroken door plafonds	0,15
Overige situaties	0,10
Opmerking: Voor industriegebouwen geldt in het algemeen $\Delta_{UTB} = 0$.	

Voor de waarde van f_k geldt:

$f_k = 0$ voor het verwarmde deel van vloer bij vloer boven buitenlucht met vloerverwarming

Voor buitenwanden:

$$f_k = \frac{(\theta_i + 0,5 \cdot (\Delta\theta_1 + \Delta\theta_2)) - \theta_e}{\theta_i - \theta_e} \quad [-] \quad (3.4)$$

Voor vloeren boven buitenlucht:

$$f_k = \frac{(\theta_i + \Delta\theta_2) - \theta_e}{\theta_i - \theta_e} \quad [-] \quad (3.5)$$

Voor platte daken:

$$f_k = \frac{(\theta_i + \Delta\theta_1) - \theta_e}{\theta_i - \theta_e} \quad [-] \quad (3.6)$$

Waarin:

θ_i	= ontwerpbinnentemperatuur volgens paragraaf 2.5	$[^\circ C]$
θ_e	= ontwerpbutentemperatuur volgens paragraaf 2.6	$[^\circ C]$
$\Delta\theta_1$	= temperatuurcorrectie t.g.v. temperatuurgelaagdheid volgens formule 2.5	$[K]$
$\Delta\theta_2$	= temperatuurcorrectie t.g.v. temperatuurgelaagdheid volgens formule 2.7	$[K]$

3.3 Specifiek warmteverlies naar verwarmd vertrek in hetzelfde gebouw

Voor het specifieke warmteverlies $H_{T,ia}$ van het aangrenzende verwarmde vertrek in hetzelfde gebouw (zowel naastgelegen als boven- of ondergelegen) geldt:

$$H_{T,ia} = \sum_k (A_k \cdot U_k \cdot f_{ia,k}) \quad [W/K] \quad (3.7)$$

Waarin:

- A_k = oppervlak van scheidingsconstructie k bepaald volgens paragraaf 2.2 [m²]
- U_k = warmtedoorgangscoefficiënt van scheidingsconstructie k bepaald volgens 2.4 [W/(m²·K)]
- $f_{ia,k}$ = correctiefactor ter correctie temperatuurverschil tussen ontwerp-buitentemperatuur en temperatuur aangrenzende gebouw en voor verwarmde vlakken waarbij rekening gehouden wordt met een temperatuurgradiënt [-]

Voor de correctiefactor $f_{ia,k}$ geldt:

$f_{ia,k} = 0$ voor het, door de verwarming van de beschouwde ruimte verwarmde deel van de vloer bij vloerverwarming (dit geldt ook voor vlakken die aan de andere zijde verwarmd zijn; bijvoorbeeld het plafond als in boven liggende vertrek vloerverwarming is toegepast)

Voor wanden:

$$f_{ia,k} = \frac{(\theta_i + 0,5 \cdot (\Delta\theta_1 + \Delta\theta_2)) - \theta_a}{\theta_i - \theta_e} \quad [-] \quad (3.8)$$

Voor vloeren:

$$f_{ia,k} = \frac{(\theta_i + \Delta\theta_2) - (\theta_a + \Delta\theta_{a1})}{\theta_i - \theta_e} \quad [-] \quad (3.9)$$

Voor plafonds:

$$f_{ia,k} = \frac{(\theta_i + \Delta\theta_1) - (\theta_a + \Delta\theta_{a2})}{\theta_i - \theta_e} \quad [-] \quad (3.10)$$

Waarin:

- θ_i = ontwerp-binnentemperatuur volgens paragraaf 2.5 [°C]
- θ_e = ontwerp-buitentemperatuur volgens paragraaf 2.6 [°C]
- θ_a = ontwerp-binnentemperatuur aangrenzende ruimte [°C]
- $\Delta\theta_1$ = temperatuurcorrectie door temperatuurgelaagdheid volgens formule 2.5 [K]
- $\Delta\theta_{a1}$ = temperatuurcorrectie voor aangrenzend vertrek door temperatuurgelaagdheid volgens formule 2.5 [K]
- $\Delta\theta_2$ = temperatuurcorrectie door temperatuurgelaagdheid volgens formule 2.6 [K]
- $\Delta\theta_{a2}$ = temperatuurcorrectie voor aangrenzend vertrek door temperatuurgelaagdheid volgens formule 2.7 [K]

3.4 Specifiek warmteverlies naar aangrenzende onverwarmde ruimten

Het specifieke warmteverlies HT_{iae} naar de buitenlucht via aangrenzende onverwarmde ruimten in hetzelfde pand (bijvoorbeeld kruipruimte, garage, trappenhuis of onverwarmde berging) volgt uit:

$$HT_{iae} = \sum_i (A_k \cdot U_k \cdot f_k) \quad [W/K] \quad (3.11)$$

Waarin:

A_k = oppervlakte van scheidingsconstructie k bepaald volgens paragraaf 2.2 [m²]

U_k = warmtedoorgangscoefficiënt van scheidingsconstructie k bepaald volgens paragraaf 2.4 [W/(m²·K)]

f_k = correctiefactor voor aanpassing temperatuurverschil tussen ontwerp binnentemperatuur en ontwerp buitentemperatuur resp. temperatuur aangrenzende ruimte [-]

De correctiefactor f_k volgt uit tabel 3.2, of nadat de temperatuur θ_a in de aangrenzende ruimte berekend is met behulp van de warmtebalans uit bijlage F uit:

$f_k = 0$ voor het verwarmde deel van de wand/vloer/plafond bij wand-/vloer- of plafondverwarming c.q. betonkernactivering

Voor wanden:

$$f_k = \frac{(\theta_i + 0,5 \cdot (\Delta\theta_1 + \Delta\theta_2)) - \theta_a}{\theta_i - \theta_e} \quad [-] \quad (3.12)$$

Voor vloeren:

$$f_k = \frac{(\theta_i + \Delta\theta_2) - \theta_a}{\theta_i - \theta_e} \quad [-] \quad (3.13)$$

Voor plafonds:

$$f_k = \frac{(\theta_i + \Delta\theta_1) - \theta_a}{\theta_i - \theta_e} \quad [-] \quad (3.14)$$

Waarin:

θ_i = ontwerp binnentemperatuur volgens paragraaf 2.5 [°C]

θ_e = ontwerp buitentemperatuur volgens paragraaf 2.6 [°C]

$\Delta\theta_1$ = temperatuurcorrectie door temperatuurgelaagdheid volgens formule 2.5 [K]

$\Delta\theta_2$ = temperatuurcorrectie door temperatuurgelaagdheid volgens formule 2.7 [K]

θ_a = ontwerp binnentemperatuur aangrenzend vertrek dat tot het gebouw behoort [°C]

Tabel 3.2 Correctiefactor f_k voor warmteverlies via onverwarmde ruimten met onbekende binnentemperatuur

Onverwarmde ruimten		fk
Inpandige ruimte met geringe ventilatie ($n < 0,5$) en geen buitenwanden		0
Met buitenlucht geventileerde ruimten zonder verwarming		1,0
Kruipruimte met	Geringe ventilatie ($n < 0,4$)	0,6
	Matige ventilatie ($0,4 \leq n \leq 0,8$)	0,8
	Sterke ventilatie ($n > 0,8$)	1,0
Ruimte onder dak met niet-geïsoleerde vloer	Geïsoleerde daken ($R_c \geq 2,5$)	0,2
	Ongeïsoleerde/slecht geïsoleerde daken ($R_c < 2,5$)	0,5
Waarin: R_c = warmteweerstand van de constructie (dak) [$\text{m}^2\cdot\text{K}/\text{W}$] n = ventilatievoud [-]		

3.5 Specifiek warmteverlies naar aangrenzend pand

Het specifieke warmteverlies HT_{iaBE} naar vertrekken van aangrenzende (naastgelegen, boven- en/of ondergelegen) gebouwen volgt uit:

$$HT_{iaBE} = \Sigma k (A_k \cdot U_k \cdot f_{ia,k}) \quad [\text{W/K}] \quad (3.15)$$

Waarin:

A_k = oppervlakte wand/vloer/plafond k bepaald volgens paragraaf 2.2 [m^2]

U_k = warmtedoorgangscoefficiënt van wand/vloer/plafond k bepaald volgens paragraaf 2.4 [$\text{W}/(\text{m}^2\cdot\text{K})$]

$f_{ia,k}$ = correctiefactor voor aanpassing temperatuurverschil tussen ontwerp binnentemperatuur en ontwerp buitentemperatuur resp. temperatuur aangrenzende ruimte [-]

Voor de waarde van de correctiefactor $f_{ia,k}$ geldt:

$f_{ia,k} = 0$ voor het verwarmde deel van de wand/vloer/plafond bij wand-/vloer- of plafondverwarming c.q. betonkernactivering

Voor wanden:

$$f_{ia,k} = \frac{(\theta_i + 0,5 \cdot (\Delta\theta_1 + \Delta\theta_2)) - \theta_b}{\theta_i - \theta_e} \quad [-] \quad (3.16)$$

Voor vloeren:

$$f_{ia,k} = \frac{(\theta_i + \Delta\theta_2) - \theta_b}{\theta_i - \theta_e} \quad [-] \quad (3.17)$$

Voor plafonds:

$$f_{ia,k} = \frac{(\theta_i + \Delta\theta_1) - \theta_b}{\theta_i - \theta_e} \quad [-] \quad (3.18)$$

Waarin:

θ_i	= ontwerp binnentemperatuur volgens paragraaf 2.5	[°C]
θ_e	= ontwerp buitentemperatuur volgens paragraaf 2.6	[°C]
θ_b	= temperatuur in de aangrenzende gebouw	[°C]
$\Delta\theta_1$	= temperatuurverhoging door temperatuurgelaagdheid volgens formule 2.5	[K]
$\Delta\theta_2$	= temperatuurcorrectie door temperatuurgelaagdheid volgens formule 2.7	[K]

Voor de temperatuur θ_b van het aangrenzende gebouw geldt:

1. θ_b volgt uit berekening met behulp van de warmtebalans volgens bijlage F.2;
2. Forfaitaire waarde voor θ_b :
 1. $\theta_b = 5\text{ °C}$.

3.6 Specifiek warmteverlies naar de grond

Het specifieke warmteverlies HT_{ig} door uitwendige scheidingsconstructies (wanden en vloeren) in contact met de grond volgt uit:

$$HT_{ig} = 1,45 \cdot f_s \cdot \sum_k (A_k \cdot U_{equiv,k} \cdot f_{gw} \cdot f_{ig,k}) \quad [W/K] \quad (3.19)$$

Waarin:

A_k	= oppervlakte van vlak k, dat in contact is met de grond bepaald volgens paragraaf 2.2	[m ²]
$U_{equiv,k}$	= equivalente warmtedoorgangscoefficiënt van vlak k	[W/(m ² ·K)]
f_{gw}	= grondwaterfactor	[-]
$f_{ig,k}$	= correctiefactor voor afwijkend temperatuurverschil tussen ontwerp binnentemperatuur en ontwerp buitentemperatuur resp. jaargemiddelde buitentemperatuur	[-]
f_s	= correctiefactor voor aanstraling door stralingsverwarmingssystemen	[-]

Voor de correctiefactor voor aanstraling door stralingsverwarmingssystemen f_s geldt:

$f_s = 1,25$ voor IR open stralers en zwartebuisstralers

$f_s = 1,10$ voor indirect gestookte stralingspanelen

$f_s = 1,0$ voor de overige gevallen

Voor de grondwaterfactor f_{gw} geldt:

$f_{gw} = 1$ indien de grondwaterspiegel ≥ 1 m onder het vloerniveau gelegen is

$f_{gw} = 1,15$ voor de overige gevallen

Voor de correctiefactor $f_{ig,k}$ geldt:

$f_{ig,k} = 0$ voor het, door de verwarming van het beschouwde vertrek, verwarmde deel van de vloer bij vloerverwarming dat in contact is met de grond

Voor vloeren:

$$f_{ig,k} = \frac{(\theta_i + \Delta\theta_2) - \theta_{me}}{\theta_i - \theta_e} \quad [-] \quad (3.20)$$

Voor wanden:

$$f_{ig,k} = \frac{(\theta_i + 0,5 \cdot (\Delta\theta_1 + \Delta\theta_2)) - \theta_{me}}{\theta_i - \theta_e} \quad [-] \quad (3.21)$$

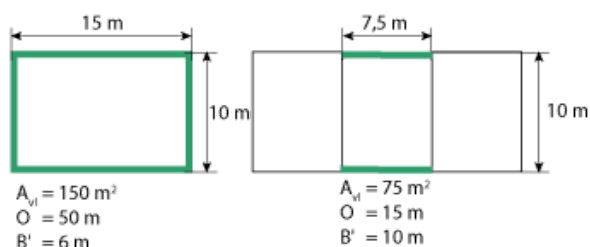
Waarin:

θ_i	= ontwerpinnentemperatuur volgens paragraaf 2.5	[°C]
θ_e	= ontwerpuitentemperatuur volgens paragraaf 2.6	[°C]
θ_{me}	= jaarlijks gemiddelde uitentemperatuur (= 9 °C)	[°C]
$\Delta\theta_1$	= temperatuurcorrectie door temperatuurgelaagdheid volgens formule 2.5	[K]
$\Delta\theta_2$	= temperatuurcorrectie door temperatuurgelaagdheid volgens formule 2.7	[K]

Bepalen van de equivalente warmtedoorgangscoefficiënt $U_{equiv,k}$

Bepaal eerst hulpwaarde B' :

1. Bepaal voor het gehele gebouw het vloeroppervlak A_{vl} ;
2. Bepaal voor het gehele gebouw de lengte O van aan de buitenlucht grenzende vlakken en de lengte grenzend aan onverwarmde gebouwen (zie ook afbeelding 3.1);
3. Bepaal de hulpwaarde B' volgens $B' = 2A_{vl}/O$ waarbij geldt $2 \leq B' \leq 50$.



Afb. 3.1 Toelichting bij bepalen hulpwaarde B'

De equivalente warmtedoorgangscoefficiënt $U_{equiv,k}$ volgt uit:

$$U_{equiv,k} = \frac{a}{b + (c_1 + B')^{n_1} + (c_2 + z)^{n_2} + (c_3 + U_k + \Delta U_{TB})^{n_3}} + d \quad [W/(m^2 \cdot K)] \quad (3.22)$$

Waarin:

a, b, c, d, n	= parameter volgens uit tabel 3.3	[-]
B'	= geometrische factor	[m]
z	= diepte vloer onder maaiveld $0 \leq z \leq 5$; indien $z > 5 \text{ m}$ dan $z = 5 \text{ m}$	[m]
U_k	= warmtedoorgangscoefficiënt van de wand of vloer in contact met de grond	[W/(m²·K)]
ΔU_{TB}	= toeslag voor thermische bruggen volgens tabel 3.1	[W/(m²·K)]

Indien $U_{equiv,k} < 0,1 \text{ W/(m}^2 \cdot \text{K)}$ dan geldt $U_{equiv,k} = 0,1 \text{ W/(m}^2 \cdot \text{K)}$

Tabel 3.3 Parameters voor de bepaling van $U_{equiv,k}$

	a	b	c1	c2	c3	n1	n2	n3	d
Vloer	0,9671	-7,455	10,76	9,773	0,0265	0,5532	0,6027	-0,9296	-0,0203
Wand	0,799	-6,7951	01)	26,586	0,1523	01)	0,5012	-0,1406	-1,074

1) In het bepalen van het warmteverlies door wanden heeft B' geen invloed; vanwege de rekenkundige integriteit mag B' niet gelijk zijn aan nul.

3.7 Warmteverlies ten gevolge van toetreding van buitenlucht

Het warmteverlies door buitenluchtttoetreding $\Phi_{V,buid}$ volgt voor systemen met mechanische toevoer van ventilatielucht uit:

$$\Phi_{V,buid} = (H_i + H_v) \cdot (\theta_i - \theta_e) \quad [W] \quad (3.23)$$

Waarin:

H_i	=	specifieke warmteverlies t.g.v. infiltratie volgens paragraaf 3.7.1	[W/K]
H_v	=	specifieke warmteverlies t.g.v. ventilatie volgens paragraaf 3.7.2	[W/K]
θ_i	=	ontwerp binnentemperatuur volgens paragraaf 2.5	[°C]
θ_e	=	ontwerp buitentemperatuur volgens paragraaf 2.6	[°C]

Voor systemen met een natuurlijke toevoer van ventilatielucht volgt het ventilatiewarmteverlies $\Phi_{V,build}$ uit:

$$\Phi_{V,build} = (\max(H_i; H_v)) \cdot (\theta_i - \theta_e) \quad [W] \quad (3.24)$$

Waarin:

H_i	=	specifieke warmteverlies t.g.v. infiltratie volgens paragraaf 3.7.1	[W/K]
H_v	=	specifieke warmteverlies t.g.v. ventilatie volgens paragraaf 3.7.2	[W/K]
θ_i	=	ontwerp binnentemperatuur volgens paragraaf 2.5	[°C]
θ_e	=	ontwerp buitentemperatuur volgens paragraaf 2.6	[°C]

3.7.1 Specifiek warmteverlies door infiltratie

Het specifieke warmteverlies door infiltratie H_i volgt uit:

$$H_i = 1200 \cdot q_i \cdot f_i \quad [W/K] \quad (3.25)$$

Waarin:

1200	=	waarde voor $c_p \cdot \rho$	[J/(m³·K)]
q_i	=	volumestroom infiltratielucht	[m³/s]
f_i	=	correctiefactor voor lagere temperaturen bij stralingsverwarming en temperatuurgradiënten	[-]

Voor de waarde van de temperatuurcorrectiefactor f_i geldt:

$$f_i = \frac{(\theta_i + \Delta\theta_v + 0,5 \cdot (\Delta\theta_1 + \Delta\theta_2)) - \theta_e}{\theta_i - \theta_e} \quad [-] \quad (3.26)$$

Waarin:

θ_e	=	ontwerp buitentemperatuur volgens paragraaf 2.6	[°C]
θ_i	=	ontwerp binnentemperatuur volgens paragraaf 2.5	[°C]
$\Delta\theta_1$	=	temperatuurcorrectie door temperatuurgelaagdheid volgens formule 2.5	[K]
$\Delta\theta_2$	=	temperatuurcorrectie door verticaal temperatuurverloop volgens formule 2.7	[K]
$\Delta\theta_v$	=	temperatuurcorrectie voor stralingsinvloeden volgens tabel 2.2	[K]

3.7.1.1 Industriegebouwen

De luchtvolumestroom infiltratie q_i volgt uit:

$$q_i = n_i \cdot V / 3600 \quad [m³/s] \quad (3.27)$$

Waarin:

n_i	=	infiltratievoud	[h⁻¹]
V	=	inhoud van de ruimte	[m³]

Het infiltratievoud n_i volgt uit de standaardwaarden volgens tabel 3.4. Voor industriegebouwen mag ook de methode als gegeven in bijlage C gebruikt worden. Dit kan voor ruimten met grote openingen en indien de oppervlakten van openingen bekend zijn.

Tabel 3.4 Richtwaarden voor de infiltratie van industriegebouwen

Omschrijving		Infiltratievoud ni [h ⁻¹] ¹⁾
Gebouwen van voor 1992		0,5
Gebouwen van na 1992 of gerenoveerd na 1992	Doosvormig met inhoud $\geq 10.000 \text{ m}^3$ zonder dakramen en/of brandkleppen	0,1
	Doosvormig met inhoud $< 10.000 \text{ m}^3$ zonder dakramen en/of brandkleppen	0,2
	Doosvormig met inhoud $\geq 10.000 \text{ m}^3$ met dakramen en/of brandkleppen	0,2
	Doosvormig met inhoud $< 10.000 \text{ m}^3$ met dakramen en/of brandkleppen	0,3
	Andersvormige gebouwen	0,4
1) Bij situaties waarbij tegenover elkaar (gesloten) deuren gelegen zijn, infiltratievoud verhogen met 0,2 of bijlage C toepassen voor nauwkeurigere berekening.		
Opmerking: Bij langer geopende deuren zonder extra voorzieningen ter beperking van de buitenluchttoetreding moet met hogere infiltratievouden gerekend worden.		

3.7.1.2 Utiliteitsgebouwen

De volumestroom infiltratielucht voor utiliteitsgebouwen q_i volgt uit:

$$q_i = A_u \cdot q_{is} \cdot z \quad [\text{m}^3/\text{s}] \quad (3.28)$$

Waarin:

A_u	= oppervlakte van de uitwendige scheidingsconstructies exclusief plat dak	$[\text{m}^2]$
q_{is}	= lucht volumestroom infiltratie per vierkante meter uitwendige scheidingsconstructie	$[\text{m}^3/\text{s per m}^2]$
z	= reductiefactor voor in rekening te brengen infiltratie (zie tabel 3.6)	$[-]$

Voor gebouwen waarvan de $q_{v,10,\text{spec}}$ -waarde bekend is, volgt de waarde van q_{is} uit tabel 3.5.

Let er op dat in tabel 3.5 de $q_{v,10,\text{spec}}$ per vierkante meter gebruiksooppervlak en de infiltratie per vierkante meter geveloppervlak wordt gegeven.

Tabel 3.5 Waarden voor de lucht volumestroom infiltratie q_{is} in m^3/s per m^2 geveloppervlak (incl. beglazing en deuren)

$q_{v,10,\text{spec}}$ [$\text{dm}^3/(\text{s} \cdot \text{m}^2 \text{gebruiksopp.})$]	Infiltratie maatgevend kantoor [$\text{m}^3/(\text{s} \cdot \text{m}^2 \text{gevelopp.})$] Gebouwhoogte h_1 [m]			
	$h \leq 6$	$6 < h \leq 20$	$20 < h \leq 30$	$> 30 \text{ m}$
Kleiner dan 0,20	0,00034	0,00043	0,00051	0,00062
Van 0,20 tot 0,40	0,00050	0,00063	0,00077	0,00092
Van 0,40 tot 0,60	0,00082	0,00103	0,00126	0,00149
Van 0,60 tot 0,80	0,00111	0,00140	0,00172	0,00200
Van 0,80 tot 1,00	0,00138	0,00175	0,00213	0,00251
Groter dan 1,0	0,00151	0,00189	0,00232	0,00273
1) De gebouwhoogte h is gedefinieerd als de hoogte boven het maaiveld van de bovenste verdiepingvloer.				

Tabel 3.6 Waarden voor reductiefactor z

Omschrijving	z
Vertrek met één buitengevel of twee niet tegenover elkaar liggende buitengevels	1
Vertrek met twee tegenover elkaar liggende buitengevels	0,5
Overige gevallen	0,7

Voor gebouwen die niet voldoen aan de luchtdichtheidseisen van het Bouwbesluit of waarvoor de $q_{v,10,\text{spec}}$ -waarde niet bekend is geldt:

$$q_i = f_{wind} \cdot f_{type} \cdot f_{inf} \cdot (0,23 \cdot q_{i,spec}) \quad [m^3/s \text{ per } m^2] \quad (3.29)$$

Waarin:

f_{wind}	= correctiefactor voor invloed van de winddruk geïnduceerde infiltratie	[-]
f_{type}	= correctiefactor voor gebouwafhankelijke winddrukverdeling volgens tabel 3.7	[-]
f_{inf}	= correctiefactor voor invloed van ventilatievoorziening op de infiltratie volgens tabel 3.8	[-]
$q_{i,spec}$	= specifieke luchtvolumestroom infiltratie afhankelijk van het gebouwtype en bouwjaar	$[m^3/s \text{ per } m^2]$

Voor de correctiefactor f_{wind} geldt:

$$f_{wind} = \max \left[1; \left\{ 0,01 \cdot \left(24 + 0,555 \cdot \sqrt{(L^2 + B^2)} + 4,5 \cdot H \right) \right\}^{0,65} \right] \quad [-] \quad (3.30)$$

Waarin:

L	= lengte van het gebouw	[m]
B	= breedte van het gebouw	[m]
H	= hoogte van het gebouw	[m]

Tabel 3.7 Waarde voor f_{type}

Gebouwtype		f_{type}
Eénlaagse gebouwen met kap	Grondgebonden, één laag, gebouweenheden met verscheidene bouwlagen in open verbinding bijv. grondgebonden kantoorvilla's	1,0
Eénlaagse gebouwen met plat dak	Grondgebonden, één laag, gebouweenheden met verscheidene bouwlagen in open verbinding bijv. grondgebonden kantoorvilla's	0,77
Gebouwen met meer lagen ¹⁾	Standaard	0,51
	Volgevel binnengalerij aan één zijde	0,48
	Dubbele huidgevel met onderbroken tussenruimte	0,46
	Dubbele huidgevel met doorlopende tussenruimte	0,15
1) Het onderscheid in de factoren f_{type} naar geveltype geldt uitsluitend indien de tussenruimten per etage (dus in verticale zin) luchttechnisch zijn gescheiden. Indien dit niet het geval is, geldt voor alle geveltypen van deze kantooretages de standaardwaarde $f_{type} = 0,51$.		

