

Warmte- en vochtbalans van een omsloten ruimte

Kennisbank Bouwfysica

Auteur: ir. E.H. Tumbuan, prof.ir. J.J.M. Cauberg, Faculteit Civiele Techniek en Geowetenschappen, TU-Delft

1 Inleiding

Wanneer we te maken hebben met een omsloten ruimte, zoals een kantoorvertrek bij voorbeeld, vormen de wanden de begrenzing van de ruimte. Daardoor ontstaat een binnenklimaat, dat over het algemeen verschilt van het klimaat van de aangrenzende ruimten, waaronder ook het buitenklimaat.

Elke ruimte waarin zich personen bevinden, dient met verse (buitenlucht) te worden geventileerd aangezien er zuurstof verbruikt en kooldioxide geproduceerd wordt. Ook voor ruimten waarin gevaar bestaat van ophoping van een explosief gas of voor de mens schadelijke stoffen is luchtverversing noodzakelijk. Denk hierbij aan de afgifte van formaldehyde door spaanplaat en sommige kunststof schuimen en de afgifte van radongas door veel bouwmaterialen.

In de stookperiode veroorzaakt ventilatie met buitenlucht een niet te verwaarlozen aandeel in het warmteverlies, zeker wanneer het zeer goed geïsoleerde gebouwen of woningen betreft. In de zomer is deze ventilatie een middel om de stijging van de binnenluchttemperaturen ten gevolge van zoninstraling te beperken. Ook de gevolgen van warmtebronnen in de ruimte, zoals warmte ten gevolge van verlichting en machines, en warmteproductie van personen, kunnen - mits zij niet te groot zijn - door ventilatie met buitenlucht in de hand worden gehouden.

De luchtverversing met buitenlucht kan hetzij door natuurlijke ventilatie, hetzij door mechanische ventilatie worden verkregen.

Bij natuurlijke ventilatie zijn de drijvende krachten de winddrukverschillen en luchttemperatuurverschillen tussen binnen en buiten. Behalve door te openen ramen of klepramen treedt er ook lucht naar binnen door kieren bij de aansluiting van diverse constructies, zoals bij voorbeeld bij raam en raamkozijn. Deze ventilatie wordt onwillekeurige ventilatie of infiltratie genoemd.

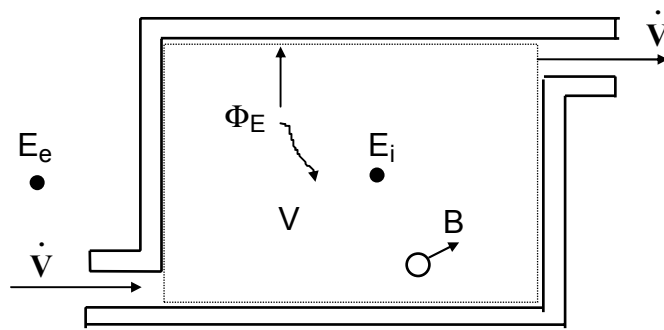
Bij mechanische ventilatie wordt gebruik gemaakt van een ventilator.

2 Geeneraliseerde ventilatiebalans

In figuur 1 is een ruimte met een volume V gegeven. Beschouw nu een eenheid E per m^3 die getransporteerd of overgedragen kan worden, zoals bij voorbeeld een hoeveelheid warmte of gas (waterdamp, CO_2 -gas).

Het ventilatiedebiet is \dot{V} in $[m^3/s]$, terwijl in de ruimte een bron B aanwezig is. De waarde van de overdraagbare eenheid buiten is gelijk aan E_e en binnen gelijk aan E_i .

Er wordt in de ruimte een homogene menging verondersteld, zodat overal in de ruimte de grootheid E_i constant is. De wanden en het meubilair worden in staat geacht de overdraagbare eenheid op te nemen, in de figuur beschreven door Φ_E .



figuur 1. elementen van een verontreinigingsbalans (transportbalans) met een emissiebron in een ruimte (waterdamp, CO₂, etc.)

De ventilatiestroom brengt een hoeveelheid $\dot{V} E_e$ in de ruimte en uit de ruimte $\dot{V} E_i$.

De verandering in de tijd van E_i is gelijk aan $\frac{dE_i}{d\tau}$.

Wanneer we het controlevlak of systeembegrenzing laten samenvallen met de begrenzing van de ruimte aan de binnenzijde (in figuur 1 door de stippellijn aangegeven) wordt de ventilatiebalans: de verandering van de hoeveelheid E in de ruimte = productie aan E + aangevoerde hoeveelheid E - afgevoerde hoeveelheid E - de in wanden enzovoort opgenomen hoeveelheid E .

