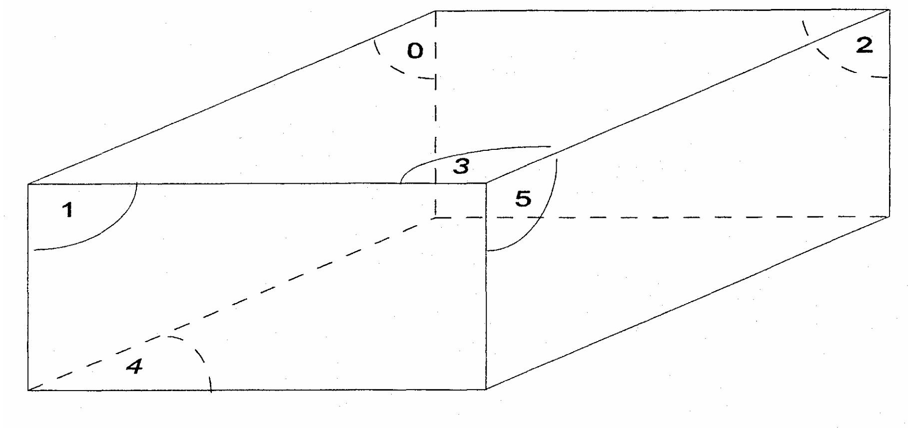
Stralingstemperatuur

Kennisbank Bouwfysica
Dictaat ct4220 Bouwfysica II, TU-Delft Faculteit Civiele Techniek en Geowetenschappen, samengesteld door prof.ir. J.J.M. Cauberg

1 Berekenen stralingstemperatuur

Voor het berekenen van de gemiddelde stralingstemperatuur op een bepaalde plaats in een vertrek heeft men zichtfactoren nodig voor een punt (bolvormig elementje) ten opzichte van een vlak. Onder andere voor het bepalen van de thermische behaaglijkheid is de gemiddelde stralingstemperatuur van belang. De gemiddelde stralingstemperatuur is gedefinieerd als de temperatuur van een fictief, “zwart” vlak (ε = 1) dat het te beschouwen punt (vlak) geheel omsluit (ϕ = 1), waarbij de totale warmtestroom door straling die het te beschouwen punt of vlak ontvangt, gelijk is aan die in de werkelijke situatie.

Als voorbeeld dient een van de wanden van een vertrek. Deze wordt geheel door de andere omsloten (zie figuur 1).



figuur 1. de zes wanden van een vertrek

De emissiecoëfficiënt voor alle vlakken wordt ε = 1 genomen (“zwart”).
De warmteoverdracht van vlak 1 naar de overige wanden is:

$$q_{tot} = \sigma . A_1 . \sum_{i=2}^{n=6} \phi_{1i} . (T_1^4 - T_i^4) \tag{1}$$

Hierin is:

A_1	oppervlakte van vlak 1 in m^2
φ_{1i}	zichtfactoren van vlak 1 t.o.v. de overige vlakken i
T_i	temperatuur van de verschillende vlakken in K
T_1	temperatuur van vlak 1 in K

Nu worden de vijf wanden van het vertrek vervangen door één fictief “zwart” vlak met een temperatuur T_s dat eveneens vlak 1 aan de binnenzijde zodanig omsluit, dat de totale netto warmtestroom van 1 naar dit fictieve vlak gelijk is aan de warmtestroom van 1 naar de 5 werkelijke wanden.