Tabel 3.8 Waarde voor f_{inf}

Ventilatiesysteem	f_{inf}
A Systemen met natuurlijke toe- en afvoer	0,80
B Systemen met mechanische toevoer en natuurlijke afvoer	0,85
C Systemen met natuurlijke toevoer en mechanische afvoer	1,0
D Systemen met mechanische toe- en afvoer; gebalanceerde ventilatie	1,15
E Zones met natuurlijke toevoer en mechanische afvoer en zones met lokale WTW, CO ₂ -sturing op afvoer van ruimtes met lokale WTW	1,08

Voor de specifieke luchtvolumestroom infiltratie $q_{i,spec}$ geldt:

$$q_{i,spec} = f_{typ} \cdot f_{jaar} \cdot q_{i,spec,teken} \quad [m^3/s \text{ per } m^2] \quad (3.31)$$

Waarin:

f_{typ}	= invloedfactor voor gebouwtype/ligging volgens tabel 3.9	[-]
f_{jaar}	= invloedfactor voor de leeftijd van het gebouw	[-]
$q_{i,spec,teken}$	= specifieke luchtvolumestroom infiltratie volgens tabel 3.10	$[m^3/s \text{ per } m^2]$

De invloedfactor voor de leeftijd van het gebouw f_{jaar} volgt uit:

$$f_{\text{jaar}} = 0,4 + 0,033e(0,05 \cdot (2060 - J)) \quad [-] \quad (3.32)$$

Waarin:

$$J = \text{bouwjaar} \quad [-]$$

Voor f_{jaar} geldt: $1 \leq f_{\text{jaar}} \leq 2$ (indien $f_{\text{jaar}} > 2$ dan $f_{\text{jaar}} = 2$ of indien $f_{\text{jaar}} < 1$ dan $f_{\text{jaar}} = 1$)

Tabel 3.9 Invloedfactor f_{typ}

Situatie		f_{typ} [-]
Enkellaags gebouw	Tussengelegen	1,0
	Kop-, eind-, hoekligging	1,2
	Vrijstaand	1,4
Meerlaags gebouw	Gehele gebouw	1,2
	Topetage/bovenste etage	1,3
	Tussengelegen etages	1,2
	Onderste etage/begane grond	1,1

Tabel 3.10 Rekenwaarde specifieke luchtvolumestroom infiltratie

Omschrijving gebouwtype	$q_{i,\text{spec, reken}}$ [m³/s per m²]
Eén laag met kap	0,0010
Eén laag met half plat dak	0,00085
Eén laag met plat dak	0,0007
Meerlaags gebouw	0,0005

3.7.2 Ventilatiewarmteverlies

Ventilatie wordt gedefinieerd als lucht die in een gebouw wordt toegevoerd door middel van mechanische toevoer of ventilatievoorzieningen anders dan ten behoeve van lokale afzuiging.

Het specifieke warmteverlies ten gevolge van ventilatie H_v volgt uit:

$$H_v = q_v \cdot 1200 \cdot f_v \quad [\text{W/K}] \quad (3.33)$$

Waarin:

$$1200 = \text{waarde voor } c_p \cdot \rho \quad [\text{J}/(\text{m}^3 \cdot \text{K})]$$

$$q_v = \text{luchtvolumestroom ventilatie} \quad [\text{m}^3/\text{s}]$$

$$f_v = \text{correctiefactor voor hogere intredetemperaturen dan de buitentemperatuur of lagere luchttemperatuur bij stralingsverwarming en temperatuurgradiënten} \quad [-]$$

Voor de temperatuur correctiefactor f_v voor toevoertemperaturen geldt:

$f_v = 0$ voor alle systemen met toevoertemperaturen hoger dan de ontwerpbinrentemperatuur

Voor alle systemen zonder WTW of voorverwarming van de toevoerlucht:

$$f_v = \frac{(\theta_i + \Delta\theta_v + 0,5 \cdot (\Delta\theta_1 + \Delta\theta_2)) - \theta_e}{\theta_i - \theta_e} \quad [-] \quad (3.34)$$

Voor systemen met WTW of voorverwarming van de toevoerlucht:

$$f_v = \frac{(\theta_i + \Delta\theta_v + 0,5 \cdot (\Delta\theta_1 + \Delta\theta_2)) - \theta_t}{\theta_i - \theta_e} \quad [-] \quad (3.35)$$

Waarin:

θ_i	= ontwerpinnentemperatuur volgens paragraaf 2.1	[°C]
θ_e	= ontwerpuitentemperatuur (-10 °C)	[°C]
θ_t	= toevoertemperatuur ventilatielucht (voor berekening bij systemen met WTW zie bijlage D)	[°C]
$\Delta\theta_1$	= temperatuurcorrectie door temperatuurgelagtheid volgens formule 2.5	[K]
$\Delta\theta_2$	= temperatuurcorrectie door verticaal temperatuurverloop volgens formule 2.7	[K]
$\Delta\theta_v$	= temperatuurcorrectie voor stralingsinvloeden volgens tabel 2.2	[K]

3.7.2.1 Industriegebouwen

De luchtvolumestroom q_v volgt uit de maximumwaarde van:

1. Minimumeisen t.b.v. de aanwezige personen (zie tabel 3.11);
2. Luchthoeveelheid die nodig is om schade aan de gezondheid van medewerkers te voorkomen [14];
3. Voor het proces benodigde hoeveelheid lucht.

3.7.2.2 Utiliteitsgebouwen

De luchtvolumestroom q_v volgt uit de maximumwaarde van:

1. Minimumeisen t.b.v. de aanwezige personen (zie tabel 3.11);
2. Eisen van de opdrachtgever.

Tabel 3.11 Minimaal vereiste luchtvolumestromen ventilatie voor nieuwbouw en bestaande bouw volgens het Bouwbesluit

Functie	Minimumeis volgens Bouwbesluit			Opmerkingen
	Nieuwbouw		Bestaand	
	dm³/s pp	pers./m²	dm³/s pp	
Bijeenkomstfunctie Gebruiksfunctie voor het samenkomen van mensen voor kunst, cultuur, godsdienst, communicatie, kinderopvang, verstrekken van consumpties voor gebruik ter plaatse en het aanschouwen van sport				
Eetruimte	4	0,125	2,12	0,3 bij sport
Bar	4	0,125	2,12	
Bedrijfsrestaurant	4	0,125	2,12	
Kantine	4	0,125	2,12	
Toeschouwersruimte	4	0,125/0,3	2,12	
Bibliotheek	4	0,125	2,12	
Museum	4	0,125	2,12	
Bioscoop	4	0,125	2,12	
Concertzaal	4	0,125	2,12	
Schouwburg/theater	4	0,125	2,12	
Casino	4	0,125	2,12	
Vergaderruimte	6,5	0,05	3,44	
Kantoorfunctie Gebruiksfunctie voor administratie				
Kantoorruimte	6,5	0,05	3,44	
Receptie	6,5	0,05	3,44	
Celfunctie Gebruiksfunctie voor dwangverblijf van mensen				
Cel niet voor dag- en nachtverblijf	12	0,05	6,4	0,125 bij bezoekersruimte
Cel voor dag- en nachtverblijf	12	0,05	6,4	
Andere ruimte	6,5	0,125/0,05	3,44	
Gezondheidszorgfunctie Gebruiksfunctie voor medisch onderzoek, verpleging, verzorging of behandeling				
Patiëntenkamer	12	0,125	3,44	
Ontwaakkamer	12	0,125	3,44	
Intensive care	12	0,125	3,44	
Operatiekamer	12	0,05	3,44	
Onderzoekruimte	6,5	0,05	3,44	
Fysiotherapie	6,5	0,05	3,44	
Sectieruimte	6,5	n.v.t.	3,44	
Logiesfunctie Gebruiksfunctie voor het bieden van recreatief verblijf of tijdelijk onderdak voor mensen				
Hotelkamer	12	0,05	6,4	
Onderwijsfunctie Gebruiksfunctie voor het geven van onderwijs				
Lesruimte	8,5	0,125	3,44	zie NEN 1089
Collegezaal	8,5	0,125	3,44	
Werkplaats	6,5	0,125	3,44	
Bureauruimte	6,5	0,05	3,44	
Gymzaal	6,5	n.v.t.	3,44	
Aula	6,5	0,125	3,44	
Sportfunctie Gebruiksfunctie voor het beoefenen van sport				
Sportzaal	6,5	n.v.t.	3,44	

Bowlingruimte	6,5	n.v.t.	3,44	
IJsvloerspeelruimte	6,5	n.v.t.	3,44	
Zwembad	6,5	n.v.t.	3,44	
Industriefunctie Gebruiksfunctie voor het bedrijfsmatig bewerken of opslaan van materialen en goederen of voor agrarische doeleinden				
Industrie algemeen	6,5	n.v.t.	3,44	afh. van grenswaarde
Verfspuitinrichting	6,5	n.v.t.	3,44	
Accuruiimte	6,5	n.v.t.	3,44	
Winkelfunctie Gebruiksfunctie voor het verhandelen van materialen, goederen of diensten				
Apotheek	4	n.v.t.	2,12	
Beautyshop	4	n.v.t.	2,12	
Bibliotheek	4	n.v.t.	2,12	
Bloemist	4	n.v.t.	2,12	
Kapper	4	n.v.t.	2,12	
Postkantoor	4	n.v.t.	2,12	
Supermarkt	4	n.v.t.	2,12	
Warenhuis	4	n.v.t.	2,12	
Slagerij	4	n.v.t.	2,12	
Verkoopruimte	4	n.v.t.	2,12	
Wasserete	4	n.v.t.	2,12	
Winkelpassage	-	n.v.t.	-	
Overige gebruiksfuncties				
Wachtruimte	-	n.v.t.	-	1) bij max. 50 m² geldt 3 dm³/s per m²
Perrons	-	n.v.t.	-	
Keukens		n.v.t.	-	
Stallingsruimte voor motorvoertuigen	1)	n.v.t.	-	

Voor situaties waar continu een deur open staat (bijv. winkels, restaurant) wordt de extra volumestroom q_{ve} [17] (deze moet opgeteld worden bij de ruimteventilatie) bepaald door:

$$q_{ve} = 0,83 \cdot B \cdot H \cdot (1 - KSE) \quad [m^3/s] \quad (3.36)$$

Waarin:

B = breedte van de opening [m]

H = hoogte van de opening [m]

KSE = rendement van luchtgordijn volgens tabel 3.12. Indien geen luchtgordijn: KSE = 0 [-]

Formule 4.38 geldt voor een beschutte omgeving d.w.z. winkelstraat, winkelcentrum, etc. Indien er geen sprake is van een beschutte omgeving moet de luchttoetreding bepaald worden met ISSO-publicatie 110 [19].

Als er twijfel bestaat of een omgeving wel/niet beschut is, kan dit nagegaan worden met bijlage E van ISSO-publicatie 110 [19]. Er moet dan gelden $C_p \leq 0,38$.

Tabel 3.12 Waarden voor KSE [-]

Waarde van KSE volgens ISO-2737-3 bekend?	Regeling	Ontwerpwaarde van KSE
Nee	Handmatig	0,3
Ja	Handmatig	$0,75 \cdot KSE$ van leverancier
Nee	Automatisch	0,5
Ja	Automatisch	KSE van leverancier (0,6 – 0,8)

3.8 Toeslag voor bedrijfsbeperking

In deze paragraaf wordt onderscheid gemaakt in:

1. Utiliteitsgebouwen (paragraaf 3.8.1);
2. Industriegebouwen (paragraaf 3.8.2).

Gebouwen als sporthallen, tennishallen, bouwmarkten etc. moeten voor het bepalen van de toeslag voor bedrijfsbeperking gezien worden als industriegebouwen (zie paragraaf 3.8.2).

Indien bedrijfsbeperking wordt toegepast is de grootte van de toeslag voor bedrijfsbeperking $\Phi_{hu,i}$ onder andere afhankelijk van de wijze van regelen:

1. Optimaliserende regeling;
2. Niet-optimaliserende werking.

Bij systemen met een optimaliserende regeling bepaalt de thermostaat op basis van de buitentemperatuur en de bekende opwarmkarakteristiek van het gebouw het in- en uitschakeltijdstip. Hierdoor kan een toeslag voor bedrijfsbeperking achterwege gelaten worden: $\Phi_{hu,i} = 0$.

Opmerking: Bij optimaliserende regelingen stelt de regeling zich op een afwijkend gebruik (bijvoorbeeld een lagere temperatuur tijdens een vakantie) in. Het gevolg hiervan is dat bij terugkeren naar het standaardgebruik weer een leerperiode van enige dagen optreedt. Gedurende deze periode kan het voorkomen dat in het begin van de dagperiode de gewenste temperatuur niet gehaald wordt.

3.8.1 Industriegebouwen

Behalve bij de stationair optredende warmteverliezen, kan het noodzakelijk zijn nog een aantal toeslagen toe te passen om het warmteverlies te compenseren.

Denk hierbij aan extra te installeren vermogen voor:

1. (Versneld) opwarmen na een periode van bedrijfsbeperking (zie 3.8.1.1);
2. Toeslag voor discontinu toevoer van materiaal met een lagere temperatuur (bijvoorbeeld het in de ruimte komen van een lading halffabrikaten met een temperatuur van -10°C) (zie 3.8.1.2).

3.8.1.1 Bedrijfsbeperking

Bedrijfsbeperking wordt in het algemeen toegepast om een lagere gemiddelde binnentemperatuur te realiseren. Bij lagere binnentemperaturen zijn de warmteverliezen t.g.v. transmissie en buitenluchttoetreding geringer. In het algemeen treedt door bedrijfsbeperking dus energiebesparing op. In niet alle gevallen is een bedrijfsbeperking gewenst of zinvol.

Het toepassen van bedrijfsbeperking is in het algemeen niet zinvol in de volgende situaties:

1. Bij continubedrijf of bij een bedrijfstijd van 18 uur of meer per dag;
2. Processen in de hal waarbij met geringe toleranties gewerkt moet worden;
3. Opslag van veel massa in de ruimte of veel verwarmde massa;
4. Producten waarop geen condens mag komen i.v.m. corrosie/kwaliteit van het product;
5. Bij zelflerende/optimaliserende regelingen.

Indien geen bedrijfsbeperking wordt toegepast geldt: $\Phi_{op} = 0$.

Bij toepassing van zelflerende regelingen/optimaliserende regelingen kan in het algemeen de toeslag voor bedrijfsbeperking achterwege blijven: $\Phi_{op} = 0$.

Indien bedrijfsbeperking wordt toegepast is de grootte van de toeslag voor bedrijfsbeperking Φ_{op} afhankelijk van:

1. Mate van afkoeling tijdens de nachtverlaging;
2. Toegestane maximale opwarmtijd;
3. Aanwezige interne massa (producten en machines).

De grootte van de toeslag voor bedrijfsbeperking is te beperken door een deel van de opwarming tijdens de bedrijfstijd te laten plaatsvinden. Hiermee wordt bedoeld dat buiten de bedrijfstijd opgewarmd wordt tot een temperatuur die behoort bij de ondergrens van het comfortgebied (PMV = -0,5). In de praktijk wil dit zeggen dat buiten bedrijfstijd moet worden opgewarmd tot een temperatuur drie graden lager dan de ontwerp binnentemperatuur voor lage en middelmatige metabolische belastingen en vier graden lager dan de ontwerp binnentemperatuur voor hoge metabolische belastingen (zie ook bijlage A; tabel A.3). De rest van de opwarming kan gedurende de bedrijfstijd geschieden. In het algemeen gaat dat redelijk snel omdat de interne warmteontwikkeling in bedrijfstijd ook toeneemt.

Omdat bij grote ruimten de meeste massa in de vloer zit en wanden vrij weinig invloed hebben wordt de toeslag gegeven in W/m² vloeroppervlak.

Voor de toeslag voor bedrijfsbeperking geldt:

$$\Phi_{op} = P \cdot (A_{vl} \cdot A_{massa}) \quad [W] \quad (3.37)$$

Waarin:

P	=	specifieke toeslag voor bedrijfsbeperking; bepaald volgens bijlage E	[W/m ²]
A _{vl}	=	vloeroppervlakte bepaald volgens paragraaf 2.2	[m ²]
A _{massa}	=	equivalent vloeroppervlak voor verrekening interne massa	[m ²]

Voor het equivalente vloeroppervlak voor verrekening van de interne massa geldt:

$$A_{massa} = \frac{\sum_i (m_i \cdot c_i)}{1,2 \cdot 10^5} \quad [m^2] \quad (3.38)$$

Waarin:

m _i	=	massa van machines, producten, etc.	[kg]
c _i	=	soortelijke warmte van machines, producten, etc.	[J/(kg·K)]

Toe te rekenen toeslag voor bedrijfsbeperking Φ_o

Bij een periode van bedrijfsbeperking wordt ervan uitgegaan dat de ventilatie in de nachtstand c.q. uitgeschakeld wordt. Hierdoor is een deel van het ventilatievermogen beschikbaar voor opwarmen. Het toe te rekenen deel van de toeslag voor bedrijfsbeperking Φ_o volgt uit:

Bij alle systemen met natuurlijke toevoer van ventilatielucht: Φ_o = Φ_{op}

Bij alle systemen met mechanische toevoer van ventilatielucht waarbij geldt dat indien θ_o < 0 dan θ_o = 0

$$\Phi_o = \Phi_{op} - \alpha \cdot H_v \cdot (\theta_i - \theta_e) \quad [W] \quad (3.39)$$

Waarin:

H _v	=	specifiek warmteverlies t.g.v. ventilatie volgens formule 3.29	[W]
θ _i	=	ontwerp binnentemperatuur volgens paragraaf 2.5	[°C]
θ _e	=	ontwerpbuitentemperatuur (-10 °C)	[°C]
α	=	1 bij opwarmen zonder mechanische ventilatie	[-]
α	=	0 bij opwarmen met mechanische ventilatie	[-]

3.8.1.2 Toeslag voor de discontinue toevoer/doorvoer van materialen met andere temperatuur dan de vertrektemperatuur

Voor de toeslag voor toevoer/doorvoer van koude materialen Φ_{extra} geldt voor utiliteitsgebouwen Φ_{extra} = 0.

Voor industriegebouwen geldt dat voor het opwarmen van materialen met een lagere temperatuur dan de ontwerp binnentemperatuur die regelmatig aan een ruimte worden toegevoegd een extra vermogen nodig is. De tijd t waarin het opwarmen geschiedt is sterk afhankelijk van de compactheid van het materiaal. Voor

plaatmateriaal is dit enige uren terwijl voor massieve blokken staal/beton, etc. de totale opwarmtijd al snel enige dagen is.

De toeslag Φ_{extra} volgt uit:

$$\Phi_{\text{extra}} = \frac{m \cdot c \cdot (\theta_i - \theta_m)}{t} \quad [\text{W}] \quad (3.40)$$

Waarin:

m	=	massa van het toegevoerde materiaal	[kg]
c	=	soortelijke warmte van het toegevoerde materiaal	[J/(kg·K)]
θ_i	=	ontwerp binnentemperatuur	[°C]
θ_m	=	temperatuur van toegevoerde materiaal (veelal de buitentemperatuur)	[°C]
t	=	tijd waarin het materiaal opgewarmd wordt	[s]

In het algemeen is het voldoende een tijd van vier tot acht uur (14.400 tot 28.800 seconden) te nemen om een toegevoerde massa op te warmen.

3.8.1.3 Toe te rekenen toeslag voor bedrijfsbeperking/materiaaltoevoer

De toe te rekenen toeslag $\Phi_{\text{hu},i}$ volgt uit:

$$\Phi_{\text{hu},i} = \Phi_o \text{ indien } \Phi_o > \Phi_{\text{extra}} \quad [\text{W}] \quad (3.41)$$

$$\Phi_{\text{hu},i} = \Phi_{\text{extra}} \text{ indien } \Phi_{\text{extra}} \geq \Phi_{\text{hu},i} \quad [\text{W}] \quad (3.42)$$

3.8.2 Utiliteitsgebouwen

Bedrijfsbeperking wordt in het algemeen toegepast om een lagere gemiddelde binnentemperatuur te realiseren. Bij lagere binnentemperaturen zijn de warmteverliezen t.g.v. transmissie en buitenluchttoetreding geringer. In het algemeen treedt door bedrijfsbeperking dus energiebesparing op. In niet alle gevallen is een bedrijfsbeperking gewenst of zinvol.

Indien geen bedrijfsbeperking wordt toegepast geldt: $\Phi_{\text{op}} = 0$.

De grootte van de toeslag voor bedrijfsbeperking Φ_{op} volgt uit:

$$\Phi_{\text{op}} = A_{\text{vl}} \cdot \varphi_{\text{hu},i} \quad [\text{W}] \quad (3.43)$$

Waarin:

A_{vl}	=	vloeroppervlak	[m ²]
$\varphi_{\text{hu},i}$	=	specifieke toeslag voor bedrijfsbeperking	[W/m ²]

De specifieke toeslag voor bedrijfsbeperking $\varphi_{\text{hu},i}$ is afhankelijk van:

1. Mate van afkoeling tijdens de nachtverlaging;
2. Het aantal luchtwisselingen tijdens de afkoelperiode;
3. De zwaarte van het gebouw (weergegeven door C_{eff} ; zie paragraaf 2.6.1);
4. Toegestane maximale opwarmtijd;
5. Tijd dat de installatie buiten bedrijf is (dagverlaging, weekendverlaging, etc.);
6. Regime tijdens het afkoelen (vrije afkoeling of slechts enkele graden afkoelen).

3.8.2.1 Specifieke toeslag voor bedrijfsbeperking bij vrije afkoeling

De specifieke toeslag voor bedrijfsbeperking $\varphi_{\text{hu},i}$ volgt uit tabel 3.7. De keuze voor een hoge of lage thermische opslagcapaciteit van het gebouw (in de tabel weergegeven met zwaarte van het gebouw) volgt

uit de waarde van c_{eff} die bepaald is in paragraaf 2.6. Indien $c_{eff} \leq 70 \text{ Wh/K}$ dan is de opslagcapaciteit/zwaarte van het gebouw licht/middelzwaar (l). In de overige gevallen zwaar (z).

De specifieke thermische opslagcapaciteit c_{eff} volgt uit:

$$c_{eff} = \frac{C_{eff}}{V} \quad [\text{Wh}/(\text{m}^3\text{K})] \quad (3.44)$$

Waarin:

C_{eff} = effectieve opslagcapaciteit van het gebouw (volgens vergelijking 2.10) [Wh/K]

V = volume van het gebouw gebaseerd op de uitwendige afmetingen [m³]

Tabel 3.13 Specifieke toeslag voor bedrijfsbeperking $\phi_{hu,i}$ [W/m²] bij vrije afkoeling

Aantal uren verlaging		82)				14				623)			
Aantal luchtwisselingen ¹⁾		0,1		0,5		0,1		0,5		0,1		0,5	
Zwaarte gebouw		l	z	l	z	l	z	l	z	l	z	l	z
Opwarmtijd [h]	0,5	63	16	74	26	88	38	91	56	92	-	92	-
	1	34	10	43	16	50	29	50	43	55	100	55	-
	2	14	3	21	8	28	18	28	29	32	86	32	-
	3	5	0	10	2	17	12	18	21	23	73	23	94
	4	0	0	3	0	11	7	12	15	17	64	17	84
	6	0	0	0	0	3	1	5	5	10	52	10	70
	12	0	0	0	0	0	0	0	0	2	31	2	45

1) Indien de ramen en deuren gesloten zijn en de installatie is uitgeschakeld, kan worden uitgegaan van 0,1.
2) Van toepassing bij een tweeploegendienst.
3) Weekendverlaging. Bij voorkeur een langere opwarmtijd toestaan na de weekendverlaging.

3.8.2.2 Specifieke toeslag voor bedrijfsbeperking bij beperkte afkoeling

De specifieke toeslag voor bedrijfsbeperking $\phi_{hu,i}$ volgt uit tabel 3.13. De keuze voor een hoge of lage thermische opslagcapaciteit van het gebouw (in tabel 3.13 weergegeven met zwaarte van het gebouw) volgt uit de waarde van c_{eff} die bepaald is in paragraaf 2.6. Indien $c_{eff} \leq 70 \text{ Wh/K}$ dan is de opslagcapaciteit/zwaarte van het gebouw laag/licht (l). In de overige gevallen medium/zwaar (z).

Te verwachten afkoeling

Voor gebouwen met een grote tijdconstante kan de afkoeling benaderd worden door een eerste-orde-systeem. Deze globale berekening wordt uitgevoerd op gebouwniveau en is een indicatie voor de gemiddeld te verwachten afkoeling in de vertrekken.

De afkoeling $\Delta\theta$ voor een gebouw met een grote tijdconstante volgt uit:

$$\Delta\theta = (\theta_i - \theta_e) - (\theta_i - \theta_e) \cdot e^{-t/\tau} \quad [^\circ\text{C}] \quad (3.45)$$

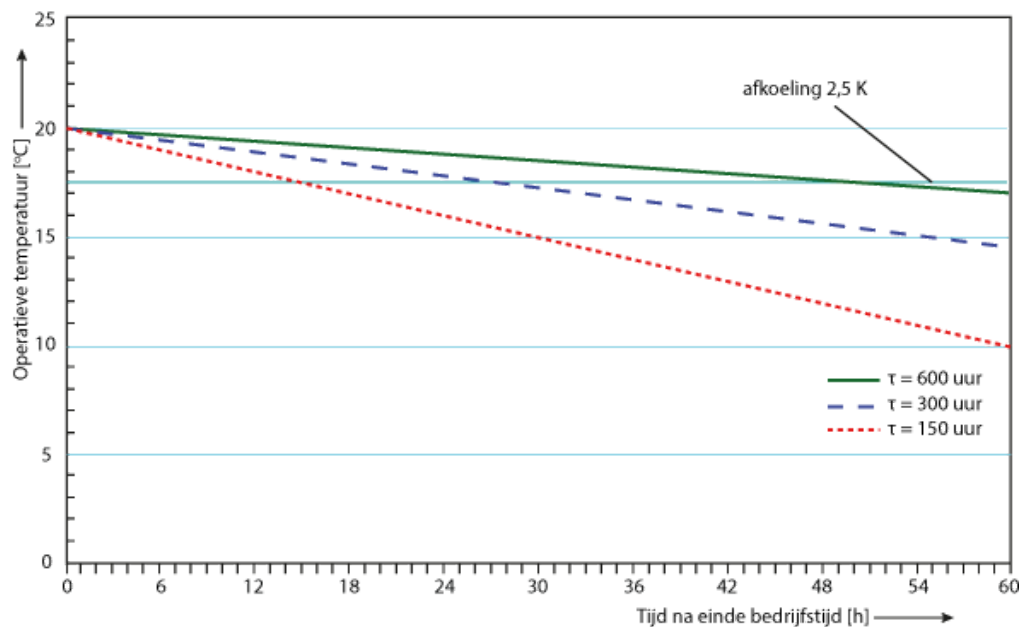
Waarin:

t = tijd van afkoeling [s]
 τ = tijdconstante bepaald volgens paragraaf 2.6.1 [s]
 θ_i = ontwerpbinrentemperatuur [°C]
 θ_e = ontwerpbutentemperatuur conform paragraaf 2.6 [°C]

Voor een temperatuurverschil binnen/buiten van 30 °C en een afkoelingsduur van 62 uur betekent dit dat de tijdconstante van een gebouw groter dan 570 uur moet zijn om de afkoeling te beperken tot minder dan 3 K. Voor lichte gebouwen (zie ook E.2) en/of slecht geïsoleerde gebouwen is de afkoeling altijd groter dan 3 K. Voor aanzienlijk kleinere tijdconstanten is de afkoeling nog enkele graden meer omdat er dan een niet

verwaar-loosbaar 2e orde effect gaat optreden.