De transportbalans luidt:

$$V \frac{dE_i}{d\tau} = B + \dot{V} E_e - \dot{V} E_i - \Phi_E \tag{1}$$

3 Warmtebalans

Bij een warmtebalans is E gelijk aan de hoeveelheid warmte J/m^3 , dus $E = \rho c T$ in J/m^3 en de bron B de warmteproductie W in Watt (= J/s). T is de temperatuur in K of °C.

De grootheid ρc is de warmtecapaciteit van de lucht in $J/m^3 K$.

Aan de warmteproductie kunnen verschillende bronnen bijdragen. Deze zijn bij voorbeeld een eventuele verwarming of koeling (een negatieve bijdrage), de toetredende zonnearmte in de ruimte en verdampingswarmte of condensatiewarmte van water.

Met Φ_E wordt nu de hoeveelheid warmte bedoeld, die in de wanden wordt geaccumuleerd en daarna door geleiding (diffusie) naar buiten of naar een andere ruimte wordt afgevoerd. De geaccumuleerde warmte in de wanden speelt alleen een rol als een niet-stationaire toestand wordt beschouwd en de wanden een grote warmtecapaciteit hebben.

Als de wand of een deel van de wand een zeer geringe warmtecapaciteit heeft (bij voorbeeld het glas in een raam) ten opzichte van de overige wanden is het warmtetransport door dit deel als bijna stationair op te vatten en wordt het warmtetransport alleen door geleiding bepaald en is de warmteweerstand van de wand of de U -waarde maatgevend voor de grootte van de warmtestroomdichtheid.

Voor het warmtetransport wordt balans (1) dus:

$$V \frac{d\rho c T}{d\tau} = W + \dot{V} \rho c T_e - \dot{V} \rho c T_i - \Phi_E \tag{2a}$$

óf omdat de dichtheid ρ van de lucht en soortelijke warmtecapaciteit c constant worden verondersteld, wordt (2a):

$$\rho c V \frac{dT}{dt} = W + \dot{V} \rho c T_e - \dot{V} \rho c T_i - \Phi_E \quad (2b)$$

4 Ventilatievoud n

Op de precieze totstandkoming van de ventilatie zal in deze module niet worden ingegaan. Er wordt vanuit gegaan, dat er op een of andere manier een ventilatiestroom aanwezig is.

Er zal worden volstaan met de beschrijving van de ventilatie aan de hand van het zogenaamde ventilatievoud (n), dat als volgt wordt gedefinieerd :

$$n = \frac{\text{volumestroom verse buitenlucht in } m^3 / s}{\text{volume van de beschouwde ruimte in } m^3} \left[\frac{1}{s} \right]$$

Hiermee wordt de ventilatiestroom \dot{V} : $\dot{V} = nV$, dus voor de warmtebalans (2b) kan geschreven worden:

$$\rho c V \frac{dT}{dt} = W - nV \rho c (T_i - T_e) - \Phi_E \quad (2c)$$

5 Vochtbalans

Bij een vochtbalans is E gelijk aan c in kg/m³ of m³/m³ en de bron B aan G in kg/s of m³/s. Formule (1) gaat dan over in:

$$V \frac{dc_w}{dt} = G + \dot{V} c_{we} - \dot{V} c_{wi} - \Phi_E \quad (3)$$

Of ook :

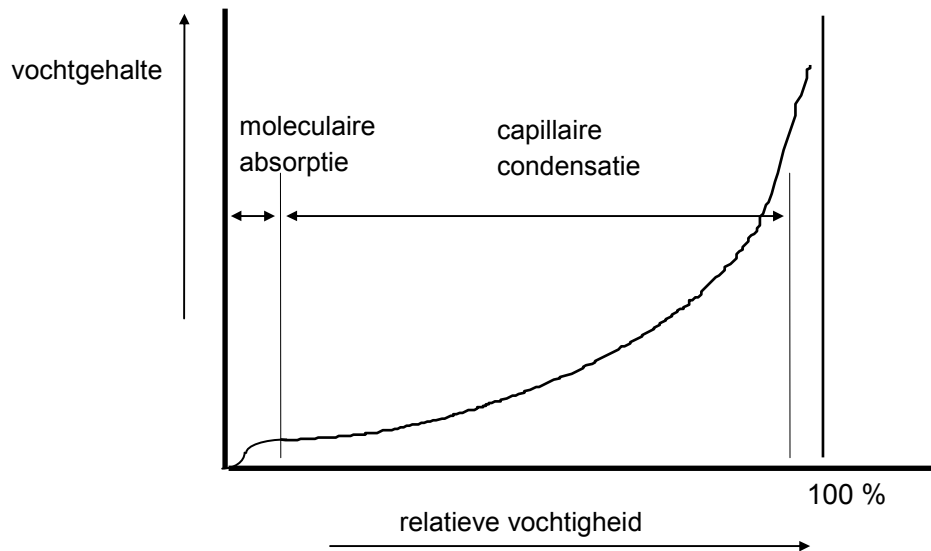
$$V \frac{dc_w}{dt} = G + nV c_{we} - nV c_{wi} - \Phi_E \quad (4)$$

Ook hier wordt met Φ_E de hoeveelheid vocht bedoeld, die in de wanden wordt geaccumuleerd en daarna eventueel door diffusie naar buiten of naar een andere ruimte wordt afgevoerd. Het geaccumuleerde vocht speelt alleen een rol als een niet-stationaire toestand wordt beschouwd. Voor een kort tijdsinterval is geen directe transmissie door de wand naar de andere zijde van de wand, zodat de vochtweerstand geen rol speelt.