T_s stelt hierbij de gemiddelde stralingstemperatuur voor. De zichtfactor van vlak 1 naar dit fictieve vlak is gelijk aan 1, zodat:

$$q_{tot} = \sigma A_1 .1. \left(T_1^4 - T_s^4\right) \qquad (2)$$

Gelijkstellen van de vergelijkingen (1) en (2), waarbij door $\sigma.A_1$ kan worden gedeeld, levert op:

$$T_1^4 - T_s^4 = (\phi_{12} + \phi_{13} + \phi_{14} + \phi_{15} + \phi_{16}).T_1^4 - \phi_{12}T_2^4 - \phi_{13}T_3^4 - \phi_{14}T_4^4 - \phi_{15}T_5^4 - \phi_{16}T_5^6$$

Omdat de resterende 5 wanden vlak 1 geheel omsluiten, is de som van de zichtfactoren $\sum \varphi_{1i} = 1$ en volgt hieruit voor T_s:

$$T_s^4 = \phi_{12}T_2^4 + \phi_{13}T_3^4 + \phi_{14}T_4^4 + \phi_{15}T_5^4 + \phi_{16}T_6^4 \qquad (3)$$

Substitutie van de gemiddelde stralingstemperatuur uit (3) in (2) levert de totale warmtestroom door straling. Vergelijking (3) is voor relatief lage temperaturen te lineariseren door van Kelvin over te gaan op graden Celcius.

Omzetten van de temperatuur van Kelvin in graden Celsius middels substitutie van $t_i = T_i - 273$, i=2..6 in (3) levert na deling door 273^4 en verwaarlozing van hogere graadstermen in (t_s /273).

$$t_s = \phi_{12}t_2 + \phi_{13}t_3 + \phi_{14}t_4 + \phi_{15}t_5 + \phi_{16}t_6 \qquad (4)$$

Met:

t	temperatuur in ^{o}C

De uitdrukkingen (3) en (4) die zijn afgeleid voor een vlak dat geheel omgrensd is door zwarte vlakken, kunnen ook toegepast worden bij de berekening van de stralingsuitwisseling tussen een voorwerp dat geheel door andere omsloten wordt, bij voorbeeld door een oven in een ruimte of een menselijk hoofd in een vertrek.

Hoewel de formules zijn afgeleid voor zwarte vlakken $\varepsilon = 1$, bieden ze ook voldoende nauwkeurigheid voor andere vlakken, mits het merendeel van de wanden als overwegend zwart kan worden beschouwd ($\varepsilon \geq 0{,}85$)

In gevallen met zeer kleine verschillen tussen de diverse wandtemperaturen, zoals bij inpandige ruimten, kan men de gemiddelde stralingstemperatuur ook redelijk benaderen door de wandtemperaturen eenvoudig naar oppervlak te middelen.

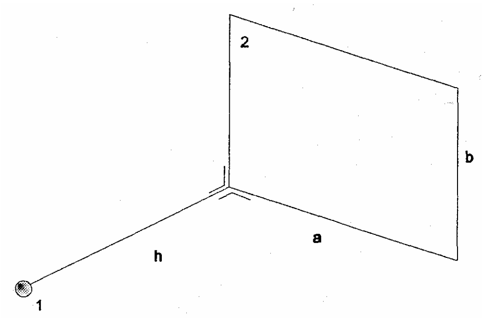
$$t_s = \frac{\sum_j A_j .t_j}{\sum_j A_j} \qquad (5)$$

Echter, zodra er een vlak met een sterk afwijkende temperatuur (ΔT>10 [^{o}C] zich dichtbij het punt of vlak bevindt waarvoor de stralingstemperatuur wordt bepaald, gaat dit niet meer op. In deze definitie (5) is de gemiddelde stralingstemperatuur onafhankelijk van de plaats van het

ontwerp, wat principieel onjuist is. Immers, het maakt uit of men dichtbij of ver van een koud raam af staat.
Voor het bepalen van de gemiddelde stralingstemperatuur op een willekeurige plaats in een vertrek kan men zich in dat punt een bol-oppervlak van willekeurig kleine afmetingen voorstellen, dat warmtestraling uitwisselt met alle wanden van het vertrek. Ook voor zo'n bolvormig elementje (punt) respectievelijk een oneindig klein vlakje zijn zichtfactoren afgeleid.