Afbeelding 3.2 geeft de afkoeling van een gebouw afhankelijk van de tijdconstante.



Afb. 3.2 Afkoelcurve

Tabel 3.14 Specifieke toeslag voor bedrijfsbeperking $\phi_{hu,i}$ [W/m²] bij beperkte afkoeling

Aantal graden verlaging		1				2				3				4				5			
Aantal luchtwisselingen ¹⁾		0,1		0,5		0,1		0,5		0,1		0,5		0,1		0,5		0,1		0,5	
Zwaarte gebouw		I	z	I	z	I	z	I	z	I	z	I	z	I	z	I	z	I	z	I	z
Opwarmtijd [h]	0,5	12	12	14	18	27	28	29	35	39	44	44	53	50	60	58	69	-	-	-	-
	1	8	8	10	14	19	21	21	28	26	34	32	43	33	48	41	56	-	-	-	-
	2	5	5	7	11	10	15	13	22	15	25	21	33	20	35	28	43	43	85	47	94
	3	3	3	5	10	7	12	10	19	9	20	15	27	14	29	21	37	33	75	37	84
	4	2	2	4	9	5	10	8	17	7	18	13	25	10	26	17	34	28	72	31	76

1) Indien de ramen en deuren gesloten zijn en de installatie is uitgeschakeld, kan worden uitgegaan van 0,1.

3.8.2.3 Toe te rekenen toeslag voor bedrijfsbeperking

Bij een periode van nachtverlaging/bedrijfsbeperking wordt ervan uitgegaan dat de mechanische toevoer van de ventilatie in de nachtstand staat c.q. uitgeschakeld wordt. Hierdoor is een deel van het vermogen, bedoeld voor het dekken van het ventilatiewarmteverlies, beschikbaar voor opwarmen.

Het toe te rekenen deel van de toeslag voor bedrijfsbeperking $\Phi_{hu,i}$ volgt uit:

Bij systemen zonder mechanische toevoer van ventilatielucht: $\Phi_{hu,i} = \Phi_{op}$

Bij systemen met mechanische toevoer van ventilatielucht waarbij geldt dat indien $\Phi_{hu,i} < 0$ dan $\Phi_{hu,i} = 0$

$$\Phi_{hu,i} = \Phi_{op} - \alpha \cdot H_v \cdot (\theta_i - \theta_e) \quad [W] \quad (3.46)$$

Waarin:

H_v	= specifiek warmteverlies t.g.v. ventilatie volgens paragraaf 4.7.2	[W]
θ_i	= ontwerp binnentemperatuur volgens paragraaf 2.5	[°C]
θ_e	= ontwerp buitentemperatuur volgens paragraaf 2.6	[°C]
α	= 1 bij opwarmen zonder mechanische ventilatie	[-]
α	= 0 bij opwarmen met mechanische ventilatie	[-]

3.9 Warmtewinst

De warmtewinst Φ_{gain} betreft warmte van processen, apparatuur en machines die continu in het vertrek wordt afgegeven. Het gaat hier niet om de warmteafgifte van bijvoorbeeld de verlichting. In de utiliteitsbouw geldt in het algemeen $\Phi_{\text{gain}} = 0$

Indien de warmtewinst niet continu optreedt (hierbij telt de tijd tijdens het opwarmen mee) geldt: $\Phi_{\text{gain}} = 0$

Opmerking: De niet continu optredende warmtewinst draagt niet altijd bij aan de maximaal optredende warmtevraag. Wel heeft deze warmtewinst invloed op het energiegebruik voor verwarming.

Indien continu warmtewinst optreedt mag deze van het te installeren vermogen worden afgetrokken. In het algemeen is deze warmtewinst moeilijk te bepalen. Hierbij zijn de volgende gevallen te onderscheiden:

- a. Warmtewinst t.g.v. doorvoer van warme producten door de ruimte;
- b. Warmteontwikkeling door processen in de ruimte.

Ad a)

De afgegeven warmte is afhankelijk van de gemiddelde oppervlaktetemperatuur θ_{opw} en het oppervlak A_w . Het betreft als het ware een in de ruimte opgesteld extra verwarmingslichaam. Als benadering kan voor de warmtewinst uitgegaan worden van de volgende benadering:

$$\Phi_{\text{gain}} = 8 \cdot A_w \cdot (\theta_{\text{opw}} - \theta_i) \quad [\text{W}] \quad (3.47)$$

Waarin:

A_w	=	oppervlak van continu toegevoerd/doorgevoerd materiaal	$[\text{m}^2]$
θ_{opw}	=	gemiddelde oppervlaktetemperatuur	$[\text{°C}]$
θ_i	=	ontwerpbinrentemperatuur	$[\text{°C}]$

Ad b)

De warmteafgifte van processen in de ruimte is veelal een gevolg van (elektrische) energie in de aandrijving van bijvoorbeeld verwerkingsmachines. Hiervan gaat een gedeelte van het vermogen in het product zitten en wordt de rest aan de ruimte afgegeven. Globaal kan ervan uitgegaan worden dat 75% van het gemiddeld opgenomen elektrisch vermogen aan de ruimte wordt afgegeven.

Warmteverlies

Hierbij wordt onderscheid gemaakt in warmteverlies door lokale afzuiging en door warmteverlies door warmteoverdracht naar koude oppervlakken (Φ_{gain} is dan negatief).

Warmteverlies door lokale afzuiging

Het warmteverlies Φ_{gain} door lokale afzuiging volgt uit:

$$\Phi_{\text{gain}} = 1200 \cdot q_{\text{af}} \cdot (\theta_t - (\theta_i - \Delta\theta_v)) \quad [\text{W}] \quad (3.48)$$

Waarin:

1200	=	waarde voor $c_p \cdot \rho$	$[\text{J}/(\text{m}^3 \cdot \text{K})]$
q_{af}	=	volumestroom afgezogen lucht	$[\text{m}^3/\text{s}]$
θ_i	=	ontwerpbinrentemperatuur	$[\text{°C}]$
$\Delta\theta_v$	=	correctie voor lagere luchttemperatuur bij stralingsverwarming conform tabel 2.2	$[\text{°C}]$
θ_t	=	temperatuur van de toegevoerde lucht (buitentemperatuur of temperatuur na WTW)	$[\text{°C}]$

Warmteverlies naar koude vlakken

Warmteverlies naar koude vlakken Indien warmteverlies t.g.v. de productie, doorvoer van koude materialen of gekoelde oppervlakken optreedt, moet dit in rekening gebracht worden.

Globaal kan hiervoor de volgende waarde worden aangehouden:

$$\Phi_{\text{gain}} = -8 A_k \cdot (\theta_i - \theta_{\text{opk}}) \quad [\text{W}] \quad (3.49)$$

Waarin:

A_k	=	gekoeld/koud oppervlak	$[\text{m}^2]$
θ_i	=	ontwerpbinrentemperatuur	$[\text{°C}]$
θ_{opk}	=	gemiddelde oppervlaktetemperatuur gekoelde oppervlak	$[\text{°C}]$

4 Te installeren vermogen

Bij het bepalen van het te installeren vermogen voor de hoge ruimten wordt onderscheid gemaakt tussen systemen voor één ruimte en systemen voor meerdere ruimten.

4.1 Aansluitwaarde voor één ruimte

Hierbij wordt onderscheid gemaakt in:

1. Direct gestookte systemen (bijv. luchtverwarmer of straler);
2. Indirect gestookte systemen (bijv. door ketel of WP verwarmd water met vloerverwarming).

4.1.1 Direct gestookte systemen

Direct gestookte systemen komen zeer veel voor in industriële ruimten en winkels. Bij direct gestookte systemen zijn er geen systeemverliezen. Alle afgegeven warmte komt via straling of warme lucht in de ruimte.

Voor het te installeren vermogen geldt dan:

$$\Phi_{\text{bron}} = \Phi_{\text{HL},i} \quad [\text{W}] \quad (4.1)$$

4.1.2 Indirect gestookte systemen

Bij de indirect gestookte systemen is er sprake van een warmteopwekker (ketel, WP, etc.) die warmwater maakt dat voor ruimteverwarming gebruikt wordt. Voor deze systemen moet de som van de gelijktijdig optredende systeemverliezen bepaald worden.

Het totale te installeren vermogen Φ_{bron} betreft dan:

$$\Phi_{\text{bron}} = \Phi_{\text{HL},i} + \Sigma \Phi_{\text{add},i} \quad [\text{W}] \quad (4.2)$$

Waarin:

$$\Phi_{\text{HL},i} = \text{warmteverlies van het vertrek/de ruimte volgens paragraaf 3.1} \quad [\text{W}]$$

$$\Sigma \Phi_{\text{add},i} = \text{som van de gelijktijdig optredende systeemverliezen} \quad [\text{W}]$$

Onder de som van de gelijktijdig optredende systeemverliezen (additionele warmtevraag) $\Phi_{\text{add},i}$ vallen de volgende bijdragen aan het vermogen van de warmteopwekker:

1. Het naar beneden afgegeven vermogen van vloerverwarming;
2. Het vermogen van de voorverwarmer van ventilatielucht;
3. Warmteverlies van leidingen in onverwarmde ruimten.

In formule vorm weergegeven:

$$\Sigma_i \Phi_{\text{add},i} = \Sigma_i \Phi_{\text{vloer},i} + \Phi_{\text{vv}} + \Phi_{\text{leid}} \quad [\text{W}] \quad (4.3)$$

Waarin:

$$\Sigma_i \Phi_{\text{vloer},i} = \text{gesommeerde warmteafgifte van vloerverwarming naar de bodem/kruipruimte} \quad [\text{W}]$$

$$\Phi_{\text{vv}} = \text{vermogen van de voorverwarmer van ventilatielucht} \quad [\text{W}]$$

$$\Phi_{\text{leid}} = \text{warmteverlies van leidingen/luchtkanalen in onverwarmde ruimten} \quad [\text{W}]$$

Hieronder wordt nader op de verschillende additionele warmtevragen ingegaan.

Warmteafgifte van vloerverwarming naar de bodem/kruipruimte

Bij afwezigheid van vloerverwarming en vloerverwarming op verdiepingsvloeren geldt: $\Phi_{vloer} = 0$.

Voor de defaultwaarde voor de warmteafgifte naar beneden van vloerverwarming voor geïsoleerde vloeren ($R_c \geq 3 \text{ m}^2 \cdot \text{K/W}$) geldt: $\Phi_{vloer} = 0,1 \cdot \Phi_{HL,i}$. Voor ongeïsoleerde vloeren geldt: $\Phi_{vloer} = 0,25 \cdot \Phi_{HL,i}$.

Vermogen van de voorverwarmer

Voor systemen zonder voorverwarming of elektrische voorverwarming geldt: $\Phi_{vv} = 0$.

Voor systemen met voorverwarming van de ventilatielucht tot θ_t door een verwarmingselement geldt dat het vermogen van de voorverwarmer afhankelijk is van het al of niet toepassen van warmteterugwinning (WTW).

Vermogen van de voorverwarmer zonder toepassing WTW:

$$\Phi_{vv} = q_v \cdot 1200 \cdot (\theta_t - \theta_e) \quad [\text{W}] \quad (4.4)$$

Waarin:

1200	=	waarde voor $c_p \cdot \rho$	$[\text{J}/(\text{m}^3 \cdot \text{K})]$
q_v	=	totale lucht volumestroom ventilatie over de voorverwarmer	$[\text{m}^3/\text{s}]$
θ_t	=	toevoertemperatuur ventilatielucht	$[\text{°C}]$
θ_e	=	ontwerpbuitentemperatuur, die gelijk is aan -10 °C	$[\text{°C}]$

Vermogen van de voorverwarmer met WTW:

$$\Phi_{vv} = q_v \cdot 1200 \cdot (\theta_t - \theta_m) \quad [\text{W}] \quad (4.5)$$

Waarin:

1200	=	waarde voor $c_p \cdot \rho$	$[\text{J}/(\text{m}^3 \cdot \text{K})]$
q_v	=	totale lucht volumestroom ventilatie over de voorverwarmer	$[\text{m}^3/\text{s}]$
θ_t	=	toevoertemperatuur ventilatielucht	$[\text{°C}]$
θ_m	=	temperatuur voor de voorverwarming (na WTW; zie bijlage C voor berekening van de temperatuur na de WTW)	$[\text{°C}]$

Warmteverlies van leidingen/luchtkanalen in onverwarmde ruimten

Bij afwezigheid van leidingen of luchtkanalen in onverwarmde ruimten geldt $\Phi_{leid} = 0$.

Het warmteverlies van leidingen of luchtkanalen in onverwarmde ruimten kan bepaald worden met bijlage K.

4.2 Aansluitvermogen voor meerdere ruimten

Om overdimensionering van de collectieve warmteopwekker te voorkomen mag geen warmteverlies naar aangrenzende panden die door dezelfde collectieve warmteopwekker verwarmd worden in rekening gebracht worden.

De bijdrage van een gebouw aan het benodigde vermogen Φ_{source} van een collectieve installatie volgt uit:

$$\Phi_{source} = \sum_i [\Phi_{T,ie} + \Phi_{T,iae} + \Phi_{T,ig}] + \sum_i \Phi_{V,build} + \sum_i \Phi_{hu,i} + \sum_i \Phi_{add,i} - \sum_i \Phi_{gain,i} \quad [\text{W}] \quad (4.6)$$

Waarin:

\sum_i	= sommatie over de verschillende vertrekken	[-]
$\Phi_{T,ie}$	= warmteverlies naar buitenlucht van vertrek i bepaald conform paragraaf 3.2	[W]
$\Phi_{T,iae}$	= warmteverlies naar onverwarmde aangrenzende ruimten van vertrek i bepaald conform paragraaf 3.4	[W]
$\Phi_{T,ig}$	= ontwerpwarmteverlies van vertrek i naar de bodem conform paragraaf 3.6	[W]
$\sum_i \Phi_{v,build}$	= som van warmteverlies door buitenluchttoetreding (zie paragraaf 3.7)	[W]
$\sum_i \Phi_{h,u,i}$	= som van de gelijktijdig optredende toeslag voor bedrijfsbeperking bepaald conform paragraaf 3.8	[W]
$\sum_i \Phi_{add,i}$	= som van de gelijktijdig optredende additionele warmtevraag (zie paragraaf 4.1)	[W]
$\sum_i \Phi_{gain,i}$	= som van de gelijktijdig optredende warmtewinsten (zie paragraaf 3.9)	[W]

5 Voorbeeld

5.1 Voorbeeld 1

Het betreft een nieuwe, vrijstaande, doosvormige hal met als hoofdafmetingen $80 \cdot 30 \cdot 7,5$ m.

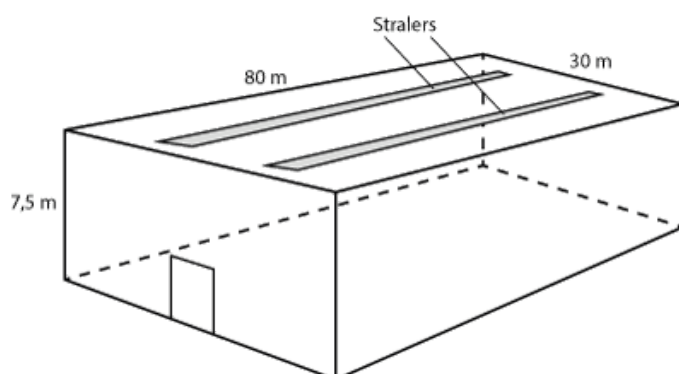
De deur heeft een afmeting van $4 \cdot 3$ meter en een U-waarde van $2 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$.

De wanden hebben een U-waarde van $0,20 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$ en zijn opgebouwd, van buiten naar binnen weergegeven, uit damwandprofielen, isolatie en een geperforeerde staalplaat.

Het dak heeft een U-waarde van $0,15 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$ en is opgebouwd, van buiten naar binnen weergegeven, uit een kunststoffolie, isolatie en stalenprofielen. Het dak is niet voorzien van dakramen.

De vloer is een geïsoleerde betonvloer met een U-waarde van $1 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$. Grondwaterspiegel 2 m onder het maaiveld. De vloer ligt op de hoogte van het maaiveld.

De hal heeft geen tegenover elkaar gelegen deuren en wordt verwarmd met zwartebuisstralers. Afbeelding 5.1 geeft een beeld van de hal.



Afb. 5.1 Schematische weergave van de hal

De hal heeft geen mechanische ventilatie en wordt 12 uur per dag gedurende 5 dagen per week gebruikt. De hal is voorzien van een klokthermostaat. De minimum nachttemperatuur is 10°C .

In de hal vinden overwegend lichte werkzaamheden plaats. In de hal werken maximaal 35 personen tegelijk.

In de ruimte is geen sprake van doorvoer van materialen. Wel is er ca. 200 ton aan stalen productiemachines opgenomen.

Gevraagd: het in deze hal te installeren verwarmingsvermogen.

Oplossing

Ontwerpbinnentemperatuur

Uit de gegevens van de activiteit volgt uit tabel 2.1 een ontwerpbinnentemperatuur van 18°C .

Ontwerpbuitentemperatuur

De hal heeft geen steenachtige wanden. Hierdoor is de accumulatie gering en geldt voor de ontwerpbuitentemperatuur: $\theta_e = -10^\circ\text{C}$.

Uit tabel 2.2 volgt een verticale temperatuurgradiënt $\Delta\theta_1$ van $0,5 \text{ K/m}$ en een verlaging van de luchttemperatuur t.o.v. de ontwerpbinnentemperatuur voor ventilatieberekeningen $\Delta\theta_v$ van $1,5 \text{ K}$.

De reductiefactor voor hogere circulatievouden is 1 (zie tabel 2.4).

Hieruit volgt met formule 2.5:

$$\Delta\theta_1 = 1 \times (7,5 - 1) \times 0,5 = 3,25 \text{ K}.$$

Warmteverlies door transmissie

Het transmissieverlies voor een ruimte volgt volgens formule 3.2 uit:

$$\Phi_{T,i} = (HT_{i,e} + HT_{i,a} + HT_{i,a,e} + HT_{i,a,BE} + HT_{i,g}) \cdot (\theta_i - \theta_e) [\text{W}]$$

$H_{T,ie} = \sum k(A_k \cdot (U_k + \Delta U_{TB}) \cdot f_k) \text{ [W/K]}$
 Voor ΔU_{TB} geldt volgens tabel 3.1 $\Delta U_{TB} = 0,1$

Voor de correctiefactor f_k geldt:

Voor buitenwanden (formule 3.4)

$$f_k = \frac{(\theta_i + 0,5 \cdot (\Delta \theta_1 + \Delta \theta_2)) - \theta_e}{\theta_i - \theta_e} \quad [-]$$

Voor platte daken (formule 3.6)

$$f_k = \frac{(\theta_i + \Delta \theta_1) - \theta_e}{\theta_i - \theta_e} \quad [-]$$

Ingevuld voor de verschillende wanden:

Buitenwand 1

$$H_{T,ie} = 80 \times 7,5 \times (0,2 + 0,1) \times \frac{(18 + 0,5 \times (3,25 + 0)) - (-10)}{18 - (-10)} = 190,45 \text{ W/K}$$

Buitenwand 2

Wanden naast de deur:

$$H_{T,ie} = ((30 - 4) \times 7,5) \times (0,2 + 0,1) \times \frac{(18 + 0,5 \times (3,25 + 0)) - (-10)}{18 - (-10)} = 61,90 \text{ W/K}$$

Deur:

$$H_{T,ie} = 4 \times 3 \times (2 + 0,1) \times \frac{18,5 - (-10)}{18 - (-10)} = 25,65 \text{ W/K}$$

Wand boven de deur:

$$H_{T,ie} = 4 \times 4,5 \times (0,2 + 0,1) \times \frac{0,5 \times (19 + 21) - (-10)}{18 - (-10)} = 5,79 \text{ W/K}$$

Totaal over deze wand: $H_{T,ie} = 93,34 \text{ W/K}$

Buitenwand 3 (= buitenwand 1):

$$H_{T,ie} = 80 \times 7,5 \times (0,2 + 0,1) \times \frac{(18 + 0,5 \times (3,25 + 0)) - (-10)}{18 - (-10)} = 190,45 \text{ W/K}$$

Buitenwand 4 (= buitenwand 2):

$$H_{T,ie} = 30 \times 7,5 \times (0,2 + 0,1) \times \frac{(18 + 0,5 \times (3,25 + 0)) - (-10)}{18 - (-10)} = 71,42 \text{ W/K}$$

Plat dak

$$H_{T,ie} = 80 \times 30 \times (0,15 + 0,1) \times \frac{((18 + 3,25) - (-10))}{18 - (-10)} = 669,64 \text{ W/K}$$

Gesommeerd over de verschillende vlakken: $\sum HT_{ie} = 1.215,3 \text{ W/K}$

$HT_{ia} = 0$; er zijn geen aangrenzende verwarmde ruimten.

$HT_{iae} = 0$; er zijn geen aangrenzende onverwarmde ruimten.

$HT_{iaBE} = 0$; er zijn geen burens (vrijstaande hal).

Vloer

Uit formule 3.19 volgt:

$$HT_{ig} = 1,45 \cdot fs \cdot \sum k(Ak \cdot U_{equiv,k} \cdot fgw \cdot fig,k) \text{ [W/K]}$$

Volgens formule 3.20 geldt:

$$f_{ig,k} = \frac{(\theta_i + \Delta\theta_2) - \theta_{me}}{\theta_i - \theta_e} = \frac{(18 + 0) - 9}{18 - (-10)} = 0,32$$

$fs = 1,25$ voor zwartebuisstralers

$fgw = 1$ (grondwaterspiegel meer dan 1m onder vloerniveau)

Bepaling $U_{equiv,k}$:

$$\text{Hulpwaarde } B' = 2Avl/0 = 4.800/220 = 21,8$$

Uit formule 3.22 volgt:

$$U_{equiv,k} = \frac{0,9671}{-7,455 + (10,76 + 21,8)^{0,5532} + (9,773 + 0)^{0,6027} + (0,0265 + 0,1 + 1)^{-0,9296}} - 0,0203 = 0,21 \text{ W/(m}^2 \cdot \text{K)}$$

In formule 3.19 ingevuld wordt het specifieke warmteverlies door de vloer:

$$HT_{ig} = 1,45 \times 1,25 \times 2400 \times 0,21 \times 1 \times 0,32 = 292,32 \text{ W/K}$$

Het warmteverlies door transmissie volgt uit formule 3.2 en is gelijk aan:

$$\Phi T_{i} = (1215,3 + 0 + 0 + 0 + 292,32) \times (18 - (-10)) = 42.213 \text{ W}$$

Warmteverlies door buitenluchttoetreding

Het warmteverlies door buitenluchttoetreding volgt volgens formule 3.24 uit:

$$\Phi V_{build} = (\max(H_i; H_v)) \cdot (\theta_i - \theta_e)$$

H_i volgt uit formule 3.25:

$$H_i = q_i \cdot 1200 \cdot f_i \text{ [W/K]}$$

Voor q_i volgt uit formule 3.27 en tabel 3.4:

$$q_i = 0,1 \times 18.000/3600 = 0,5 \text{ m}^3/\text{s}$$

Voor f_i volgt uit formule 3.26:

$$f_i = \frac{18 - 1,5 + 0,5(3,25 + 0) - (-10)}{18 - (-10)} = 1,01$$

$$H_i = 0,5 \times 1.200 \times 1,01 = 606,0 \text{ W/K}$$

H_v volgt uit formule 3.33:

$$H_v = q_v \cdot 1200 \cdot f_v \text{ [W/K]}$$

Ventilatie-eis per persoon (zie tabel 3.11) = $6,5 \text{ dm}^3/\text{s}$

$$H_v = 6,5 \times 35 \times 1.200 \times 1,01 = 275,73 \text{ W/K}$$

De infiltratie is groter dan de ventilatie en dus bepaalt deze het warmteverlies door buitenluchttoetreding.

$$\text{Hieruit volgt: } \Phi v_{build} = 606,0 \times (18 - (-10)) = 16.968 \text{ Watt.}$$

Toeslag voor bedrijfsbeperking

Voor de toeslag voor bedrijfsbeperking geldt volgens formule 3.37 en 3.40:

$$\Phi_{op} = (A_{vl} + A_{massa}) \cdot \phi_{hu,i} + \Phi_{extra} \text{ [W]}$$

Voor het equivalente vloeroppervlak voor verrekening van de interne massa geldt volgens formule 3.33:

$$A_{massa} = \frac{\sum_i (m_i \cdot c_i)}{1,2 \cdot 10^5} = 833 \text{ m}^2$$

Uit bijlage E volgt dat bij een opwarmtijd op maandag ochtend van 9 uur ($BT = 9 + 12 = 21$ uur) een specifieke toeslag voor bedrijfsbeperking 'P' van 45 W/m^2 (afbeelding E.1).