In een stationair veronderstelde toestand treedt wel diffusie door de wand naar de andere zijde op. Over het algemeen is de vochtdiffusie door de wand veel en veel kleiner dan de hoeveelheid vocht die door ventilatie wordt afgevoerd en kan over het algemeen worden verwaarloosd.

Vochtaccumulatie in de wand ontstaat door opname van waterdamp door poreuze materialen. Plaatst men een poreus materiaal in een lucht met een zeker vochtgehalte dan kan in de kleine poriën capillaire condensatie optreden, doordat in een capillair de verzadigde waterdampspanning verlaagd is.

Figuur 4 laat het zogenaamde evenwichtsvochtgehalte zien van een materiaal. Deze hangt af van de relatieve vochtigheid van de aangrenzende lucht. De relatieve vochtigheid is de verhouding van de waterdampconcentratie in de lucht (c_{wi}) en de bij de luchttemperatuur maximaal mogelijke (verzadigings)concentratie van waterdamp. Bij de verzadigingsconcentratie is sprake van mistvorming.



Figuur 4. Verloop van het evenwichtsvochtgehalte in een materiaal als functie van de RV van de aangrenzende lucht

Bij lage relatieve luchtvochtigheid worden door adhesiekrachten de watermoleculen uit de lucht aan de poriën wanden gebonden (moleculaire absorptie). Bij toeneming van de relatieve luchtvochtigheid treedt capillaire condensatie op. Bij zeer hoge luchtvochtigheid (>90 %) loopt de kromme zeer steil; het materiaal raakt verzadigd. De helling van de kromme is afhankelijk van de poriënverdeling en dus van de soort materiaal. In deze module zal hier niet op worden ingegaan en wordt verwezen naar de literatuur [1]. In tegenstelling tot de accumulatie van warmte kan het opnameproces bij waterdamp dus niet oneindig lang voortduren in verband met verzadiging.

Bij kortdurende vochtproducties in een ruimte kan voor het materiaal een (constant veronderstelde) absorptiecoëfficiënt a_{vocht} worden ingevoerd [2], die de opname van de waterdamp van de wand beschrijft. De vochtstroombichtheid naar de wand wordt dan geschreven als:

$$g_w = a_{\text{vocht}} (c_i(\tau) - c_0)$$

Waarin:

$c_i(\tau)$ vochtconcentratie van de ruimtelucht op een zeker tijdstip τ
 c_0 vochtconcentratie van de ruimtelucht op tijdstip $\tau = 0$

Voor de eenvoud bekijken we de oplossing van (4) voor wanden die geen vocht opnemen of doorlaten.

De differentiaalvergelijking (4) wordt dan:

$$V \frac{dc_{wi}}{d\tau} = G + nVc_{we} - nV c_w \quad (5a)$$

Met op $\tau = 0$: $c_{wi}(\tau = 0) = c_{we}$

Bij deze randvoorwaarde wordt de oplossing:

$$c_{it} = c_{we} + \frac{G}{nV} (1 - e^{-n \cdot \tau}) \quad (5b)$$

In stationaire toestand (\rightarrow oneindig) wordt (5b):

$$nV(c_{wi} - c_{we}) = G \quad (6)$$

$$\text{Dus: } c_{wi} = c_{we} + \frac{G}{nV} \quad (7)$$

Wanneer het ventilatievoud bekend en constant is, zijn dus in stationaire toestand de optredende binnenluchttemperatuur, de relatieve luchtvochtigheid, enz. op eenvoudige wijze te berekenen. Ook omgekeerd kan uit een vereiste binnenluchttemperatuur bij bekende buitenluchttemperatuur het benodigde ventilatievoud worden berekend.

LITERATUUR

1. Tammes, E en B.H. Vos, Warmte- en vochttransport in bouwconstructies, Kluwer Technische Boeken BV, Deventer-Antwerpen, 1980.
2. Künzel, H., Die Feuchtigkeitsabsorption von Innenoberflächen und Inneneinrichtungen. Berichte aus der Bauforschung, Heft 42, W. Ernst & Sohn, Berlin, 1965.