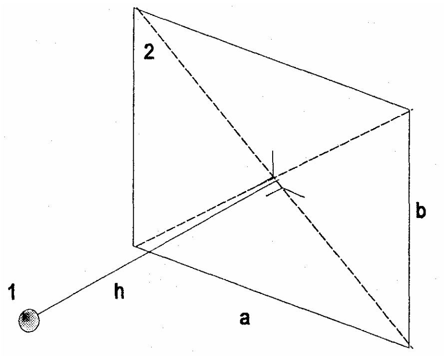
De figuren 2 t/m 5 geven voor verschillende situaties de formules voor φ_{12} weer.

Voor punten of oppervlakte-elementjes die niet precies boven het hoekpunt van een rechthoekig vlak zijn gelegen, kan de zichtfactor analoog aan de in figuur 1 (zie module W-14; "Het bepalen van zichtfactoren") gegeven methode worden bepaald uit de geometrische factoren van een aantal hulpvlakken.



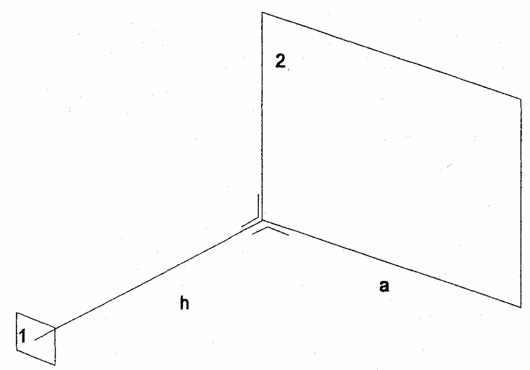
$$\varphi_{12} = \frac{1}{4\pi}.arctg\frac{a.b}{h.\sqrt{a^2+b^2+h^2}}$$

figuur 2. bolvormig elementje (punt) gelegen boven een hoek van een rechthoekig vlak



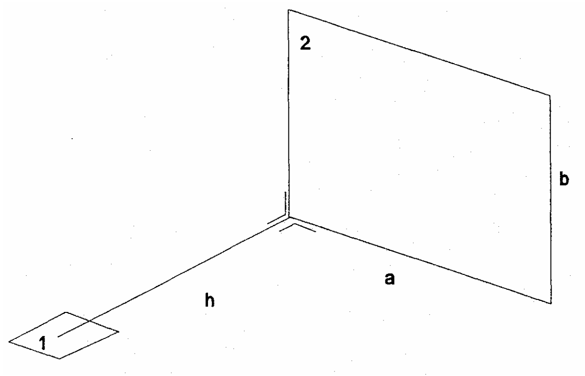
$$\varphi_{12} = \frac{1}{\pi}.arctg\frac{\frac{a}{2h}.\frac{b}{2h}}{\sqrt{\left(\frac{a}{2h}\right)^2+\left(\frac{b}{2h}\right)^2+1}}$$

figuur 3. bolvormig element midden boven vlak



$$\varphi_{12} = \frac{1}{2\pi}\left[\frac{\frac{a}{h}}{\sqrt{\left(\frac{a}{h}\right)^2+1}}arctg\frac{\frac{b}{h}}{\sqrt{\left(\frac{a}{h}\right)^2+1}} + \frac{\frac{b}{h}}{\sqrt{\left(\frac{b}{h}\right)^2+1}}arctg\frac{\frac{a}{h}}{\sqrt{\left(\frac{b}{h}\right)^2+1}}\right]$$

figuur 4. evenwijdig vlakje boven hoek



$$\varphi_{12} = \frac{1}{2\pi}\left[arctg\,\frac{b}{h} - \frac{1}{\sqrt{\left(\frac{a}{h}\right)^2 + 1}}\, arctg\,\frac{b}{\sqrt{a^2 + h^2}} \right]$$

figuur 5. vlakje loodrecht boven hoek ander vlak