Uit tabel E.1 volgt dat de reductiefactor voor opwarmen tot $PMV = -0,5$ buiten bedrijfstijd en tot $PMV = 0$ binnen bedrijfstijd $c_o = 0,23$.

Hieruit volgt voor de toeslag voor bedrijfsbeperking $\phi_{hu,i} = 0,23 \times 45 = 10,35 \text{ W/m}^2$.

Hieruit volgt voor de toeslag voor bedrijfsbeperking $\Phi_{op} = 10,35 \times (2.400 + 833) = 33.462 \text{ Watt}$.

Er is geen mechanische ventilatie dus $\Phi_o = \Phi_{op}$.

Er is geen sprake van materiaal doorvoer door het vertrek dus $\Phi_{extra} = 0$.

Warmtewinst

Er is geen warmtewinst in het vertrek dus $\Phi_{gain,i} = 0$

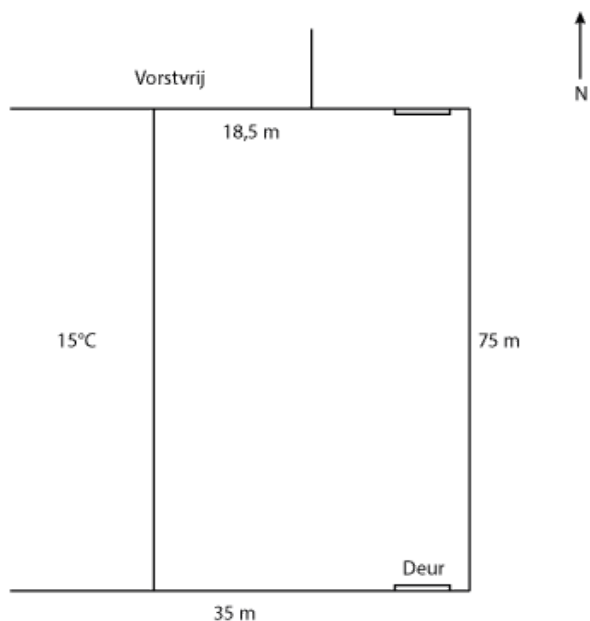
Totaal te installeren

Totaal te installeren: $42.213 + 16.968 + 33.462 + 0 = 92.643 \text{ Watt} \approx 93 \text{ kW}$

Voor het bepalen van het aantal stralers moet deze waarde nog gedeeld worden door het toestelrendement.

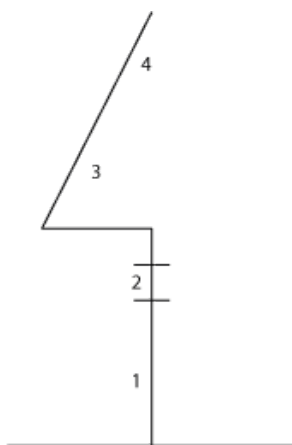
5.2 Voorbeeld 2

Het betreft een bestaande hal van $75 \cdot 35 \cdot 7$ meter. De hal grenst met twee zijden geheel aan de buitenlucht. De noordzijde van de hal grenst voor de helft aan een ruimte die in principe vorstvrij gehouden wordt. De vierde zijde grenst aan een andere hal van hetzelfde bedrijf waar een binnentemperatuur van 15°C heerst. Afbeelding 5.2 geeft de ligging van de hal.



Afb. 5.2 Ligging van de hal

Afbeelding 5.3 geeft een dwarsdoorsnede van de buitenwand zoals deze grenst aan de buitenlucht. Zowel in de noord- als zuidgevel zijn geïsoleerde laaddeuren opgenomen ($4 \cdot 3 \text{ m}$ en $U = 2 \text{ W/(m}^2\cdot\text{K)}$).



Afb. 5.3 Doorsnede buitenwand

1. Een dubbelsteens wand (buitenzijde metselbaksteen en aan de binnenzijde betonsteen) met 18 cm isolatie. De hoogte van de wand is 3 m;
2. Raam van HR++-glas in een houten kozijn. Hoogte van het HR++-glas is 30 cm;
3. Horizontale overstek: een stalen damwandprofiel met daarop een isolatiedeken van 18 cm dik. De laag ligt los of met enige planken als ballast op het damwandprofiel. Geen afwerking aan de bovenzijde. De overstek is 1 m breed;
4. Schuine wand: aan de buitenzijde damwandprofiel, dan 18 cm isolatie en aan de binnenzijde afgewerkt met een dunne, iets geprofileerde staalplaat. De lengte van deze schuine wand is 4,12 m. De (verticale) hoogte van de wand is 4 m.

De wand naar de hal die vorstvrij gehouden wordt bestaat uit 15 cm dikke betonstenen en is geheel vlak. De binnenwand naar de naastgelegen hal is eveneens opgetrokken uit 15 cm dikke betonstenen.

Vloer: 20 cm verdicht grindbeton direct op zand.

Dak: 20 cm isolatie tussen stalen platen.

In het dak zijn 9 driewandige kunststof daglichtkoepels geplaatst. Deze koepels hebben een oppervlakte van 331 m².

Aanvullende gegevens

De hal is voorzien van HT-luchtverwarming en ondersteuningsventilatoren ($n = 3$).

Er is geen mechanische ventilatie; alleen infiltratie.

Er wordt bedrijfsbeperking toegepast; minimum nachttemperatuur 10 °C. De hal is gedurende 5 dagen per week in bedrijf gedurende 12 uur. Geregeld wordt er met een (klok-)thermostaat.

In de hal is 325 ton aan productiemachines opgesteld.

Regelmatig wordt 10 ton van buiten komend staal aangevoerd.

Er is geen continue doorvoer van materiaal.

Dimensionering van de warmtebehoefte van de hal

Stap 1

De eerste stap die moet worden uitgevoerd is het vaststellen van de ontwerp binnentemperatuur.

Kledingweerstand: 0,82 clo.

Activiteitsniveau: 2,3 met.

Uit afbeelding A.1 volgt een ontwerp binnentemperatuur van 16 °C.

Stap 2

De tweede stap is het vaststellen van de ontwerp buitentemperatuur.

Het betreft een industriegebouw.

De ontwerp buitentemperatuur $\theta_e = -10$ °C.

Stap 3

Derde stap is het vaststellen van de verticale temperatuurverschillen.

De ruimte wordt verwarmd met luchtverwarming met ondersteuningsventilatoren.

Uit formule 2.5 volgt: $\Delta\theta_1 = \Delta\theta_{a1} = r \cdot \delta\theta_1 \cdot (h - 1)$.

Uit tabel 2.2 volgt: $\delta\theta_1 = 1,3$ en $\Delta\theta_2 = -1$.

Uit tabel 2.4 volgt voor de reductiefactor $r = 0,58$.

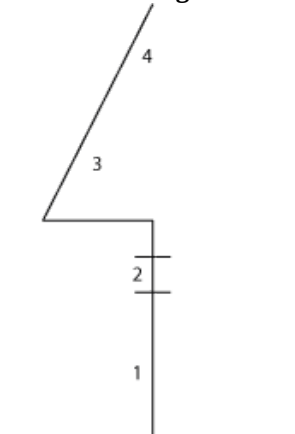
Voor de totale hoogte van de ruimte geldt: $\Delta\theta_1 = 0,58 \times 1,3 \times (7 - 1) = 4,5 \text{ K}$.

De verticale temperatuurgradiënt is $0,58 \times 1,3 = 0,75 \text{ K/m}$.

Door de aparte vorm van het gebouw moet er een aantal temperaturen gedefinieerd worden:

1. Voor het verticale deel van de wand geldt: $\Delta\theta_1 = \Delta\theta_{a1} = r \cdot \delta\theta_1 \cdot (h - 1) = 1,5$ (immers $h = 3 \text{ m}$);
2. Temperatuur bij de horizontale delen van de wanden met overstek: $16 + 0,75 \times (3 - 1) = 17,5 \text{ °C}$;
3. Voor de schuine vlakken moet als ontwerp binnentemperatuur uitgegaan worden van de gemiddelde temperatuur van het vlak: $17,5 + 2 \times 0,75 = 19,0 \text{ °C}$.

Buitenwand tegenover binnenwand (oostwand); lengte 75 m



Afb. 5.4 Doorsnede buitenwand (oostwand)

1) Stenen wand met 4 cm isolatie

$$U = 0,216 \text{ W/(m}^2 \cdot \text{K)}$$

Het betreft een buitenwand:

$$HT_{ie} = \sum k(A_k \cdot f_k \cdot (U_k + 0,1)) \text{ [W/k]}$$

$$\Delta\theta_1 = (2,7 - 1) \times 0,75 = 1,28 \text{ K}$$

$$\Delta\theta_2 = -1 \text{ K}$$

Voor het bepalen van factor f_k geldt:

$$f_k = \frac{(\theta_i + 0,5 \cdot (\Delta\theta_1 + \Delta\theta_2)) - \theta_e}{\theta_i - \theta_e} = \frac{16 + 0,5(1,28 - 1) + 10}{26} = 1,005$$

$$A_k = 75 \times 3 - 0,3 \times 75 = 202,5 \text{ m}^2$$

$$HT_{ie} = 202,5 \times 1,005 \times (0,216 + 0,1) = 64,31 \text{ W/K}$$

2) Glas in wand

Het betreft een buitenwand:

$$HT_{ie} = \sum k(A_k \cdot f_k \cdot (U_k + 0,1)) \text{ [W/K]}$$

$$\Delta\theta_1 = (3 - 1) \times 0,75 = 1,5$$

$$\Delta\theta_2 = (2,7 - 1) \times 0,75 = 1,28$$

Voor f_k geldt:

$$f_k = \frac{(\theta_i + 0,5 \cdot (\Delta\theta_1 + \Delta\theta_2)) - \theta_e}{\theta_i - \theta_e} = \frac{16 + 0,5(1,5 - 1,28) + 10}{26} = 1,053$$

$$A_k = 0,3 \times 75 = 22,5 \text{ m}^2$$

$$U = 1,6 \text{ W/(m}^2 \cdot \text{K)}$$

$$HT_{ie} = 22,5 \times (1,6 + 0,1) \times 1,053 = 40,28 \text{ W/K}$$

3) *Horizontale overstek*

18 cm isolatie + staalplaat

$$U = 0,216 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$$

$$fk = (17,5 - (-10)) / (16 - (-10)) = 1,058$$

$$HT,ie = \Sigma k(Ak \cdot Uk \cdot fk) = 75 \times (0,216 + 0,1) \times 1,058 = 25,07 \text{ W/K}$$

4) *Schuine wanden*

18 cm isolatie tussen staalplaten

$$U = 0,214 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$$

$$fk = (19 - (-10)) / (16 - (-10)) = 1,115$$

$$HT,ie = \Sigma k(Ak \cdot Uk \cdot fk) = 309 \times (0,214 + 0,1) \times 1,115 = 108,18 \text{ W/K}$$

Totaal voor deze buitenwand $HT,ie = 237,84 \text{ W/K}$

Kopse wand (zuidwand) lengte 35 m; geheel aan buiten grenzend

1) *Stenen wand (excl. deur)*

$$Ak = 35 \times 3 - 0,3 \times 35 - 12 = 82,5 \text{ m}^2$$

$$HT,ie = 82,5 \times (0,216 + 0,1) \times 1,005 = 26,20 \text{ W/K}$$

$$\text{Deur: } 4 \times 3 = 12 \text{ m}^2$$

$$HT,ie = 12 \times (2 + 0,1) \times 1,010 = 25,45 \text{ W/K}$$

2) *Glas in wand*

$$HT,ie = 10,5 \times (1,6 + 0,1) \times 1,053 = 18,80 \text{ W/K}$$

3) *Horizontale overstek*

$$HT,ie = 35 \times (0,216 + 0,1) \times 1,058 = 11,70 \text{ W/K}$$

4) *Schuine overstek*

$$HT,ie = 144,2 \times (0,214 + 0,1) \times 1,115 = 50,48 \text{ W/K}$$

Totaal voor deze buitenwand $HT,ie = 132,63 \text{ W/K}$

Binnenwand grenzend aan verwarmde ruimte met temperatuur 15 °C (75 m lang)

Betonsteen 10 cm

$$U = 3,29 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$$

$$fk = 16 + 0,5 (4,5 - 1) - 15 / (16 - (-10)) = 0,106$$

$$Ak = 75 \times 7 = 525 \text{ m}^2$$

$$HT,ia = 525 \times 3,29 \times 0,106 = 183,09 \text{ W/K}$$

Achtervlak (18,5 m tegen andere hal): noordwand

16,5 m aan buitenlucht grenzend

1) *Stenen wand (excl. deur)*

$$HT,ie = 32,55 \times (0,216 + 0,1) \times 1,005 = 10,34 \text{ W/K}$$

$$\text{Deur: } HT,ie = 12 \times (2,0 + 0,1) \times 1,010 = 25,45 \text{ W/K}$$

2) *Glas in stenen wand*

$$HT,ie = 4,95 \times (1,6 + 0,1) \times 1,053 = 8,86 \text{ W/K}$$

3) *Horizontale overstek*

$$HT,ie = 16,5 \times (0,216 + 0,1) \times 1,058 = 5,52 \text{ W/K}$$

4) *Schuin vlak*

$$HT,ie = 67,98 \times (0,214 + 0,1) \times 1,115 = 23,80 \text{ W/K}$$

Grenzend aan vorstvrije hal

2 °C binnentemperatuur

Betonsteen 10 cm: $U = 3,29 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$

$$f_k = (16 + 0,5 \times (4,5 - 1) - (2)) / (16 - (-10)) = 0,596$$

$$A_k = 18,5 \times 7 = 129,5 \text{ m}^2$$

$$HT_{i,ae} = 129,5 \times 3,29 \times 0,596 = 253,93 \text{ W/K}$$

Totaal voor deze wand: $HT_{i,e} = 73,79 \text{ W/K}$ en $HT_{i,ae} = 253,93 \text{ W/K}$

Dakvlak

9 Lichtkoepels met oppervlakte 331 m²:

$$U = 1,7 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$$

$$\Delta\theta_1 = 0,75 \times (7 - 1) = 4,5 \text{ K}$$

$$f_k = \frac{(\theta_i + \Delta\theta_1) - \theta_e}{\theta_i - \theta_e} = 1,173$$

$$HT_{i,e} = 331 \times (1,7 + 0,1) \times 1,173 = 698,87 \text{ W/K}$$

Staalplaat + 20 cm isolatie:

$$U = 0,21 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$$

$$A_k = 75 \times 35 - 331 = 2.294 \text{ m}^2$$

$$HT_{i,e} = 2.294 \times (0,21 + 0,1) \times 1,173 = 834,17 \text{ W/K}$$

Totaal voor het dakvlak: $HT_{i,e} = 1.533,04 \text{ W/K}$

Vloer

Ongeïsoleerd van verdicht gewapend grindbeton met 20 cm dikte waarbij het vloerniveau gelijk is aan het maaiveld ($z = 0$). Het grondwater ligt ca 5 meter onder het vloerniveau:

1. Lengte van de vloer 75 m;
2. Breedte van de vloer: 35 m.

$$B' = 2 A_v / 0 = 5.250 / 127,5 = 41,17$$

Uit formule 3.22 volgt:

$$U_{equiv} = 0,15 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$$

Uit formule 3.19 volgt:

$$HT_{i,g} = 1,45 \cdot f_s \cdot \sum_k (A_k \cdot U_{equiv,k} \cdot f_{gw} \cdot f_{i,g,k}) [\text{W/K}]$$

$f_s = 1,0$ voor luchtverwarming

$f_{gw} = 1$ (grondwaterspiegel meer dan 1 m onder vloerniveau)

Uit formule 3.20 volgt:

$$f_{i,g,k} = \frac{(\theta_i + \Delta\theta_2) - \theta_{me}}{\theta_i - \theta_e} = \frac{(16 - 1) - 9}{16 - (-10)} = 0,23$$

$$HT_{i,g} = 1,45 \times 1 \times 75 \times 35 \times 0,15 \times 1 \times 0,23 = 131,32 \text{ W/K}$$

Voor de berekening van de warmteverliezen door transmissie door de uitwendige scheidingsconstructie wordt uitgegaan van de forfaitaire methode.

Warmteverlies t.g.v. transmissie

Uit formule 3.2 volgt:

$$\Phi_{T,i} = (HT_{i,e} + HT_{i,a} + HT_{i,ae} + HT_{i,b} + HT_{i,g}) \cdot (\theta_i - \theta_e)$$

Ingevuld en gesommeerd voor alle vlakken wordt dit:

$$\Phi_{T,i} = (237,84 + 132,63 + 253,93 + 1.533,04 + 73,79 + 183,09 + 131,32) \times (16 - (-10)) = 66.186,64 \text{ W} \approx 66 \text{ kW}$$

Warmteverlies door buitenluchttoetreding

Het warmteverlies door buitenluchttoetreding volgt uit formule 3.24:

$$\Phi_{V,i} = H_i \cdot (\theta_i - \theta_e) [\text{W}]$$

Uit formule 3.33 volgt:

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

Volgens tabel 3.4 geldt voor het infiltratievoud $0,2 + 0,2$ (t.g.v. tegenover elkaar liggende deuren) = 0,4

$$q_i = 0,4 \times 18.628/3.600 = 2,07 \text{ m}^3/\text{s}$$

Controle met Bouwbesluit (zie tabel 3.11).

In de hal werken maximaal 35 personen gelijktijdig; $35 \times 6,5 \text{ dm}^3/\text{s} = 227,5 \text{ dm}^3/\text{s} = 0,23 \text{ m}^3/\text{s}$.

Dit is minder dan de hoeveelheid infiltratie, dus de hoeveelheid luchtverversing voldoet ruim aan de minimale eisen.

Uit formule 3.34 volgt:

$$f_v = \frac{\theta_i + \theta_v + 0,5(\Delta\theta_1 + \Delta\theta_2) - \theta_e}{\theta_i - \theta_e} = \frac{16 + 0 + 0,5 \times 3,5(-10)}{16 - (-10)} = 1,067$$

Ingevuld wordt dit: $\Phi = 2,07 \times 1.200 \times 1,067 \times (16 - (-10)) = 68.911 \text{ Watt} \approx 69 \text{ kW}$

Toeslag voor bedrijfsbeperking

Voor de toeslag voor bedrijfsbeperking geldt volgens formule 3.37:

$$\Phi_{op} = P \cdot (A_{vl} + A_{massa}) [\text{W}]$$

Voor het equivalente vloeroppervlak voor verrekening van de interne massa geldt volgens formule 3.38:

$$A_{massa} = \frac{\sum (m_i \cdot c_i)}{1,2 \cdot 10^5} = \frac{325.000 \times 500}{1,2 \times 10^5} = 1354 \text{ m}^2$$

Bij een opwarmtijd van 6 uur na het weekend of 2 uur de overige doordeweekse dagen volgt uit de toeslag voor bedrijfsbeperking uit bijlage E.

De vloeroppervlakte is $75 \times 35 + 1354 = 3.979 \text{ m}^2$

Uit afbeelding E.2 volgt met $BT = 18 = (6 + 12)$ dat $P_t = 56$

De reductiefactor voor opwarmen tot $PMV = -0,5$ buiten bedrijfstijd en tot $PMV = 0$ binnen bedrijfstijd = 0,08.

Hieruit volgt voor de gecorrigeerde specifieke toeslag voor bedrijfsbeperking $\phi_{hu,i} = 0,08 \times 56 = 4,48 \text{ W/m}^2$

De toeslag voor bedrijfsbeperking: $\Phi_{op} = 4,48 \times (2.625 + 1.354) = 11.821 \text{ Watt}$

Er is geen mechanische ventilatie dus $\Phi_o = \Phi_{op} = 11.821 \text{ Watt} \approx 12 \text{ kW}$

Toeslag voor regelmatige toevoer (koud) materiaal

Uit formule 3.40 volgt:

$$\Phi_{extra} = \frac{m \cdot c \cdot (\theta_i - \theta_m)}{t} [\text{W}]$$

m = 10.000 kg
c = 500 J/(kg·K)
Opwarmen in 6 uur = 21.600 sec

Ingevuld wordt dit:

$$\Phi_{\text{extra}} = \frac{10000 \times 500 \times (16 - (-10))}{21600} = 6019 \text{ W}$$

Bepaling van het benodigde vermogen

Hierbij moet erop gelet worden dat geen vermogens worden gesommeerd die niet gelijktijdig gevraagd worden. In dit geval zijn de toeslag voor bedrijfsonderbreking en de toeslag voor regelmatige toevoer (koud) materiaal niet gelijktijdig nodig. In dit geval moet de grootste van de twee waarden in rekening gebracht worden.

Te leveren verwarmingsvermogen: 66.187 + 68.911 + 11.821 = 146.919 Watt ≈ 147 kW

Bijlage A Bepaling van de ontwerpbinrentemperatuur

A.1 Algemeen

Methode voor het bepalen van de optimale ontwerpbinrentemperatuur.

Stap 1: Bepaal de warmteweerstand clo van de kleding met behulp van:

1. Tabel A.1 voor kledingcombinaties of;
2. Formule A.1 en tabel A.2.

Stap 2: Bepaal het activiteitsniveau (metabolische belasting) van de gemiddelde werkzaamheden met behulp van:

1. Classificatie gegeven in tabel A.3 of;
2. Beroepen gegeven in tabel A.4.

Stap 3: Kies het maximaal toegestane percentage PPD volgens paragraaf A.4.

Stap 4: Bepaald de optimale ontwerpbinrentemperatuur en de spreidingstemperatuur uit afbeelding A.1 voor PPD < 10% of afbeelding A.2 voor PPD < 15%.

A.2 Bepalen van de kledingweerstand

De totale warmteweerstand uitgedrukt in clo volgt uit het totale kledingpakket. De isolatiewaarden van een aantal standaardpakketten is gegeven in tabel A.1.

De warmteweerstand van afzonderlijke kledingstukken is gegeven in tabel A.2.

Met behulp van formule A.1 kan de totale warmteweerstand bepaald worden van een kledingpakket:

$$\text{Clo} = 0,08 + 0,74 \cdot \Sigma I_s \quad [\text{clo}] \quad (\text{A.1})$$

Waarin:

Clo = isolatiewaarde van kledingpakket [clo]

Is = thermische isolatie van afzonderlijke kledingstuk [clo]

Tabel A.1 Isolatiewaarden clo van geselecteerde combinaties van kledingstukken

Kledingcombinatie		Clo [clo]
1	Slip, hemd met korte mouwen, broek, hoge sokken (kuitlengte), schoenen	0,5
2	Onderbroek, overhemd, strakke broek, sokken, schoenen	0,6
3	Onderbroek, jas, sokken, schoenen	0,7
4	Onderbroek, overhemd, overall, sokken, schoenen	0,8
5	Onderbroek, overhemd, broek, kiel, sokken, schoenen	0,9
6	Slip, warm hemd en onderbroek, overhemd, overall, hoge sokken, schoenen	1,0

Tabel A.2 Thermische isolatie van afzonderlijke kledingstukken

Omschrijving kledingstuk		Thermische isolatie Is [clo]
Ondergoed	Onderbroek	0,03
	Onderbroek met lange pijpen	0,10
	Onderhemd	0,04
	T-shirt	0,09
	Hemd met lange mouwen	0,12
	Slip en bh	0,03
Hemden-blouses	Met korte mouwen	0,15
	Dun, met lange mouwen	0,20
	Normaal, met lange mouwen	0,25
	Flanellen hemd, met lange mouwen	0,30
	Dunne bloes, met lange mouwen	0,15
Broeken	Korte broek	0,06
	Lichte broek	0,20
	Normale broek	0,25
	Flanellen broek	0,28
Jurken-rokken	Lichte rok (zomer)	0,15
	Zware rok (winter)	0,25
	Lichte jurk, korte mouwen	0,20
	Winterjurk, lange mouwen	0,40
Truien	Vest zonder mouwen	0,12
	Dunne trui	0,20
	Trui	0,28
	Dikke trui	0,35
Jasjes	Licht zomerjasje	0,25
	Jasje	0,35
	Kiel, stofjas, laboratoriumjas	0,30
Sterk-isolerend, gevoerd	Overall	0,90
	Broek	0,35
	Jasje	0,40
	Vest	0,20
Buitenkleding	Jas	0,60
	Overjack	0,55
	Overjas	0,70
	Overall	0,55
Diversen	Sokken	0,02
	Dikke, enkelsokken	0,05
	Dikke, lange sokken	0,10
	Panties	0,03
	Schoenen (dunne zool)	0,02
	Schoenen (dikke zool)	0,04
	Laarzen	0,10
	Handschoenen	0,05

A.3 Gemiddeld activiteitsniveau

Het gemiddelde activiteitsniveau wordt ook metabolische belasting genoemd. Tabel A.3 bevat een classificatie van metabolische belastingen.

In tabel A.4 wordt voor een aantal beroepen de boven en ondergrens van de metabolische belasting gegeven. Indien niet bekend is of de activiteiten bij de boven- of ondergrens van tabel A.4 genomen moeten worden, moet worden uitgegaan van de gemiddelde waarde voor het beroep.

Tabel A.3 Classificatie van de metabolische belasting

Klasse	Te gebruiken waarde voor de berekening van de gemiddelde metabolische belasting [met]	Voorbeelden
0 Rusten	1,1	Rusten
1 Lage metabolische belasting	1,7	Gemakkelijk zittend: lichte handarbeid (schrijven, typen, tekenen, naaien, boekhouden); werk met hand en arm (kleine gereedschappen, keuring, monteren of sorteren van lichte materialen); werk met arm en been (een voertuig onder normale omstandigheden besturen, een voetschakelaar of pedaal bedienen). Staand: boren (kleine onderdelen); frezen (kleine onderdelen); wikkelen van spoelen; wikkelen van ankers; machinaal bewerken met gereedschap van laag vermogen; slenteren (snelheid tot 3,5 km/h).
2 Middelmattige metabolische belasting	2,8	Aanhoudend werk met hand en arm (inslaan van spijkers, dichtgooien met aarde); werk met arm en been (berijden van ongeplaveid terrein met vrachtauto's, trekkers of bouwmaschinen); werk met arm en romp (werken met een pneumatische hamer, aanhaken van trekkers, pleisterwerk, onderbroken werken met middelzwaar materiaal, onkruid verwijderen, schoffelen, fruit of groenten plukken); lichte karretjes of kruiwagens trekken of duwen; wandelen met een snelheid van 3,5 km/h tot 5,5 km/h, smeden.
3 Hoge metabolische belasting	3,9	Intensief werk met arm en romp; zware materialen dragen; scheppen; slaan met voorhamer; zagen; hardhout schaven of beitelen; met de hand maaien; graven; lopen met een snelheid van 5,5 km/h tot 7 km/h. Zwaarbeladen handkarren of kruiwagens trekken of duwen; gietstukken uithakken; betonblokken plaatsen.
4 Zeer hoge metabolische belasting	5	Zeer intensieve activiteit met hoog maximaal tempo; werken met een bijl; krachtig scheppen of graven; traplopen of een helling of ladder opklimmen; snel met kleine passen lopen; hardlopen; lopen met een snelheid van meer dan 7 km/h.

Tabel A.4 Metabolische belasting voor verschillende beroepen

Beroep		Metabolische belasting [met]
Handwerkslieden	Metselaar	1,9 tot 2,7
	Timmerman	1,9 tot 3
	Glazenmaker	1,5 tot 2,1
	Schilder	1,7 tot 2,2
	Bakker	1,9 tot 2,4
	Slager	1,8 tot 2,4
	Klokken- en horlogemaker	0,9 tot 1,2
IJzer- en staalindustrie	Bedieningsman hoogovens	2,9 tot 3,8
	Bedieningsman elektro-oven	2,1 tot 2,5
	Gietvormen maken (met de hand)	2,4 tot 4,1
	Machinaal maken van gietvormen	1,8 tot 2,8
	Metaalgieter	2,4 tot 4,1
IJzer- en staalverwerkende industrie	Smid	1,5 tot 3,4
	Lasser	1,3 tot 2,1
	Draaier	1,3 tot 2,1
	Bedienen boormachine	1,4 tot 2,4
	Fijnmechanische monteur	1,2 tot 1,9
Grafische industrie	Zetter	1,2 tot 1,6
	Boekbinder	1,3 tot 1,7
Verkeer	Kraandrijver	1,1 tot 2,5
Verschillende beroepen	Laboratoriumassistent	1,5 tot 1,7
	Onderwijzer	1,5 tot 1,7
	Winkelmeisje	1,7 tot 2,1
	Secretaresse	1,2 tot 1,5

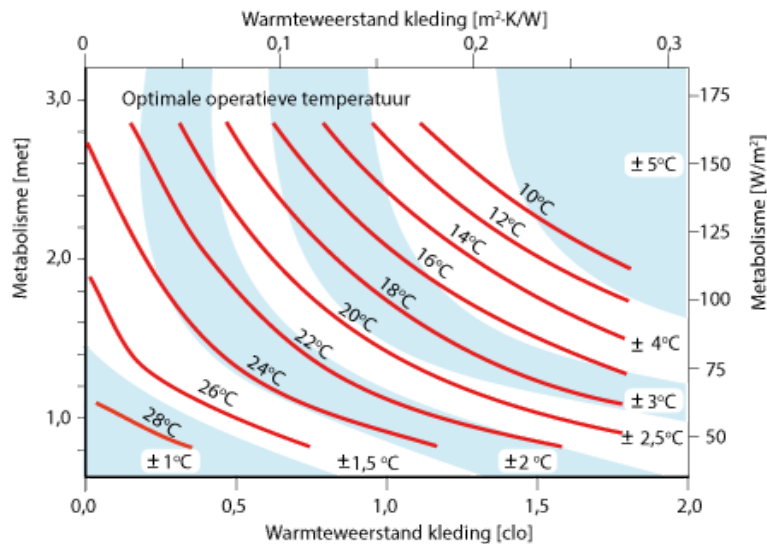
A.4 Bepaling van toegestane percentage PPD

Voor metabolische belastingen van de klassen 0, 1 of 2 (zie tabel A.3) moet worden uitgegaan van een maximaal toegestane PPD (Predicted Percentage Dissatisfied = percentage ontevreden) van 10%. Dit komt overeen met een PMV waarvoor geldt: $-0,5 < PMV < +0,5$ [7].

Voor metabolische belastingen van de klassen 3 of 4 (zie tabel A.3) mag worden uitgegaan van een maximaal toegestane PPD (Predicted Percentage Dissatisfied = percentage ontevreden) van 15%. Dit komt overeen met een PMV waarvoor geldt: $-0,7 < PMV < +0,7$ [7].

A.5 Bepaling van de optimale operationele temperatuur

Voor een PPD van maximaal 10% volgt de optimale temperatuur uit afbeelding A.1.



Afb. A.1 Bepaling van de optimale operationele temperatuur voor PPD < 10%

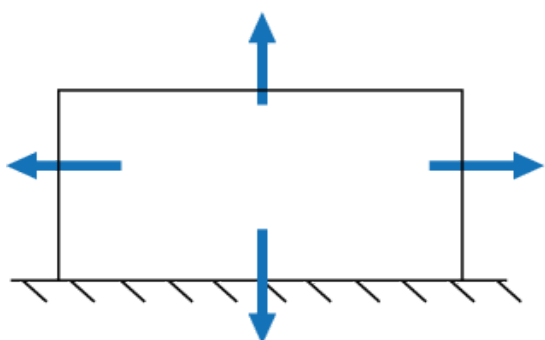
Toelichting: De getrokken lijnen in afbeelding A.1 geven de optimale operationele temperatuur voor de kledingweerstand en de gemiddelde activiteit. De spreidingstemperatuur in de witte of gerasterde banden geeft aan welke temperatuur van de optimale temperatuur mag worden afgetrokken om tot de minimale operationele temperatuur overeenkomend met $PMV = -0,5$. Deze waarde is mede van belang voor het bepalen van temperatuurniveau tot waar opgewarmd moet worden buiten de bedrijfstijd.

Bijlage B Principes van warmteoverdracht bij verschillende systemen

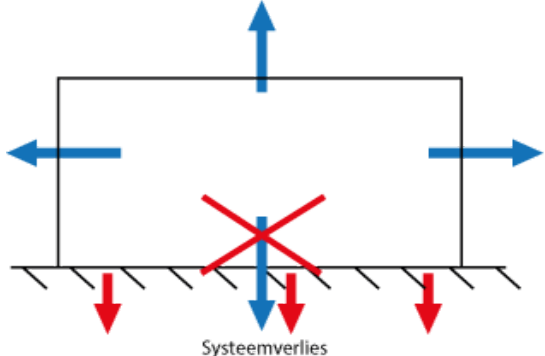
B.1 Wat is het doel van een warmteverliesberekening?

Het doel van een warmteverliesberekening is het bepalen van het vermogen dat onder ontwerpcondities door het verwarmingssysteem aan een ruimte moet worden toegevoerd om deze ruimte op temperatuur te houden en na een eventuele bedrijfsbeperking weer op temperatuur te brengen.

Het betreft dus de warmte die aan een ruimte moet worden toegevoerd om deze op temperatuur te houden (dus vanuit het vertrek gezien kijken waar verliezen optreden). Afbeelding B.1 geeft voor respectievelijk stralingsverwarming en luchtverwarming d.m.v. de pijlen weer door welke vlakken transmissieverliezen optreden (vanuit het vertrek gezien) en afbeelding B.2 geeft de situatie weer voor vloerverwarming.



Afb. B.1 Transmissiewarmteverlies bij stralingsverwarming en luchtverwarming



Afb. B.2 Transmissiewarmteverlies bij vloerverwarming







In deze bijlage worden de systemen voor industriële ruimten onderverdeeld in drie hoofdsystemen:

1. Vloerverwarming;
2. Stralingsverwarming;
3. Luchtverwarming.

Voor ieder hoofdsysteem wordt uitgegaan van de principes van warmteoverdracht en de invloeden van aanstraling/aanblazen die in de warmteverliesberekening verrekend moeten worden. Hierbij wordt aangegeven waar en hoe één en ander in rekening gebracht wordt in de in deze ISSO-publicatie beschreven warmteverliesberekening.

De in de afbeeldingen gebruikte symbolen zijn gegeven in tabel B.1.

Tabel B.1 Gebruikte symbolen in de warmteoverdrachtsprincipes

Symbol	Beschrijving
	Straling afgegeven door een warm onderdeel van een verwarmingssysteem
	Straling afgegeven door een vlak of deel van een vlak dat door een verwarmingslichaam opgewarmd is (aanstralen of aanblazen)
	Convectieve stroming bij/langs verwarmde delen/vlakken
	Extra warmteafgifte door geleiding naar de grond door verwarmde vlakken
	Warmteafgifte door geleiding in vlakken grenzend aan verwarmde vlakken waardoor deze vlakken voor de deel iets warmer zijn
	Transmissiewarmteverlies door een vlak (gezien vanuit het vertrek)
	Ventilatiewarmteverlies
	Infiltratiewarmteverlies

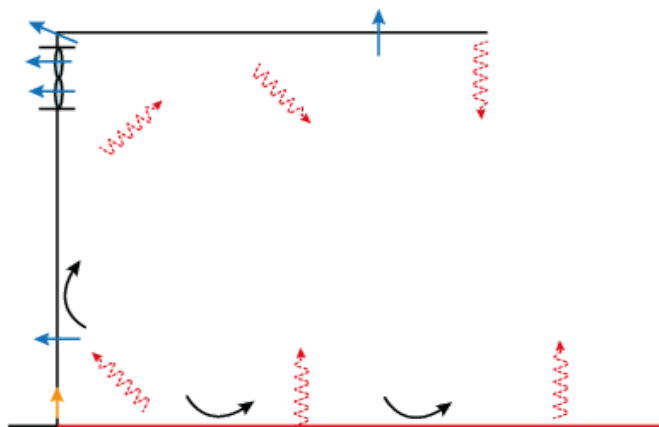
De in deze bijlage gegeven cijfers gelden onder ontwerpcondities. Bij deellast zijn de verticale temperatuurgradiënten kleiner en zijn de verschillen tussen de lucht- en comforttemperatuur ook kleiner.

B.2 Vloerverwarming

Bij dit verwarmingssysteem wordt de vloer verwarmd. Als aangegeven in afbeelding B.3 wordt, vanuit het vertrek gezien, geen warmteverlies door de vloer in rekening gebracht. De warmteverliesberekening bepaalt dus de hoeveelheid warmte die door de vloerverwarming aan de bovenzijde moet worden afgegeven.

De warmteafgifte naar beneden wordt in rekening gebracht bij het bepalen van de bron (systeemverliezen). Volgens NEN-EN 1264 [15] is dit 10% van het naar boven afgegeven vermogen. Indien men dit warmteverlies nauwkeuriger wil berekenen wordt verwezen naar ISSO-publicatie 49 [18].

De principes van warmteoverdracht bij vloerverwarming zijn gegeven in afbeelding B.3.



Afb. B.3 Principes van warmteoverdracht bij vloerverwarming

Afb. B.4 Verticale temperatuurgradiënt

De verwarmde vloer (temperatuur 18 - 25 °C) geeft z'n warmte aan de ruimte deels af door straling en deels door convectie. Door aanstraling worden de wanden iets opgewarmd en geven de opgenomen warmte weer af door straling en convectie. Het dakvlak wordt in geringe mate opgewarmd door aanstraling. Door de buitenwanden treedt een extra warmteverlies op door aanstraling en convectie. Het extra warmteverlies door de wanden en het dak wordt in rekening gebracht door een geringe temperatuurgradiënt ($\delta\theta_1 = 0,25$

K/m). In afbeelding B.3 is de gradiënt weergegeven. Doordat een deel van de warmte door straling wordt overgebracht en de verticale temperatuurgradiënt gering is, is er geen correctie nodig voor een lagere temperatuur vlak boven de vloer ($\Delta\theta_2 = 0$ K).

Doordat de warmte voor het grootste deel door straling wordt overgedragen is de luchttemperatuur lager dan de comforttemperatuur. Hierdoor is het warmteverlies door buitenluchttoetreding geringer dan op basis van de comforttemperatuur bepaald zou worden. Door de geringe stralingsintensiteit is het verschil tussen de lucht- en de ontwerpbinnentemperatuur ca. 1,5 K. Dit wordt in rekening gebracht met $\Delta\theta_v = 1,5$ K. (zie ook bijlage J) bij zowel de berekening van het infiltratiewarmteverlies als het ventilatiewarmteverlies.

B.3 Stralingsverwarming

De principes van warmteoverdracht bij stralingsverwarming zijn gegeven in afbeelding B.5. Bij stralingsverwarming wordt de warmte voor een belangrijk deel door straling (naar beneden) afgegeven. Hierdoor worden een deel van de vloer en een deel van de wand opgewarmd, hetgeen enerzijds tot extra verliezen door de vloer leidt en anderzijds de stralingsbijdrage ondersteunt.

In het algemeen is een behoorlijk percentage van de vloer extra opgewarmd. Hierdoor mogen de extra verliezen door de vloer niet verwaarloosd worden. De extra warmteverliezen door de beganegrondvloer zijn in paragraaf 3.7 verrekend in de factor f_s . Hierbij wordt onderscheid gemaakt in hogetemperatuurstralers en lagetemperatuurstralers.

Hierbij geldt:

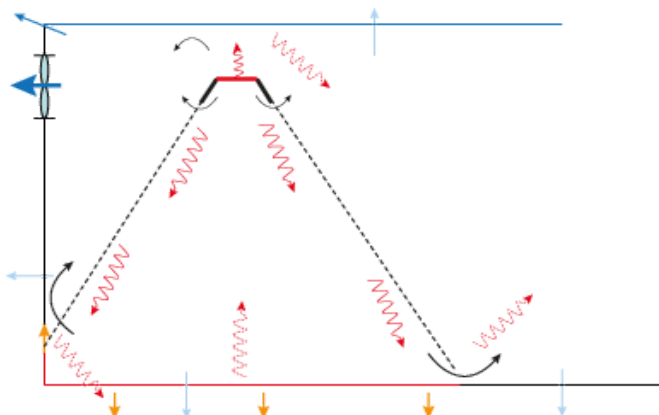
$f_s = 1,30$ voor IR open stralers, en zwartebuisstralers

$f_s = 1,15$ voor indirect gestookte stralingspanelen

$f_s = 1$ voor de overige verwarmingssystemen

De straler heeft in het algemeen een temperatuur die duidelijk hoger is dan z'n omgeving. Hierdoor ontstaat een convectieve warmteafgifte die boven de straler een duidelijk hogere temperatuur veroorzaakt. Dit wordt verrekend met een verticale temperatuurgradiënt:

1. Voor zwartebuisstralers en indirect gestookte stralingspanelen: $\delta\theta_1 = 0,5$ K/m;
2. IR open stralers: $\delta\theta_1 = 0,9$ K/m.



Afb. B.5 Principes van warmteoverdracht bij stralingsverwarming

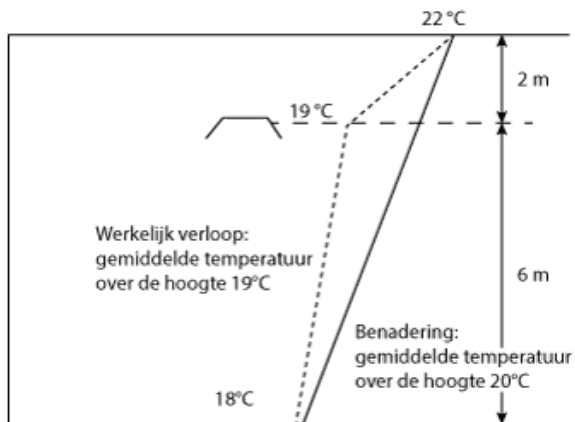
De waarde van verticale temperatuurgradiënt voor de IR open stralers is duidelijk hoger dan die van de andere stralers doordat de hete verbrandingsgassen uit de straler zich boven in de ruimte ophopen.

Doordat het grootste deel van de warmte door straling wordt overgebracht en de verticale temperatuur gering is, is er geen correctie nodig voor een lagere temperatuur vlak boven de vloer ($\Delta\theta_2 = 0$ K).

De stralers hebben aan de bovenzijde een hogere temperatuur waardoor een gedeelte van het plafond wordt aangestraald en daardoor een iets hogere temperatuur krijgt (en lokaal dus ook een hoger warmteverlies). Door de stralers aan de bovenzijde te isoleren wordt dit extra verlies beperkt. In het algemeen is het oppervlak van het aangestraalde deel van het dak 5% of minder en is al gerekend met een hogere temperatuur onder het dak (door de verticale temperatuurgradiënt) zodat het extra verlies door aanstraling van het dak niet in rekening gebracht hoeft te worden.

Voor de eenvoud wordt gerekend met één verticale temperatuurgradiënt. In feite is het zo dat met twee verschillende verticale temperatuurgradiënten gerekend zou moeten worden: een geringe verticale

temperatuurgradiënt onder de stralers en een duidelijk grotere verticale temperatuurgradiënt boven de stralers (zie afbeelding B.6).



Afb. B.6 Temperatuurverloop over de hoogte bij stralingsverwarming

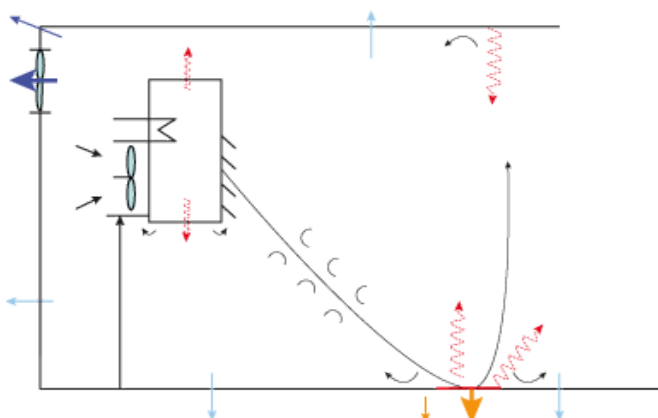
In feite wordt door de benadering met één verticale temperatuurgradiënt een 3% te hoog transmissiewarmteverlies door de wanden in rekening gebracht. Echter door aanstraling van een (meestal) aanzienlijk deel van de wanden zou een correctiefactor in rekening gebracht moeten worden om extra verliezen door aanstraling van de wanden te verrekenen. Uitgaande van een temperatuurverhoging van de aangestraalde strook van twee graden en een aanstraling over de halve hoogte van de wanden is een correctie van ca. 3% noodzakelijk.

Hieruit volgt dat de benadering van de twee verticale temperatuurgradiënten door één verticale temperatuurgradiënt toelaatbaar is.

Doordat de warmte voor het grootste deel door straling wordt overgedragen is de luchttemperatuur lager dan de comforttemperatuur. Hierdoor zijn de ventilatieverliezen geringer dan op basis van de comforttemperatuur bepaald zou worden. Uit bijlage J blijkt dat de reductie van de luchttemperatuur afhankelijk is van de stralingsintensiteit. Voor zowel de direct gestookte (hogetemperatuurstralers) als de zwartebuisstralers en de openstralers is het verschil tussen de lucht- en de ontwerpinnentemperatuur ca. 2 K. Dit wordt in rekening gebracht met $\Delta\theta_v = 2\text{ K}$ bij zowel de berekening van het infiltratiewarmteverlies als het ventilatiewarmteverlies. Door de geringere stralingsintensiteit bij indirect gestookte stralingspanelen is hier het verschil tussen de lucht- en de ontwerpinnentemperatuur ca. 1,5 K. Dit wordt in rekening gebracht met $\Delta\theta_v = 1,5\text{ K}$ bij zowel de berekening van het infiltratiewarmteverlies als het ventilatiewarmteverlies.

B.4 Luchtverwarming

De principes van warmteoverdracht bij luchtverwarming zijn gegeven in afbeelding B.7.



Afb. B.7 Principes van warmteoverdracht bij luchtverwarming

Bij luchtverwarming wordt het grootste deel van de warmte convectief aan de lucht afgegeven. De verwarmde lucht wordt door de ventilator en de leidschoepen van de luchtverwarmer naar beneden gestuwt. Deze warme luchtstrahl induceert lucht in z'n omgeving und verliert hierdurch snelheid und steigt op een gegeben moment op omdat warme 'lichter' is dan de minder warme omgeving (al dan niet nadat de vloer erwärmt ist).

geraakt is). Hierdoor ontstaat een vrij grote verticale temperatuurgradiënt. Deze verticale temperatuurgradiënt wordt groter naarmate de uitblaastemperatuur hoger is.

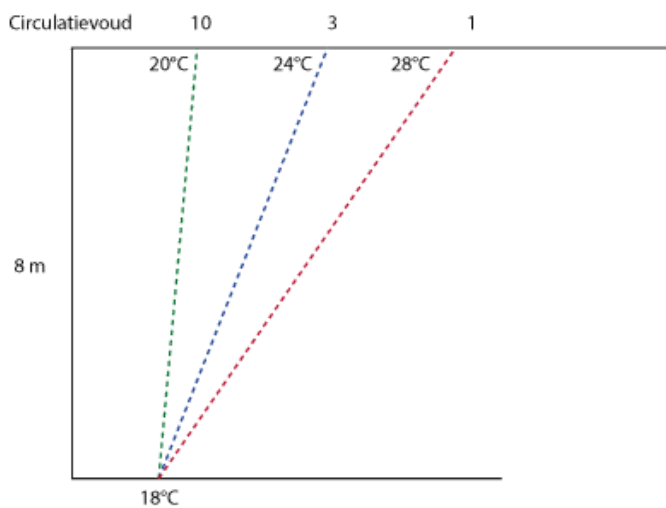
In de berekening wordt dit in rekening gebracht met de volgende verticale temperatuurgradiënten (bij een circulatievoud van 3):

1. Luchtverwarming HT ($\theta_{\text{inblaas}} - \theta_i \geq 30 \text{ K}$): $\delta\theta_1 = 0,75 \text{ K/m}$;
2. Luchtverwarming LT ($\theta_{\text{inblaas}} - \theta_i < 30 \text{ K}$): $\delta\theta_1 = 0,65 \text{ K/m}$.

Doordat het grootste deel van de warmteconvectie wordt overgebracht en de verticale temperatuurgradiënt vrij groot is, is er een correctie nodig voor een lagere temperatuur vlak boven de vloer ($\Delta\theta_2 = -1 \text{ K}$). Hierdoor treedt een geringer verlies op door de vloer. Bij het berekenen van het warmteverlies door de vloer wordt dit in rekening gebracht.

Bij een minder intensieve menging (kleiner circulatievoud) is de verticale temperatuurgradiënt groter. Dit kan oplopen tot $1,3 \text{ K/m}$ bij systemen met een hoge inblaastemperatuur.

Door een intensievere menging (door bijvoorbeeld meer ondersteuningsventilatoren toe te passen) treedt een geringere verticale temperatuurgradiënt op. Dit wordt verrekend in formule 2.5 en tabel 2.4. In afbeelding B.8 is een aantal gradiënten weergegeven.



Afb. B.8 Verticaal temperatuurverloop voor een aantal circulatievouden

Op de plaats waar de warme luchtstroom de grond raakt, is het warmteverlies door de vloer naar beneden groter. Het gaat hierbij echter om een beperkt aantal kleine oppervlakken zodat deze extra verliezen in de warmteverliesberekening verwaarloosd kunnen worden.

Op de plaatsen waar de warme luchtstroom het dak bereikt treedt ook een extra warmteverlies op. Hiervoor geldt, net als bij de vloer, dat het hierbij echter om een beperkt aantal kleine oppervlakken gaat zodat deze extra verliezen in de warmteverliesberekening verwaarloosd kunnen worden. Bovendien geldt dat bij een goede plaatsing van ondersteuningsventilatoren deze extra warme plekken aan het dak vrijwel niet optreden. Nog een reden dus om deze extra verliezen door het dak in de warmteverliesberekening te verwaarlozen.

De straling van de (iets) verwarmde behuizing van de luchtverwarmer is zo gering dat deze verwaarloosbaar is. Bij een goed ontwerp treedt geen aanblazen van (delen van) wanden op, zodat dit in de warmteverliesberekening niet meegenomen wordt.

Doordat het grootste deel van de warmteoverdracht convectief is, is er sprake van een iets hogere luchttemperatuur dan de comforttemperatuur. Daar de luchttemperatuur slechts weinig hoger is dan de comforttemperatuur wordt in de berekeningen gewerkt met $\Delta\theta_v = 0 \text{ K}$.

Bijlage C Bepaling luchtvolumestromen infiltratie

C.1 Globale methode

De hier gegeven bepalingmethode voor de ventilatie is zeer globaal en heeft slechts een beperkte nauwkeurigheid. Voor het bepalen van het ventilatiewarmteverlies van industriële ruimten lijkt deze methode het meest geschikt omdat andere methoden te gecompliceerd zijn. Er bestaan wel simulatiemodellen voor het voorspellen van de ventilatie van gebouwen in de ontwerpfase. Deze simulatiemodellen hebben een grotere nauwkeurigheid en toepassingsgebied. Zij vereisen echter zeer gedetailleerde invoergegevens die in de ontwerpfase niet altijd voorhanden zijn. Het experimenteel vaststellen van de ventilatie van grote ruimten, bijvoorbeeld via tracergasmetingen, is praktisch niet of slechts ten koste van grote inspanningen realiseerbaar. Men moet er hierbij aan denken dat aan het meten van een ventilatievoud onder een bepaalde weerconditie een zeer beperkte waarde moet worden toegekend. De schatting van de ventilatie- of infiltratievolumestroom gaat uit van een geschatte oppervlakte aan openingen in de wanden en een gemiddelde snelheid door deze openingen [8]. De geschatte oppervlakte van onbedoelde openingen in de wanden varieert afhankelijk van de bouwkundige uitvoering van 0,5 tot 4 cm² per m² buitenwand.

Bij staalconstructies met uitsluitend geprofileerde plaat als buitenomwanding kan dit een veelvoud van genoemde waarde bedragen.

Enige voorbeelden:

Steenachtig gebouw met kwalitatief hoogwaardige gevelvulling: 0,5 cm²/m².

Goed uitgevoerde staalconstructie met ingevuld goed aansluitend metselwerk: 4,0 cm²/m².

Beplating op een staalconstructie: tot 20 cm²/m².

Daarnaast moet rekening worden gehouden met de extra openingen die bij leidingdoorvoeren aanwezig kunnen zijn. Uiteraard zijn ook afwerking en onderhoud van het gebouw van belang.

Indien informatie over de luchtdoorlatendheid van de gebouwconstructie ontbreekt lijkt 2 cm²/m² een redelijk uitgangspunt.

Met behulp van de bovenstaande uitgangspunten kan men de totale oppervlakte aan onbedoelde openingen A_{inf} bepalen. Voor de bewust aangebrachte en zichtbare ventilatieopeningen gaat men als volgt te werk.

Bepaal de oppervlakte van alle openingen in de gebouwconstructie.

Splits deze op in gevelopeningen en dakopeningen. De totale oppervlakte aan de gevelopeningen wordt A_{vent} genoemd.

Tel de oppervlakken A_{inf} en A_{vent} op:

A_{tot} = A_{inf} + A_{vent}

Door deze openingen komt lucht binnen onder invloed van windaanval en thermische trek.

De ventilatie van het gebouw of de ruimte als gevolg van wind kan worden bepaald met behulp van de volgende formule:

$$Q_v = \frac{A_{\text{tot}} \cdot v}{Y} \quad [\text{m}^3/\text{s}] \quad (\text{C.1})$$

Waarin:

q_v	= volumestroom ten gevolge van de wind	$[m^3/s]$
A_{tot}	= totale oppervlakte van openingen in de gevels	$[m^2]$
v	= windsnelheid, de ontwerp windsnelheid 7 m/s voor de oriëntaties oost en noord-oost en 5 m/s voor de overige oriëntaties geschatte snelheid bij gebouwhoogte	$[m/s]$
Y	= dimensieloze constante afhankelijk van de windbeschutting en de verdeling van de ventilatieopeningen (zie tabel C.1)	$[-]$

Tabel C.1 Waarden voor Y

Omstandigheden	Y [-]
Open ligging, tenminste evenveel openingen in het dak als in de gevels	2
Als 2, maar openingen in gevels niet goed verdeeld	3
Normale ligging, tenminste evenveel openingen in het dak als in de gevels	4
Als 4, maar openingen in gevels niet goed verdeeld	6
Alle overige gevallen, dus beschutte ligging en slechte verdelingen	8

Ventilatie ten gevolge van thermische trek:

$$q_{v,t} = \frac{A_{tot} \cdot \sqrt{\delta T} \cdot H}{Y_t} \quad [m^3/s] \quad (C.2)$$

Waarin:

$q_{v,t}$	= de volumestroom ten gevolge van thermische trek	$[m^3/s]$
A_{tot}	= de totale oppervlakte van openingen in de gevels	$[m^2]$
H	= het gemiddelde hoogteverschil tussen de laag gelegen toevoeropeningen en de hoog gelegen afvoeropeningen	$[m]$
δT	= het gemiddelde temperatuurverschil tussen binnen- en buitenlucht	$[K]$
Y_t	= constante voor de thermische trek afhankelijk van de soortelijke massa van lucht en de verdeling van de ventilatieopeningen (zie tabel C.2)	$[s \cdot K / m^{0,5}]$

Tabel C.2 Waarden voor Y_t

Omstandigheden	Y_t [-]
Evenveel laaggelegen toevoeropeningen als hooggelegen afvoeropeningen	6
Slechte verdeling van de openingen, zoals weinig laaggelegen openingen en veel hooggelegen openingen of andersom	9
Alle overige gevallen, dus slechte verdeling, ongunstige temperatuurgradiënt een grote opening, enz.	12

$$q_{v,tot} = \sqrt{q_v^2 + q_{v,t}^2} \quad [m^3/s] \quad (C.3)$$

Waarin:

q_v	= volumestroom ten gevolge van de wind	$[m^3/s]$
$q_{v,t}$	= volumestroom ten gevolge van thermische trek	$[m^3/s]$

Het ventilatievoud n volgt uit:

$$n = q_{v,tot} / (3.600 \cdot \text{gebouwinhoud}) \quad [h^{-1}] \quad (C.4)$$

C.2 Luchtstroom door grote openingen

C.2.1 Opening(en) in één gevel

De totale luchtstroom bestaan uit twee bijdragen:

1. Thermischgedreven bijdrage;
2. Winddrukgedreven bijdrage.

De thermischgedreven bijdrage volgt uit:

$$Q_{v,open,fac1,th,i} = 0,203 \cdot A_{open,fac,th,i} \cdot \sqrt{\frac{g \cdot h_{1,i} \cdot \Delta\theta_{i-e}}{T_e}} \cdot 3600 \quad [\text{m}^3/\text{h}] \quad (\text{C.5})$$

Waarin:

$A_{open,fac,th,i}$	= effectief oppervlak van grote openingen volgens vergelijking C.6 en C.7	$[\text{m}^2]$
$h_{1,i}$	= gemiddeld hoogteverschil tussen het centrum van de ruimte en de openingen in de gevel	$[\text{m}]$
$\Delta\theta_{i-e}$	= verschil tussen de ontwerptemperatuur buiten en de ontwerpinnentemperatuur	$[\text{K}]$
T_e	= ontwerp buitentemperatuur (= $\theta_e + 273$)	$[\text{K}]$

De gevels van het gebouw worden voorzien van indices a t/m d. Dit gebeurt rondgaand (met de klok mee of tegen de klok in).

Indien geldt:

$$A_{a,i} < (A_{b,i} + A_{c,i} + A_{d,i}) \text{ dan } A_{open,fac1,i} = A_{a,i} + \text{minimum}(A_{b,i}; A_{d,i}) \quad [\text{m}^2] \quad (\text{C.6})$$

Indien geldt:

$$A_{a,i} \geq (A_{b,i} + A_{c,i} + A_{d,i}) \text{ dan } A_{open,fac1,i} = A_{a,i} \quad [\text{m}^2] \quad (\text{C.7})$$

$$A_{open,2,i} = A_{a,i} + A_{b,i} + A_{c,i} + A_{d,i} - A_{open,1,i} \quad [\text{m}^2] \quad (\text{C.8})$$

Waarin:

$A_{a,i} \dots A_{d,i}$	= oppervlakte van de openingen in de gevels a, b, c en d	$[\text{m}^2]$
-------------------------	--	----------------

De winddrukgedreven bijdrage volgt uit:

$$Q_{v,open,fac,w,i} = 0,05 \cdot A_{open,fac1,i} \cdot v_{fac} \cdot 3600 \quad [\text{m}^3/\text{h}] \quad (\text{C.9})$$

Waarin:

$A_{open,fac1,i}$	= effectief oppervlak van grote openingen volgens vergelijking C.6 en C.7	$[\text{m}^2]$
v_{fac}	= gemiddelde lokale windsnelheid op de gevel	$[\text{m}/\text{s}]$

Onder ontwerpcondities geldt in Nederland voor v_{fac} :

$$v_{fac} = 1,36 \cdot v_{wind} \cdot \frac{\ln\left(\frac{H_{g,z}}{z_0}\right)}{\ln\left(\frac{80}{z_0}\right)} = 6,8 \cdot \frac{\ln\left(\frac{H_{g,z}}{z_0}\right)}{\ln\left(\frac{80}{z_0}\right)} \quad [\text{m}/\text{s}] \quad (\text{C.10})$$

Waarin:

vwind	= windsnelheid (volgens meteo gegevens) onder ontwerpcondities (=5 m/s)	[m/s]
Hg,z	= gemiddelde hoogte van de ventilatieopeningen boven de grond	[m]
z0	= ruwheid van de omgeving volgens tabel C.3	[m]

Tabel C.3 Ruwheid z0

Hg,z	Beschutting	z0
≤ 80 m	Geen	0,03
	Gemiddeld	0,25
	Sterk	0,50
> 80 m	-	0,03

C.2.2 Openingen in twee of meer gevels

Door thermische invloeden wordt de luchtstroom van de ene opening naar de andere van een gebouw gegeven door:

$$Q_{v,open,fac1-2th,i} = 0,61 \cdot A_{eff,i} \cdot \sqrt{\frac{2 \cdot 9,81 \cdot h_{1-2,i} \cdot \Delta\theta_{i-e}}{T_e}} \cdot 3600 \quad [m^3/h] \quad (C.11)$$

Waarin:

Aeff,i	= effectieve oppervlakte van de grote openingen voor ventilatie bepaald met vergelijking C.5)	[m ²]
h1-2,i	= gemiddeld hoogteverschil tussen het centrum van de ruimte en de openingen in de gevel	[h]
Δθi-e	= verschil tussen de ontwerptemperatuur buiten en de ontwerp binnentemperatuur	[K]
Te	= ontwerpbuitentemperatuur (= θe + 273)	[K]

Bepaling van de effectieve opening Aeff,i:

$$A_{eff,i} = \left(|A_{open,1,i}|^2 + |A_{open,2,i}|^2 \right)^{-0,5} \cdot l \quad [m^2] \quad (C.12)$$

Waarin:

Aopen,1,i	= effectieve oppervlakte van de opening in gevel 1 (zie vergelijking C.6 en C.7)	[m ²]
Aopen,2,i	= effectieve oppervlakte van de opening in gevel 2 (zie vergelijking C.8)	[m ²]
l	= afstand tussen de openingen	[m]

Door windinvloeden wordt de luchtstroom van de ene opening naar de andere van een gebouw gegeven door:

$$Q_{v,open,fac1-2w,i} = 0,61 \cdot A_{eff,i} \cdot \sqrt{\Delta C_p} \cdot v_{fac} \cdot 3600 \quad [m^3/h] \quad (C.13)$$

Waarin:

Aeff,i	= effectieve opening volgens formule C.12	[m ²]
ΔCp	= drukcoëfficiënt volgens tabel C.4	[-]
vfac	= gemiddelde lokale windsnelheid op de gevel volgens formule C.10	[m/s]

Tabel C.4 Benadering van ΔCp

Aantal gevels	ΔC_p
1	0,05
> 1	$f_{\text{beschut}} \cdot f_{\text{hoogte}}$

Tabel C.5 Beschuttingsfactor f_{beschut}

Beschutting	f_{beschut}
Geen	1,5
Gemiddeld	1,0
Sterk	0,5

Tabel C.6 Hoogtefactor f_{hoogte}

Geveldeel	f_{hoogte}
Laag	0,75
Gemiddeld	0,90
Hoog	1,00

Bijlage D Berekening van de opbrengst van warmteterugwinning

De toevoertemperatuur na de warmtewisselaar volgt uit:

$$\theta_t = \eta\theta \cdot (\theta_r - \theta_e) + \theta_e \quad [^{\circ}\text{C}] \quad (\text{D.1})$$

Waarin:

θ_t = toevoertemperatuur ventilatielucht [$^{\circ}\text{C}$]

$\eta\theta$ = temperatuurrendement warmteterugwinapparaat [-]

θ_r = gemiddelde retourtemperatuur; indien deze niet bekend is, is deze gelijk aan de ontwerpbinntemperatuur die voor het overgrote deel van het gebouw van toepassing is [$^{\circ}\text{C}$]

θ_e = ontwerpbutentemperatuur, volgens paragraaf 2.5 [$^{\circ}\text{C}$]

Tabel D.1 bevat de warmtewinst [W] door de warmteterugwinning per m³/h ventilatielucht. Deze warmtewinst is afhankelijk van het temperatuurrendement van de warmteterugwinning en de gemiddelde temperatuur van de afgezogen lucht.

Tabel D.1 Warmtewinst [W] t.g.v. WTW per m³/h voor verschillende WTW-rendementen en verschillende retourtemperaturen

θ_r	$\eta\theta$									
	0,50	0,55	0,60	0,65	0,70	0,75	0,80	0,85	0,90	0,95
17,00	4,50	4,95	5,40	5,85	6,30	6,75	7,20	7,65	8,10	8,55
17,25	4,54	5,00	5,45	5,90	6,36	6,81	7,27	7,72	8,18	8,63
17,50	4,58	5,04	5,50	5,96	6,42	6,88	7,33	7,79	8,25	8,71
17,75	4,63	5,09	5,55	6,01	6,48	6,94	7,40	7,86	8,33	8,79
18,00	4,67	5,13	5,60	6,07	6,53	7,00	7,47	7,93	8,40	8,87
18,25	4,71	5,18	5,65	6,12	6,59	7,06	7,53	8,00	8,48	8,95
18,50	4,75	5,23	5,70	6,18	6,65	7,13	7,60	8,08	8,55	9,03
18,75	4,79	5,27	5,75	6,23	6,71	7,19	7,67	8,15	8,63	9,10
19,00	4,83	5,32	5,80	6,28	6,77	7,25	7,73	8,22	8,70	9,18
19,25	4,88	5,36	5,85	6,34	6,83	7,31	7,80	8,29	8,78	9,26
19,50	4,92	5,41	5,90	6,39	6,88	7,38	7,87	8,36	8,85	9,34
19,75	4,96	5,45	5,95	6,45	6,94	7,44	7,93	8,43	8,93	9,42
20,00	5,00	5,50	6,00	6,50	7,00	7,50	8,00	8,50	9,00	9,50
20,25	5,04	5,55	6,05	6,55	7,06	7,56	8,07	8,57	9,08	9,58
20,50	5,08	5,59	6,10	6,61	7,12	7,63	8,13	8,64	9,15	9,66
20,75	5,13	5,64	6,15	6,66	7,18	7,69	8,20	8,71	9,23	9,74
21,00	5,17	5,68	6,20	6,72	7,23	7,75	8,27	8,78	9,30	9,82
21,25	5,21	5,73	6,25	6,77	7,29	7,81	8,33	8,85	9,38	9,90
21,50	5,25	5,78	6,30	6,83	7,35	7,88	8,40	8,93	9,45	9,98
21,75	5,29	5,82	6,35	6,88	7,41	7,94	8,47	9,00	9,53	10,05
22,00	5,33	5,87	6,40	6,93	7,47	8,00	8,53	9,07	9,60	10,13
22,25	5,38	5,91	6,45	6,99	7,53	8,06	8,60	9,14	9,68	10,21
22,50	5,42	5,96	6,50	7,04	7,58	8,13	8,67	9,21	9,75	10,29
22,75	5,46	6,00	6,55	7,10	7,64	8,19	8,73	9,28	9,83	10,37

Bijvoorbeeld:

De warmtewinst Φ_{winst} t.g.v. warmteterugwinning bij een systeem met 2.000 m³/h bij een retourtemperatuur van 20,5 °C en een WTW-rendement van 0,7 bedraagt dus:
 $\Phi_{\text{winst}} = 2.000 \times 7,12 = 12.240 \text{ Watt}$.

Bijlage E Specifieke toeslag voor bedrijfsbeperking industriegebouwen

Bij continu bedrijf of gebruik van een optimaliserende regelaar geldt $P = 0$.

Bij grote ruimten is de specifieke toeslag voor bedrijfsbeperking P gegeven per vierkante meter vloeroppervlak en is afhankelijk van de grootte van de nachtverlaging, de toegestane opwarmtijd en de bedrijfstijd. De bedrijfstijd BT is gedefinieerd als de tijd dat de installatie in bedrijf is (dus werktijd plus opwarmtijd).

De specifieke toeslag voor bedrijfsbeperking $\varphi_{hu,i}$ volgt uit:

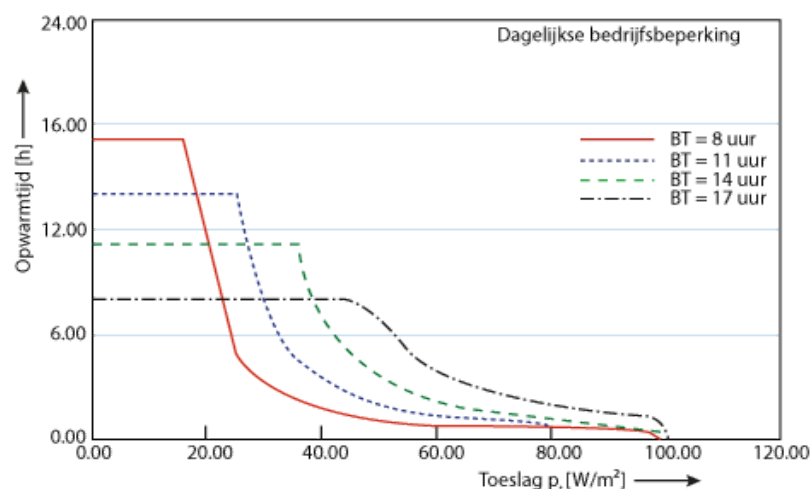
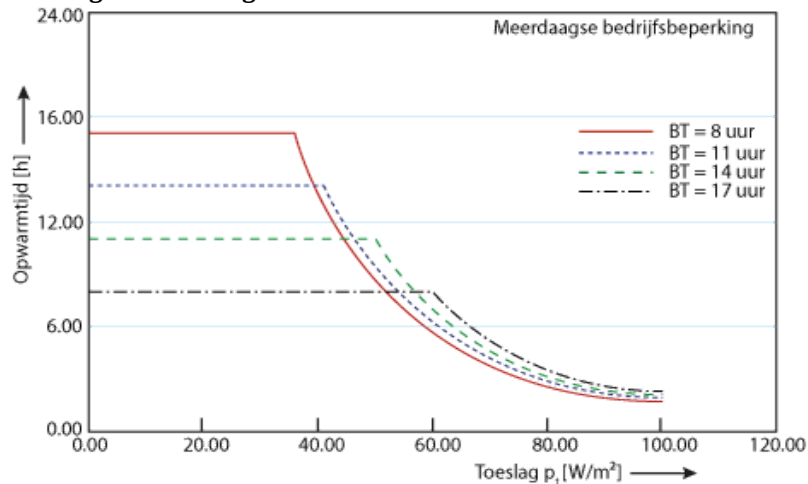
$$\varphi_{hu,i} = c_o \cdot P_t \quad [W/m^2] \quad (E.1)$$

Waarin:

c_o = correctiefactor volgens tabel E.1 [-]

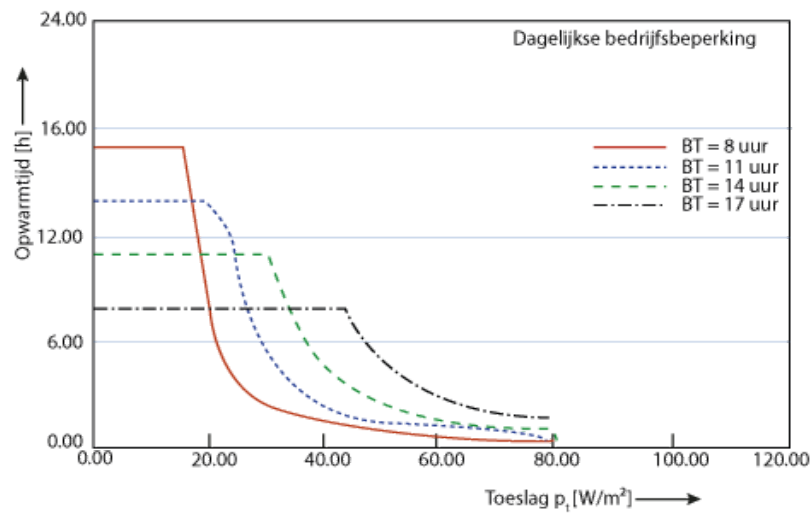
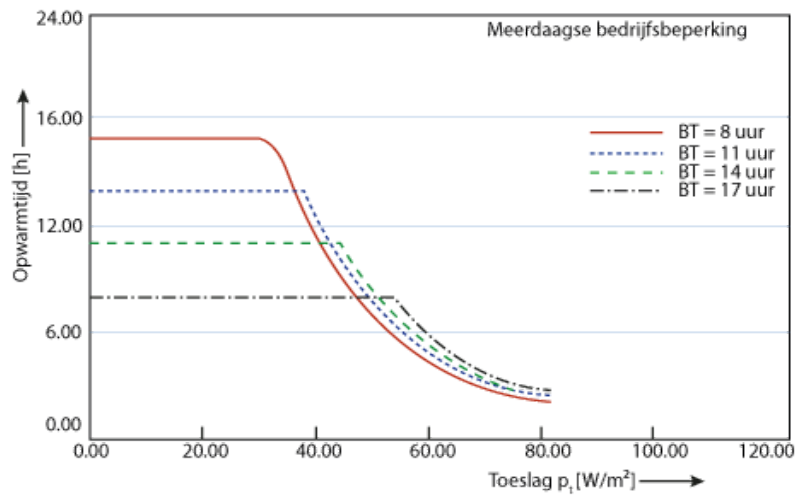
P_t = toeslag voor bedrijfsbeperking volgens uit afbeelding E.1, E.2 of E.3 [W/m²]

Stralingsverwarming



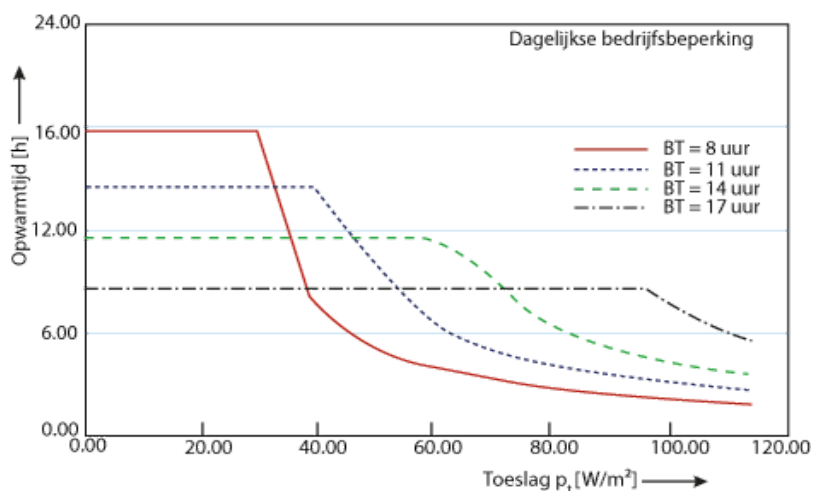
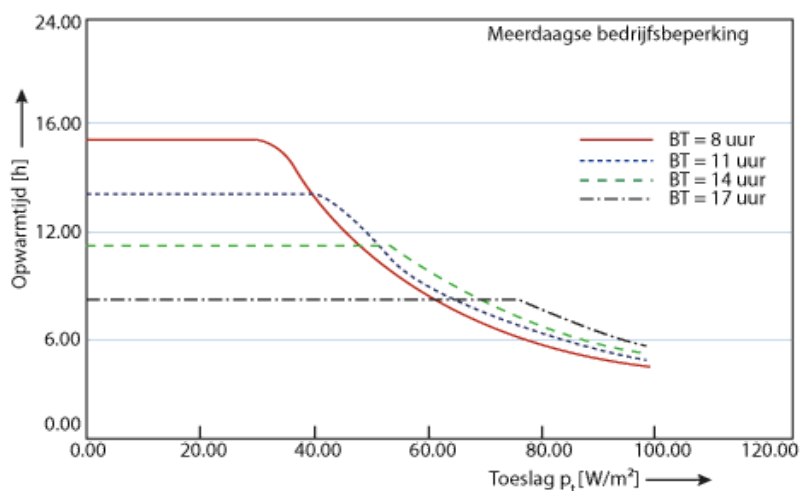
Afb. E.1 Toeslag voor bedrijfsbeperking P_t voor stralingspanelen en IR-stralers op maandag (na meerdaagse bedrijfsbeperking) en werkdagen (dagelijkse bedrijfsbeperking)

Luchtverwarming



Afb. E.2 Toeslag voor bedrijfsbeperking p_t voor luchtverwarming op maandag (na meerdaagse bedrijfsbeperking) en werkdagen (dagelijkse bedrijfsbeperking)

Vloerverwarming



Afb. E.3 Toeslag voor bedrijfsbeperking P_t voor vloerverwarming op maandag (na meerdaagse bedrijfsbeperking) en werkdagen (dagelijkse bedrijfsbeperking)

Tabel E.1 Correctiefactor c_o voor toeslag voor bedrijfsbeperking

Ontwerpbinnentemperatuur [°C]	Reductiefactor c_o	
	Minimum nachttemperatuur 5 °C	Minimum nachttemperatuur 10 °C
≤ 12	0,08	0
14	0,23	0
16	0,39	0,08
18	0,55	0,23
20,5	0,74	0,43

Bijlage F Bepaling temperatuur van aangrenzende vertrekken met een warmtebalans

Hierbij wordt onderscheid gemaakt in:

1. Aangrenzende vertrekken van hetzelfde gebouw (zie paragraaf F.1);
2. Aangrenzende vertrekken van belendend gebouw (zie paragraaf F.2).

F.1 Temperatuur van vertrekken die tot het gebouw behoren

De binnentemperatuur θ_i volgt uit de warmtebalans van het beschouwde vertrek:

$$(HT_{i,e} + HT_{i,a} + HT_{i,a,e} + HT_{i,a,BE} + HT_{i,g}) \cdot (\theta_i - \theta_e) + \Phi_{V,i} = 0 \quad [W] \quad (F.1)$$

Waarin:

$HT_{i,e}$	= specifiek warmteverlies van het vertrek naar de buitenlucht via de uitwendige scheidingsconstructie, bepaald volgens paragraaf 3.2	[W/K]
$HT_{i,a}$	= specifiek warmteverlies door scheidingsconstructie naar een tot het gebouw behorend verwarmd vertrek, bepaald volgens paragraaf 3.3	[W/K]
$HT_{i,a,e}$	= specifiek warmteverlies door scheidingsconstructie naar een tot het gebouw behorend onverwarmd vertrek, bepaald volgens paragraaf 3.4	[W/K]
$HT_{i,a,BE}$	= specifiek warmteverlies van het vertrek naar de buitenlucht via onverwarmde aangrenzende ruimte bepaald volgens paragraaf 3.5	[W/K]
$HT_{i,g}$	= specifiek warmteverlies door scheidingsconstructies in contact met de grond, bepaald volgens paragraaf 3.6	[W/K]
θ_i	= te bepalen binnentemperatuur	[°C]
θ_e	= ontwerpbuitentemperatuur bepaald volgens paragraaf 2.6	[°C]
$\Phi_{V,i}$	= toe te rekenen warmteverlies t.g.v. buitenluchttoetreding	[W]

Toe te rekenen warmteverlies t.g.v. toetredende buitenlucht

De methode voor het bepalen van het toe te rekenen ventilatieverlies volgt uit paragraaf 4.7.4.

Voor het bepalen van de temperatuur van een kruipruimte moet worden uitgegaan van een ventilatievoud van 0,6 voor de kruipruimte; infiltratie hoeft bij kruipruimten niet in rekening gebracht te worden.

F.2 Temperatuur van aangrenzende vertrekken die niet tot het gebouw behoren

Bij het bepalen van de temperatuur θ_a van het aangrenzende gebouw wordt het aangrenzende gebouw als één geheel beschouwd.

De temperatuur θ_a van het aangrenzende gebouw volgt uit de warmtebalans van dat gebouw:

$$(HT_{i,e} + HT_{i,a,BE} + HT_{i,g} + H_i + H_v) \cdot (\theta_a - \theta_e) = 0 \quad [W] \quad (F.2)$$

Waarin:

HT_{ie}	= specifiek warmteverlies van het vertrek naar de buitenlucht via de uitwendige scheidingsconstructie bepaald volgens paragraaf F.2.1	[W/K]
HT_{iaBE}	= specifiek warmteverlies van het vertrek naar aangrenzende gebouwen, bepaald volgens paragraaf F.2.2	[W/K]
HT_{ig}	= specifiek warmteverlies van het vertrek naar de grond bepaald volgens paragraaf F.2.3	[W/K]
H_i	= specifiek warmteverlies ten gevolge van infiltratie, bepaald volgens paragraaf F.2.4	[W/K]
H_v	= specifiek warmteverlies ten gevolge van infiltratie, bepaald volgens paragraaf F.2.5	[W/K]
θ_a	= te bepalen binnentemperatuur	[°C]
θ_e	= ontwerp-buitentemperatuur volgens paragraaf 2.6	[°C]

F.2.1 Specifiek warmteverlies door uitwendige scheidingsconstructies

Het specifieke warmteverlies HT_{ie} door uitwendige scheidingsconstructies (wanden, ramen, deuren, daken en vloeren boven buitenlucht) volgt uit:

$$HT_{ie} = \Sigma k(A_k \cdot (U_k + 0,1)) \quad [W/K] \quad (F.3)$$

Waarin:

A_k	= oppervlakte van vlak k bepaald volgens paragraaf 2.2	[m ²]
U_k	= warmtedoorgangscoefficiënt van vlak k bepaald volgens paragraaf 2.4	[W/(m ² ·K)]
0,1	= forfaitaire toeslag voor lineaire thermische bruggen	[-]

F.2.2 Specifiek warmteverlies naar aangrenzend pand

Voor het specifieke warmteverlies HT_{iaBE} van het vertrek naar aangrenzende gebouwen (zowel naastgelegen als boven- of ondergelegen) geldt:

$$HT_{iaBE} = \Sigma (A_s \cdot U_s \cdot f_{ib}) \quad [W/K] \quad (F.4)$$

Waarin:

A_s	= oppervlak van de scheidingsvlakken tussen de gebouwen bepaald volgens paragraaf 2.2	[m ²]
U_s	= warmtedoorgangscoefficiënt van de scheidingsconstructie bepaald volgens paragraaf 2.4	[W/(m ² ·K)]
f_{ib}	= correctiefactor ter correctie temperatuurverschil tussen ontwerp-buitentemperatuur en temperatuur aangrenzend pand	[-]

Voor wanden:

$$f_{ib} = \frac{\theta_a - \theta_b}{\theta_a - \theta_e} \quad [-] \quad (F.5)$$

Waarin:

θ_a	= te berekenen binnentemperatuur	[°C]
θ_e	= ontwerp-buitentemperatuur	[°C]
θ_b	= temperatuur belending: = θ_i van vertrek waarvoor warmteverliesberekening wordt uitgevoerd = 10 °C bij naastgelegen rijtjes woningen = 15 °C bij gestapelde bouw, kantoren en winkels = 5 °C bij stallingruimte/industriegebouw	[°C]

F.2.3 Specifiek warmteverlies door scheidingsconstructies in contact met grond

Het specifieke warmteverlies HT_{ig} door uitwendige scheidingsconstructies (wanden en vloeren) in contact met de grond volgt uit:

$$\Sigma k HT_{ig} = 1,45 \cdot f_s \cdot \Sigma k (A_k \cdot U_{equiv,k} \cdot f_{gw} \cdot 0,37) \quad [W/K] \quad (F.6)$$

Waarin:

A_k	= oppervlakte van vlak k , dat in contact is met de grond bepaald volgens 2.2	$[m^2]$
$U_{equiv,k}$	= equivalente warmtedoorgangscoefficiënt	$[W/(m^2 \cdot K)]$
f_{gw}	= grondwaterfactor	$[-]$
f_s	= correctiefactor voor aanstraling door stralingsverwarming	$[-]$

Voor de grondwaterfactor f_{gw} geldt:

$f_{gw} = 1$ indien de grondwaterspiegel ≤ 1 m onder het vloerniveau gelegen is

$f_{gw} = 1,15$ voor de overige gevallen

Voor de waarde van de equivalente warmtedoorgangscoefficiënt $U_{equiv,k}$ geldt:

$U_{equiv,k} = 0,18$ voor vloeren met een $R_c \geq 3,5 \text{ m}^2 \cdot K/W$

$U_{equiv,k} = 0,30$ voor vloeren met een $2,5 \leq R_c < 3,5 \text{ m}^2 \cdot K/W$

$U_{equiv,k} = 0,50$ voor vloeren met een $R_c < 2,5 \text{ m}^2 \cdot K/W$

F.2.4 Specifiek warmteverlies ten gevolge van infiltratie

Voor het specifieke warmteverlies H_i ten gevolge van infiltratie geldt:

$$H_i = 1200 \cdot q_i \cdot f_v \cdot z \quad [W/K] \quad (F.7)$$

Waarin:

1200	= $c_p \cdot \rho$	$[J/(m^3 \cdot K)]$
q_i	= luchtvolumestroom infiltratie	$[m^3/s]$
z	= fractie in rekening te brengen infiltratie (zie tabel F.6)	$[-]$
f_v	= correctiefactor voor lagere luchttemperatuur	$[-]$

Voor f_v geldt:

$$f_v = \frac{\theta_i + \Delta\theta_v - \theta_e}{\theta_i - \theta_e} \quad [-] \quad (F.8)$$

Waarin:

θ_i	= ontwerp binnentemperatuur volgens paragraaf 2.1.1	$[^\circ C]$
θ_e	= ontwerp buitentemperatuur ($-10 \text{ } ^\circ C$)	$[^\circ C]$
$\Delta\theta_v$	= correctiefactor voor lagere luchttemperaturen volgens tabel 2.2	$[K]$

q_i hangt af van de luchtdoorlatendheid van de gevel = q_{v10} -waarde (zoals gebruikt bij de EPC-berekening). Tabel F.1 geeft richtwaarden voor utiliteitsgebouwen die voldoen aan de eisen zoals gesteld in het Bouwbesluit (gebouwen van 1992 en later). Voor industriegebouwen kan worden uitgegaan van ventilatievoud $n = 0,5$ bij industriegebouwen met meerdere te openen deuren. Anders uitgaan van $n = 0,2$.

$f_s = 1,25$ voor IR open stralers en zwarte buisstralers

$f_s = 1,10$ voor indirect gestookte stralingspanelen

$f_s = 1,0$ voor de overige gevallen

Tabel F.1 Waarden voor infiltratiedebiet q_i in m^3/s per m^2 geveloppervlak (incl. beglazing en deuren)

qv,10,spec [dm³/(s·m²gebruiksopp.)]	Infiltratie maatgevend kantoor [m³/(s·m²gevelopp.)] Gebouwhoogte h [m]			
	h ≤ 6	6 < h ≤ 20	20 < h ≤ 30	> 30 m
Kleiner dan 0,20	0,00034	0,00043	0,00051	0,00062
Van 0,20 tot 0,40	0,00050	0,00063	0,00077	0,00092
Van 0,40 tot 0,60	0,00082	0,00103	0,00126	0,00149
Van 0,60 tot 0,80	0,00111	0,00140	0,00172	0,00200
Van 0,80 tot 1,00	0,00138	0,00175	0,00213	0,00251
Groter dan 1,0	0,00151	0,00189	0,00232	0,00273

Voor utiliteitsgebouwen die niet voldoen aan de luchtdichtheidseisen van het Bouwbesluit geldt:

$$q_i = f_{wind} \cdot f_{type} \cdot f_{inf} \cdot (0,23 \cdot q_{i,spec}) \quad [m^3/s] \quad (F.9)$$

Waarin:

f _{wind}	= correctiefactor voor invloed van de winddrukgeïnduceerde infiltratie	[-]
f _{type}	= correctiefactor voor gebouwafhankelijke winddrukverdeling volgens tabel F.2	[-]
f _{inf}	= correctiefactor voor invloed van ventilatievoorziening op de infiltratie volgens tabel F.3	[-]
q _{i,spec}	= specifieke luchtvolumestroom infiltratie afhankelijk van het gebouwtype en bouwjaar	[m³/s per m²]

Voor de correctiefactor f_{wind} geldt:

$$f_{wind} = \max \left[1; \left\{ 0,01 \cdot \left(24 + 0,555 \cdot \sqrt{L^2 + B^2} + 4,5 \cdot H \right) \right\}^{0,65} \right] \quad [-] \quad (F.10)$$

Waarin:

L	= lengte van het gebouw	[m]
B	= breedte van het gebouw	[m]
H	= hoogte van het gebouw	[m]

Tabel F.2 Waarde voor f_{type}

Gebouwtype		f _{type}
Eénlaagse gebouwen met kap	Grondgebonden, één laag, gebouweenheden met verscheidene bouwlagen in open verbinding bijv. grondgebonden kantoorvilla's	1,0
Eénlaagse gebouwen met plat dak	Grondgebonden, één laag, gebouweenheden met verscheidene bouwlagen in open verbinding bijv. grondgebonden kantoorvilla's	0,77
Gebouwen met meer lagen ¹⁾	Standaard	0,51
	Volgevel binnengalerij aan één zijde	0,48
	Dubbele huidgevel met onderbroken tussenruimte	0,46
	Dubbele huidgevel met doorlopende tussenruimte	0,15
1) Het onderscheid in de factoren f _{type} naar geveltype geldt uitsluitend indien de tussenruimten per etage (dus in verticale zin) luchttechnisch zijn gescheiden. Indien dit niet het geval is, geldt voor alle geveltypen van deze kantooretages de standaardwaarde f _{type} = 0,51.		

Tabel F.3 Waarde voor f_{inf}

Ventilatiesysteem		f _{inf}
A	Systemen met natuurlijke toe- en afvoer	0,80
B	Systemen met mechanische toevoer en natuurlijke afvoer	0,85
C	Systemen met natuurlijke toevoer en mechanische afvoer	1,0
D	Systemen met mechanische toe- en afvoer; gebalanceerde ventilatie	1,15
E	Zones met natuurlijke toevoer en mechanische afvoer en zones met lokale WTW, CO ₂ -sturing op afvoer van ruimtes met lokale WTW	1,08

Voor de specifieke lucht volumestroom infiltratie $q_{i,spec}$ geldt:

$$q_{i,spec} = f_{typ} \cdot f_{jaar} \cdot q_{i,spec,teken} \quad [dm^3/s \text{ per } m^2] \quad (F.11)$$

Waarin:

f_{typ}	= invloedfactor voor gebouwtype/ligging volgens tabel F.4	[-]
f_{jaar}	= invloedfactor voor de leeftijd van het gebouw	[-]
$q_{i,spec,teken}$	= specifieke lucht volumestroom infiltratie volgens tabel F.5	$[dm^3/s \text{ per } m^2]$

De invloedfactor voor de leeftijd van het gebouw f_{jaar} volgt uit:

$$f_{jaar} = 0,4 + 0,033e(0,05 \cdot (2060 - J)) \quad [-] \quad (F.12)$$

Waarin:

$$J = \text{bouwjaar} \quad [-]$$

Tabel F.4 Invloedfactor f_{typ}

Situatie		f_{typ} [-]
Enkellaags gebouw	Tussengelegen	1,0
	Kop-, eind-, hoekligging	1,2
	Vrijstaand	1,4
Meerlaags gebouw	Gehele gebouw	1,2
	Topetage/bovenste etage	1,3
	Tussengelegen etages	1,2
	Onderste etage/begane grond	1,1

Tabel F.5 Rekenwaarde specifieke lucht volumestroom infiltratie

Omschrijving gebouwtype	$q_{i,spec,teken}$ $[dm^3/s \text{ per } m^2]$
Eén laag met kap	1,0
Eén laag met half plat dak	0,85
Eén laag met plat dak	0,7
Meerlaags gebouw	0,5

Tabel F.6 Richtwaarden voor fractie z

Type gebouw	fractie z
Gebouwen met één buitengevel of twee niet tegenover elkaar liggende buitengevels	1
Gebouw met twee tegenover elkaar liggende gevels	0,5
Overige gevallen	0,7

F.2.5 Specifiek warmteverlies ten gevolge van ventilatie

Specifiek warmteverlies ten gevolge van ventilatie

$$H_v = 1200 \cdot q_v \cdot f_v \quad [-] \quad (F.13)$$

Waarin:

q_v	= lucht volumestroom ventilatie	$[m^3/s]$
f_v	= correctiefactor voor intredetemperaturen hoger dan de buitentemperatuur	[-]

De lucht volumestroom ventilatie q_v volgt uit:

$$q_v = 0,001 \cdot A_{\text{totaal}} \quad [\text{m}^3/\text{s}] \quad (\text{F.14})$$

Waarin:

$$A_{\text{totaal}} = \text{totaal oppervlak van het verblijfsgebied} \quad [\text{m}^2]$$

Voor de temperatuur correctiefactor f_v voor inblaastemperaturen geldt:

$f_v = 0$ voor alle systemen met toevoertemperaturen hoger dan de ontwerpbinrentemperatuur

Voor alle systemen zonder WTW, voorverwarming van de toevoerlucht of verwarmde lucht uit een andere ruimte:

$$f_v = \frac{\theta_i + \Delta\theta_v - \theta_e}{\theta_i - \theta_e} \quad [-] \quad (\text{F.15})$$

Voor systemen met WTW of voorverwarming van de toevoerlucht c.q. verwarmde lucht uit een andere ruimte:

$$f_v = \frac{\theta_i + \Delta\theta_v - \theta_t}{\theta_i - \theta_e} \quad [-] \quad (\text{F.16})$$

Waarin:

θ_i = ontwerpbinrentemperatuur volgens paragraaf 2.5 [°C]

θ_e = ontwerpbinrentemperatuur (-10 °C) [°C]

θ_t = toevoertemperatuur ventilatielucht (voor berekening bij systemen met WTW zie bijlage D) [°C]

$\Delta\theta_v$ = correctiefactor voor lagere luchttemperaturen volgens tabel 2.2 [K]

Bijlage G Vraagspecificatieblad

Invulblad- uitgangspunten voor de berekening volgens deze ISSO-publicatie

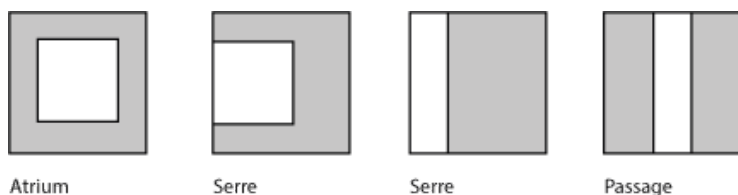
Algemeen	1	Project		
	2	Plaats		
	3	Contactpersoon		
	4	Offerte nr.		
	5	Datum		
Bouwkundige kenmerken	6	Hoofdafmetingen	Lengte	m
			Breedte	m
			Hoogte	m
	7a	Ramen/kozijnen uitvoering/kwaliteit (tabel 1.1)	<input type="radio"/> Aluminium met thermische onderbreking <input type="radio"/> Aluminium zonder thermische onderbreking <input type="radio"/> Kunststof met thermische onderbreking <input type="radio"/> Kunststof zonder thermische onderbreking <input type="radio"/> Hout <input type="radio"/> Staal <input type="radio"/> Overig	
	7b	Ligging van de ramen	<input type="radio"/> Gelegen in dak <input type="radio"/> Gelegen in wand op _____ m hoogte	
	7c	Deuren	Breedte	m
			Hoogte	m
			U-waarde	W/(m²·K)
	7d	Ligging van de deuren	<input type="radio"/> Naast elkaar <input type="radio"/> Tegenover elkaar <input type="radio"/> Overig	
	Bepaling transmissiewarmteverlies (Φ_t)	8a	Verwarmingssysteem (i.v.m. temperatuurgelaagdheid, zie tabel 1.3)	<input type="radio"/> Luchtverwarming HT1) <input type="radio"/> Luchtverwarming LT2) <input type="radio"/> Stralingsverwarming; zwarte buisstralers <input type="radio"/> Stralingsverwarming; IR open stralers <input type="radio"/> Indirect gestookte stralingspanelen <input type="radio"/> Vloerverwarming <input type="radio"/> Radiatoren

	8b	Circulatievoud	<input type="checkbox"/> Geen voorzieningen voor extra circulatie, n = _____ <input type="checkbox"/> Voorzieningen voor extra circulatie n = _____	
	9a	Ontwerp binnentemperatuur	<input type="checkbox"/> _____ °C; ga naar 10 <input type="checkbox"/> Onbekend; ga naar 9b	
	9b	Activiteit kledingweerstand en	<input type="checkbox"/> Lage activiteit (1,7 met) <input type="checkbox"/> Lage activiteit (2,2 met) <input type="checkbox"/> Matige activiteit (2,8 met) <input type="checkbox"/> Hoge activiteit (3,5 met) <input type="checkbox"/> Zeer hoge activiteit (4 met)	
		Geef de warmteweerstand van de kleding	<input type="checkbox"/> 0,5 clo <input type="checkbox"/> 0,7 clo <input type="checkbox"/> 0,8 clo <input type="checkbox"/> 0,9 clo <input type="checkbox"/> 1,0 clo	
	10	Ruimtetemperatuur in de aangrenzende ruimte (θb)	<input type="checkbox"/> 10 °C (woning of woongebouw) <input type="checkbox"/> 15 °C (winkelgebouw, kantoorgebouw) <input type="checkbox"/> 20 °C (gezondheidszorggebouw) <input type="checkbox"/> _____ °C	
	11	BG-vloer (= 1e bouwlaag)	<input type="checkbox"/> Vloer boven kruipruimte <input type="checkbox"/> Vloer direct op grond <input type="checkbox"/> Boven berging e.d.	
Bepaling warmteverlies door buitenluchttoetreding (Φv)	12	Niveau grondwaterspiegel	<input type="checkbox"/> Meer dan 1m onder onderzijde vloer <input type="checkbox"/> Tegen onderzijde vloer <input type="checkbox"/> Tussen 0 en 1m onder vloer	
	13	Luchtdichtheid	<input type="checkbox"/> Voldoet wel aan eisen Bouwbesluit <input type="checkbox"/> Voldoet niet aan eisen Bouwbesluit	
	14	Ventilatiesysteem	<input type="checkbox"/> Nat. toevoer, nat. afvoer <input type="checkbox"/> Nat. toevoer, mech. afvoer <input type="checkbox"/> Mech. toevoer, mech. afvoer <input type="checkbox"/> Mech. toevoer, nat. afvoer	
	15	Inblaastemperatuur mech. toegevoerde lucht	θt =	_____ °C
Bepaling toeslag voor bedrijfsbeperking (Φo)			WTW rendement aanwezig;	_____ %
16	Bedrijfswijze	<input type="checkbox"/> Bedrijfsbeperking <input type="checkbox"/> Continu bedrijf (ga naar 20)		
17	Regeling	<input type="checkbox"/> Optimaliserende regelaar (ga naar 20) <input type="checkbox"/> Regeling met centrale regelaar <input type="checkbox"/> Regeling per vertrek		
	18a	Opwarmtijd maandag	<input type="checkbox"/> 6 uur <input type="checkbox"/> 4 uur <input type="checkbox"/> 3 uur <input type="checkbox"/> 2 uur <input type="checkbox"/> 1 uur <input type="checkbox"/> Anders: _____	
	18b	Opwarmtijd overige werkdagen	<input type="checkbox"/> 6 uur <input type="checkbox"/> 4 uur <input type="checkbox"/> 3 uur <input type="checkbox"/> 2 uur <input type="checkbox"/> 1 uur <input type="checkbox"/> Anders: _____	

	19	Max. optredende afkoeling	<input type="radio"/> _____ K <input type="radio"/> Vrije afkoeling	
Bepaling eventuele toeslagen voor materiaal invoer/doorvoer en proceswarmte	20	Is er sprake van materiaal invoer/doorvoer?	<input type="radio"/> Nee, ga naar 25 <input type="radio"/> Ja, continu <input type="radio"/> Ja, discontinue; ga naar 24	
	21	Gegevens materiaal	Oppervlaktetemperatuur	_____ °C
			Oppervlak materiaal	_____ m²
	22	Discontinue materiaal invoer	Materiaal	_____ kg
			Soortelijke warmte	_____ J/(kg·K)
			Temperatuur materiaal	_____ °C
			Opwarmtijd	_____ h
	23	Is er sprake van warmteafgevend/-opnemende processen of apparatuur?	<input type="radio"/> Nee, ga naar 24 <input type="radio"/> Ja <input type="radio"/> Elektrisch opgenomen _____ W	
	24	Is er sprake van koude oppervlakken in de ruimte?	<input type="radio"/> Nee, ga naar 25 <input type="radio"/> Ja	
		Indien JA	<input type="radio"/> Temperatuur oppervlak _____ °C <input type="radio"/> Gekoeld oppervlak _____ m²	
25	Warmtevoorziening	<input type="radio"/> Centraal <input type="radio"/> Decentraal		
1) HT = $\theta_{\text{inblaas}} - \theta_{\text{ruimte}} \geq 30 \text{ K}$ 2) LT = $\theta_{\text{inblaas}} - \theta_{\text{ruimte}} < 30 \text{ K}$				

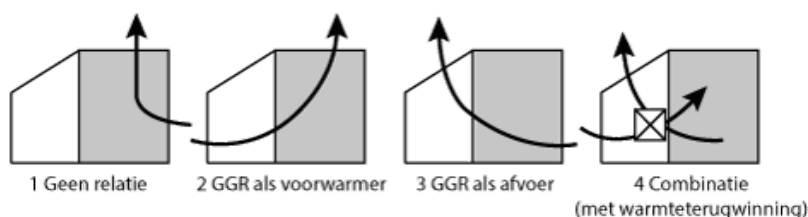
Bijlage H Grote glasoverkapte ruimte(n)

Grote glasoverkapte ruimten worden onderverdeeld in serres, atria en passages (zie afbeelding H.1).



Afb. H.1 Indeling glasoverkapte ruimten

De grote glasoverkapte ruimten (GGR) kunnen in de wintersituatie op verschillende manieren gebruikt worden. De verschillende manieren van ventilatiegebruik zijn gegeven in afbeelding H.2.



Afb. H.2 Ventilatiegebruik in de winter bij grote glasoverkapte ruimten (zijaanzicht)

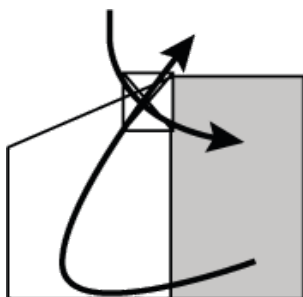
In het algemeen kan de temperatuur in de GGR met behulp van de warmtebalans uit bijlage F berekend worden. De warmtebalans uit bijlage F is niet geschikt voor het bepalen van de temperatuur in de GGR indien sprake is van zonnestraling op de GGR.

De gewenste temperatuur in de GGR hangt af van de functie van de GGR. In de praktijk is meestal geen permanente verblijfsfunctie toegekend aan de GGR. In het algemeen is het dan niet nodig om aanvullend te verwarmen. Zijn er wel delen met een permanente verblijfsfunctie dan moet daar aanvullend verwarmd worden en/of moeten maatregelen tegen tocht genomen te worden.

De warmteverliezen door het glas kunnen met deze ISSO-publicatie berekend worden. Ook het warmteverlies naar de grond kan met deze ISSO-publicatie berekend worden. Het is met deze ISSO-publicatie niet mogelijk invloeden van accumulatie op de temperatuur in de GGR te bepalen.

Let op: Bij ventilatietype 2 kan bij zonnige omstandigheden de toevoerluchttemperatuur (te hoog) oplopen. Dit geldt ook voor ventilatietype 4. Beter is het de warmteterugwinunit zodanig te plaatsen dat buitenlucht wordt opgewarmd door de WTW-unit en dan direct in het gebouw gebruikt wordt (fig. H3, type 5) en de lucht uit de GGR via de WTW naar buiten stroomt.

Indien geen andere gegevens over de ventilatie bekend zijn kan voor de ventilatietype 2, 3, 4 en 5 als richtwaarde worden uitgegaan van een ventilatie ter grootte van een eenvoudige ventilatie van de aangrenzende ruimten.



Afb. H.3 Ventilatiegebruik in de winter bij grote glasoverkapte ruimten met WTW (zijaanzicht)

Bijlage I Warmtedoorgangcoëfficiënt van een raam

De warmtedoorgangcoëfficiënt van ramen, inclusief kozijn wordt bepaald volgens:

$$U_{\text{raam}} = (1 - f_{\text{kozijn}}) \cdot U_{\text{glas}} + f_{\text{kozijn}} \cdot U_{\text{kozijn}} + L_{\text{rand}} \Psi_{\text{rand}} \quad [W/(m^2 \cdot K)] \quad (I.1)$$

Waarin:

U_{raam} = de U-waarde van het raam [W/(m²·K)]

U_{glas} = de U-waarde van het glas, bepaald volgens tabel I.1 [W/(m²·K)]

U_{kozijn} = de U-waarde van het kozijn, bepaald volgens I.2 [W/(m²·K)]

Ψ_{rand} = de Ψ -waarde van de rand, bepaald volgens I.3 [W/(m·K)]

f_{kozijn} = het kozijnaandeel in de geprojecteerde raamoppervlakte [-]

L_{rand} = de omtrek van het zichtbare gedeelte van de rand van het glas per eenheid van oppervlakte van het raam, waarvoor geldt: $L_{\text{rand}} = 2,5 \text{ m/m}^2$ [m/m²]

Voor f_{kozijn} geldt:

$$f_{\text{kozijn}} = A_{\text{kozijn}} / A_{\text{raam}} \quad [-] \quad (I.2)$$

Waarin:

A_{raam} = de geprojecteerde oppervlakte van het raam inclusief kozijn [m²]

A_{kozijn} = de geprojecteerde oppervlakte van het kozijn, zijnde het niet-lichtdoorlatende gedeelte van het raam [m²]

Het resultaat van vergelijking I.1 moet naar boven worden afgerond naar een veelvoud van $0,1 \text{ W/(m}^2 \cdot \text{K)}$.

Indien voor f_{kozijn} getalswaarden worden overgelegd die zijn gebaseerd op de werkelijke afmetingen van het desbetreffende raam, dan worden deze uitsluitend toegelaten indien de kozijnen voor alle ramen van het desbetreffende gebouw op deze wijze zijn bepaald.

I.1 Warmtedoorgangcoëfficiënt van beglazing zonder meerekening van randeffecten

De warmtedoorgangcoëfficiënt van beglazing zonder meerekening van randeffecten volgt uit tabel I.1 voor een globale berekening of uit tabel I.2 wanneer gedetailleerde gegevens van het glas bekend zijn.

Tabel I.1 U-waarde van verschillende glassoorten

Soort glas		U_{glas} [W/(m ² ·K)]
Enkelglas: 3 mm blank glas		5,7
Dubbelglas	Met smalle spouw (6 mm)	3,3
	Brede spouw (15 mm)	2,8
HR-glas		1,7
HR++-glas		1,5
Drievoudig blank glas		2,0

Tabel I.2 Warmtedoorgangcoëfficiënt van beglazing zonder meerekening van randeffecten

				Uglas [W/(m²·K)]			
Enkelglas				5,8			
Meervoudige beglazing				Soort spouwvulling (gasconcentratie ≥ 90 %)			
Soort	Glas, coating	Emissiecoëfficiënt ϵ_n	Spouwbreedte [mm]	Lucht	Argon	Krypton	SF6
Dubbelglas	Geen (normaal glas)	0,89	6	3,3	3,0	2,8	3,0
			9	3,0	2,8	2,6	3,1
			12	2,9	2,7	2,6	3,1
			15	2,7	2,6	2,6	3,1
			20	2,7	2,6	2,6	3,1
	1 ruit met warmtereflect. coating	≤ 0,4	6	2,9	2,6	2,2	2,6
			9	2,6	2,3	2,0	2,7
			12	2,4	2,1	2,0	2,7
			15	2,2	2,0	2,0	2,7
			20	2,2	2,0	2,0	2,7
	1 ruit met warmtereflect. coating	≤ 0,2	6	2,7	2,3	1,9	2,3
			9	2,3	2,0	1,6	2,4
			12	1,9	1,7	1,5	2,4
			15	1,8	1,6	1,6	2,5
			20	1,8	1,7	1,6	2,5
	1 ruit met warmtereflect. coating	≤ 0,1	6	2,6	2,2	1,7	2,1
			9	2,1	1,7	1,3	2,2
			12	1,8	1,5	1,3	2,3
			15	1,6	1,4	1,3	2,3
			20	1,6	1,4	1,3	2,3
	1 ruit met warmtereflect. coating	≤ 0,05	6	2,5	2,1	1,5	2,0
			9	2,0	1,6	1,3	2,1
			12	1,7	1,3	1,1	2,2
			15	1,5	1,2	1,1	2,2
			20	1,5	1,2	1,2	2,2
Drievoudige beglazing	Geen (normaal glas)	0,89	6 en 6	2,3	2,1	1,8	2,0
			9 en 9	2,0	1,9	1,7	2,0
			12 en 12	1,9	1,8	1,6	2,0
	2 ruiten met coating	≤ 0,4	6 en 6	2,0	1,7	1,4	1,6
			9 en 9	1,7	1,5	1,2	1,6
			12 en 12	1,5	1,3	1,1	1,6
	2 ruiten met coating	≤ 0,2	6 en 6	1,8	1,5	1,1	1,3
			9 en 9	1,4	1,2	0,9	1,3
			12 en 12	1,2	1,0	0,8	1,4
	2 ruiten met coating	≤ 0,1	6 en 6	1,7	1,3	1,0	1,2
			9 en 9	1,3	1,0	0,8	1,2
			12 en 12	1,1	0,9	0,6	1,2
	2 ruiten met coating	≤ 0,05	6 en 6	1,6	1,3	0,9	1,1
			9 en 9	1,2	0,9	0,7	1,1
			12 en 12	1,0	0,8	0,5	1,1

I.2 U-waarden van kozijnen

Voor de U-waarde van kozijnen geldt:

1. Ga uit van de door de architect opgegeven waarde;
2. Gebruik de defaults:
 1. Houten of kunststofkozijn: $U = 2,4 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$;
 2. Metalen kozijn met thermische onderbreking: $U = 3,8 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$;
 3. Metalen kozijn/onbekend materiaal: $U = 7,0 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$.

De lineaire warmtedoorgangcoëfficiënt van de rand van de beglazing.

Voor de lineaire warmtedoorgangcoëfficiënt van de rand zijn de rekenwaarden gegeven in tabel I.3.

Tabel I.3 Lineaire warmtedoorgangcoëfficiënt van de rand van de beglazing ψ_{rand} in $\text{W}/(\text{m} \cdot \text{K})$

		Ukozijn $\leq 2,4$ [W/(m ² ·K)]	$2,4 < \text{Ukozijn} \leq 3,8$ [W/(m ² ·K)]	Ukozijn $> 3,8$ [W/(m ² ·K)]
Enkelglas		0	0	0
Meervoudig glas met aluminium afstandshouder	Uglas $> 2,7$	0,04	0,06	0
	Uglas $\leq 2,7$	0,06	0,08	0,02
Meervoudig glas met corrosievaste stalen afstandshouder	Uglas $> 2,7$	0,03	0,04	0
	Uglas $\leq 2,7$	0,05	0,06	0,02
Meervoudig glas met afstandshouder van isolatieschuim	Uglas $> 2,7$	0,02	0,03	0
	Uglas $\leq 2,7$	0,03	0,04	0,01
Waarin: Uglas = de U-waarde van het glas, in $\text{W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$, bepaald volgens tabel B.2 Ukozijn = de U-waarde van het kozijn, in $\text{W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$, bepaald volgens paragraaf B.2				

Bijlage J Bedfordfactor

Door stralingsinvloeden is over het algemeen bij een bepaalde comforttemperatuur de luchttemperatuur X graden lager dan de comforttemperatuur. Voor het bepalen van het temperatuurverschil tussen lucht- en comforttemperatuur zijn verschillende methoden gangbaar. Eén ervan is de zogenaamde Bedfordmethode. De Bedfordmethode is een praktische methode die door leveranciers van stralingsverwarming veelvuldig wordt gebruikt om het verschil tussen de luchttemperatuur en de comforttemperatuur te bepalen.

De stralingsbijdrage aan de comforttemperatuur θ_c volgt uit:

$$\theta_c = \theta_l + f \cdot I_s \quad [^{\circ}\text{C}] \quad (\text{J.1})$$

Waarin:

f	=	Bedfordfactor	$[\text{K}\cdot\text{m}^2/\text{W}]$
I_s	=	stralingsintensiteit ten opzichte van de actuele luchttemperatuur	$[\text{W}/\text{m}^2]$
θ_l	=	luchttemperatuur	$[^{\circ}\text{C}]$

In formule J.1 wordt de stralingsintensiteit ten opzichte van de actuele luchttemperatuur uitgedrukt. De stralingsintensiteit is dus relatief uitgedrukt in plaats van absoluut. Daarom wordt in deze bijlage vanaf nu gesproken over ΔI_s in plaats van I_s .

De term $f \cdot \Delta I_s$ noemen we de stralingsbijdrage op de comforttemperatuur.

Formule J.1 verandert hierdoor in:

$$\theta_c = \theta_l + 0,022 \Delta I_s \quad [^{\circ}\text{C}] \quad (\text{J.2})$$

Waarin:

ΔI_s	=	relatieve stralingsintensiteit	$[\text{W}/\text{m}^2]$
θ_l	=	luchttemperatuur	$[^{\circ}\text{C}]$

De Bedfordfactor is een constante waarde. Doordat de stralingsintensiteit op twee verschillende manieren gemeten kan worden zijn er dus twee verschillende Bedfordfactoren.

Meetmethode A

De stralingsintensiteit wordt gemeten vanuit één richting van boven, vanaf de stralingsbron naar beneden gericht. Hiervoor geldt voor de Bedfordfactor $f = 0,022 \text{ K}\cdot\text{m}^2/\text{W}$.

Formule J.2 wordt hiermee:

$$\theta_c = \theta_l + 0,022 \Delta I_s \quad [^{\circ}\text{C}] \quad (\text{J.3})$$

Waarin:

ΔI_s	=	relatieve stralingsintensiteit	$[\text{W}/\text{m}^2]$
θ_l	=	luchttemperatuur	$[^{\circ}\text{C}]$

Meetmethode B

De stralingsintensiteit wordt gemiddeld over de zes ruimterichtingen. De Bedfordfactor bedraagt dan $0,072 \text{ K}\cdot\text{m}^2/\text{W}$.

Formule J.2 wordt hiermee:

$$\theta_c = \theta_l + 0,072 \Delta I_s \quad [^{\circ}\text{C}] \quad (\text{J.4})$$

Waarin:

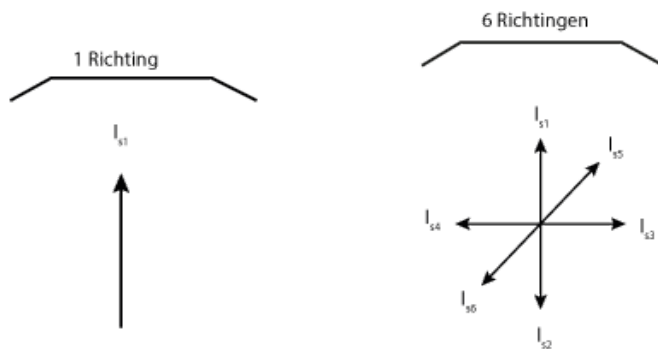
ΔI_s = relatieve stralingsintensiteit

[W/m²]

θ_l = luchttemperatuur

[°C]

De verschillende meetmethoden zijn toegelicht in afbeelding J.1.



Afb. J.1 Meetmethode één richting en zes richtingen

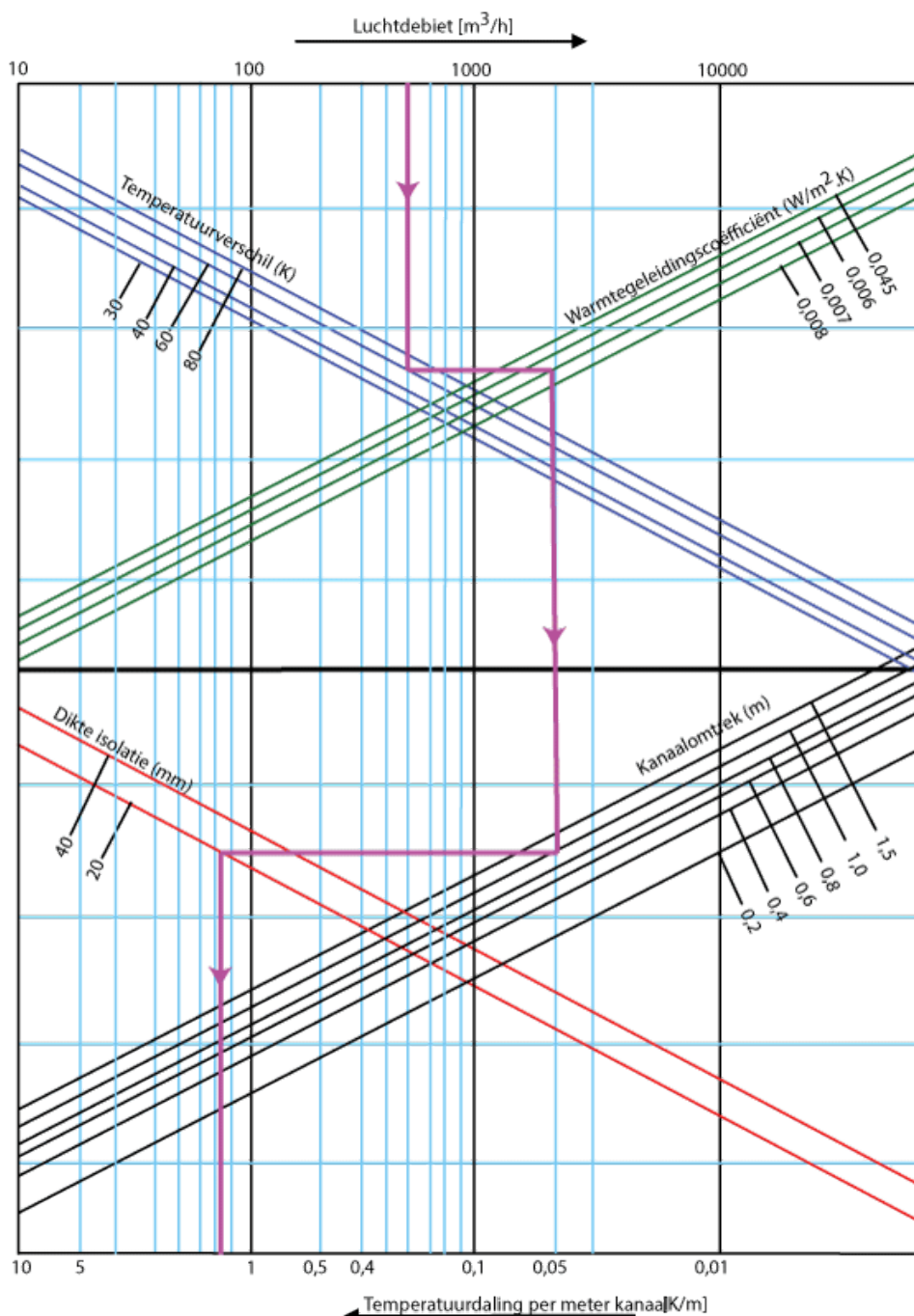
Opmerking: Deze waarden wijken af van de waarden gegeven in het Duitse DVWG Arbeitsblatt 638/I en II. (De hier gebruikte waarden volgen uit [15].)

Bijlage K Verliezen van kanalen en leidingen in onverwarmde ruimten

K.1 Kanaalverliezen

De berekening is gebaseerd op de methode als gegeven in ISSO-publicatie 58 [7].

De afkoeling van de lucht in ronde kanalen wordt afgelezen uit het nomogram van afbeelding K.1.



Afb. K.1 Nomogram ter indicatie van de temperatuurdaling

Voorbeeld

Luchtdebiet: 400 m³/h

Temperatuurverschil warme lucht - omgeving: 60 K

Warmtegeleidingscoëfficiënt kanaalisolatie: 0,045 W/(m·K)

Isolatie dikte: 40 mm

Kanaalomtrek buitenzijde: 1,0 m

Uit het nomogram volgt een temperatuurdaling per meter kanaal van 0,44 K/m.

K.2 Leidingverliezen

De leidingverliezen in onverwarmde ruimten zijn sterk afhankelijk van de gemiddelde mediumtemperatuur en de mate van isolatie van de leidingen. Voor het bepalen van de optimale dikte van isolatie wordt verwezen naar ISSO-publicatie 25 [8].

Het warmteverlies per meter leiding volgt uit:

$$\varphi = q_c + q_s \quad [\text{W/m}] \quad (\text{K.1})$$

Met:

$$q_s = 5,67 \cdot 10^{-8} \cdot \varepsilon_s \cdot (T_{is}^4 - T_a^4) \cdot \pi \cdot (d_b + 2s) \quad [\text{W/m}] \quad (\text{K.2})$$

$$q_c = 1,35 \cdot \frac{(\theta_a - \theta_{is})^{1,25}}{(d_b + 2s)^{0,25}} \cdot \pi \cdot (d_b + 2s) \quad [\text{W/m}] \quad (\text{K.3})$$

$$\theta_{is} = \theta_{bs} - \frac{q_s + q_c}{2\pi \cdot \lambda} \cdot \ln \left(1 + \frac{2s}{d_b} \right) \quad [^\circ\text{C}] \quad (\text{K.4})$$

Waarin:

φ	=	warmteverlies per meter leidinglengte	[W/m]
T_a	=	omgevingstemperatuur	[K]
T_i	=	oppervlaktetemperatuur isolatie	[K]
λ	=	warmtegeleiding van het isolatiemateriaal	[W/(m·K)]
d	=	uitwendige leidingdiameter	[m]
q_c	=	warmteverlies per meter door convectie	[W/m]
q_s	=	warmteverlies per meter door straling	[W/m]
s	=	isolatiedikte	[m]
ε_s	=	emissiefactor van isolatieoppervlak	[-]
θ_{bs}	=	gemiddeld mediumtemperatuur	[°C]
θ_s	=	ontwerp binnentemperatuur	[°C]
θ_{is}	=	oppervlaktetemperatuur isolatie	[°C]

Voor dikwandige gelaste buizen zijn voor verschillende warmtegeleidingscoëfficiënten en isolatiedikten tabellen opgenomen met het warmteverlies per meter leiding bij een mediumtemperatuur van 80 °C. Uitgegaan is van een $\varepsilon_s = 0,5$.

Het totale warmteverlies:

$$\Phi_{\text{verlies}} = \varphi \cdot l \quad [\text{W}] \quad (\text{K.5})$$

Waarin:

φ	=	warmteverlies per meter leiding bij de gemiddelde mediumtemperatuur	[W/m]
l	=	totale lengte (in onverwarmde ruimte)	[m]

Tabellen ter indicatie:

Tabel K.1 geeft het warmteverlies φ per meter leidinglengte bij een gemiddelde mediumtemperatuur van 80 °C.

Tabel K.1 Warmteverlies per meter ongeïsoleerde buis voor dikwandige gelaste buis bij 80 graden medium temperatuur

Buisdiameter [mm]	Omgevingstemperatuur	
	5 °C	10 °C
26,9	107,4	100,2
33,7	130,3	121,6
42,4	158,8	148,3
48,3	177,7	166,0
60,3	215,4	201,3
76,1	263,8	246,6
89,9	302,1	282,6
114,3	376,6	352,4
139,7	449,3	420,7
168,3	529,7	496,1
219,1	669,2	627,4

Literatuurlijst

- [1] NEN 1068 Thermische isolatie van gebouwen, NEN, Delft 2012.
- [2] ISSO-kleintje U- en Rc-waarden van bouwkundige constructies, ISSO, Rotterdam, 2014.
- [3] ISSO-publicatie 25 Leidingisolatie, Berekening van economisch optimale isolatiedikte en berekening van isolatiedikte ter voorkoming van condensatie, ISSO, Rotterdam, 1991.
- [4] NEN 7120 Energieprestatie van gebouwen – bepalingmethode, NEN, Delft, 2012 met aanvullingen A1 van 2013 en A2 van 2014.
- [5] Ontwerp NEN-EN 12831-1, Verwarmingssystemen en op water gebaseerde koelsystemen in gebouwen – Methode voor de berekening van de ontwerpwarmtebelasting – Deel 1: Warmtebelasting van de ruimte, NEN, Delft, 2014.
- [6] Bouwbesluit.
- [7] NPR-CR 1752: Ontwerpcriteria voor binnenomstandigheden, NEN, Delft, 1999.
- [8] H.C. van Deventer, A.J.Th.M. Wijsman Stralingsverwarming in hoge ruimten – indirect gestookte systemen. Ontwerpberekeningen en energiegebruiken, TNO-rapport, augustus 1990.
- [9] ISSO-publicatie 51 Warmteverliesberekening voor woningen en woongebouwenrekening per vertrek en totaal, ISSO, Rotterdam, 2017.
- [10] ISSO-publicatie 53 Warmteverliesberekening voor utiliteitsgebouwen, ISSO, Rotterdam, 2017.
- [11] Gasunie rapportage TR/I 98.R.1013 Praktijkmetingen hoge ruimten– Direct gasgestookte donkerstralers, Gasunie, Groningen, 1998.
- [12] Gasunie rapportage TR/I 99.R.4557 Praktijkmetingen hoge ruimten– Direct gasgestookte hangende luchtverwarmers, Gasunie, Groningen, 1999.
- [13] Gasunie rapportage TR/I 97.R.1036 Praktijkmetingen hoge ruimten – Direct gasgestookte open stralers, Gasunie, Groningen, 1998.
- [14] Grenswaarden, <http://www.ser.nl/nl/themas/arbeidsomstandigheden/grenswaarden.aspx>
- [15] Tolle R.F.A e.a., Invloed van de stralingsbijdrage op de comforttemperatuur van een gasgestookte hoge temperatuurstraler, N.V. Nederlandse Gasunie TR/I 99.R.1001, Groningen, januari 1999.
- [16] ISSO-publicatie 7 Grondleidingen voor warmte- en koudetransport, 2012, ISSO, Rotterdam.
- [17] NEN-EN 1264 deel 1-4 Vloerverwarming – systemen en componenten, NEN, Delft, 1997.
- [18] ISSO-publicatie 49 Vloer en wandverwarming, ISSO, Rotterdam, 2002.
- [19] ISSO-publicatie 110 Luchtgordijnen, ISSO, Rotterdam, 2014.
- [20] ISSO-publicatie 86 Kwaliteitseisen voor warmtetechnische en CO₂-installaties in tuinbouwkassen, ISSO, Rotterdam, 2016.

Colofon

De realisatie van de ISSO-publicatie 57 werd verzorgd door de ISSO-kontaktgroep die als volgt was samengesteld:

De heer W.G.J. Bos MSc	Stichting Passiefbouwen
De heer ir. M.J. van Bruggen	De Energiemanager
De heer B. van Duin	Van Duin Installatie Management
De heer ing. B.T.B. Jansen	Rensa B.V.
De heer ir. W. Plokker	Vabi Software B.V.
De heer drs. E.G. Rooijackers	Halmos Adviseurs
De heer drs. A.J.B. Scheffers	Bink Software B.V.
De heer J. Verdonck	Jaga/Konvektco Nederland B.V.
De heer F.A. Vos	Uneto-VNI
De heer ir. A.M. van Weele	ISSO

De realisatie van deze ISSO-uitgave is mede mogelijk gemaakt door een financiële bijdrage van:

PIT



OTIB



Uneto-VNI



© Stichting ISSO - Rotterdam, oktober 2017

Archief

Klik op onderstaande versie(s) om naar de betreffende versie van dit document te gaan:

[Versie 1994 \(ISSO-publicatie 4\)](#)

[Versie 2003](#)