

Rookdichtheid en zichtlengte

Toepassingsvoorbeeld fysisch brandmodel

Kennisbank Bouwfysica

Auteur: ir. Ruud van Herpen

1 Rekenformules rookdichtheid en zichtlengte

In de module 'Rookdichtheid en zichtlengte' van de Kennisbank Bouwfysica zijn de rekenformules afgeleid voor de bepaling van de rookdichtheid en zichtlengte in een brandruimte. Voor een stationaire situatie (constant brandvermogen, geen rookbuffering) kan worden geschreven:

$$\text{Zichtlengte} \quad Z_L = \frac{1,3}{RD} \quad [\text{m}] \quad (1)$$

$$\text{Rookdichtheid} \quad RD = \frac{\dot{Z}}{\dot{V}} \quad [\text{m}^{-1}] \quad (2)$$

Met:

$$\text{Zichtmassastroom} \quad \dot{Z} = R \cdot \dot{M}_F \quad [\text{m}^2/\text{s}] \quad (3)$$

$$\text{Massastroom verbrande brandstof} \quad \dot{M}_F = \frac{\dot{E}_{rook}}{U_F} \quad [\text{kg/s}] \quad (4)$$

2 Voorbeeld stationaire cellulosebrand

2.1 Uitgangspunten en randvoorwaarden

Als uitgangspunt wordt in dit voorbeeld een stationaire cellulosebrand met 2 MW convectief brandvermogen aangehouden:

Rookpotentieel	$R=100$	$[\text{m}^2/\text{kg}]$ voor een cellulosebrand
Vermogen in de rook	$\dot{E}_{rook}=2$	$[\text{MW}]$ (convectief brandvermogen)
Verbrandingswaarde brandstof	$U_F=17$	$[\text{MJ}/\text{kg}]$ voor een cellulosebrand

De volumestromen van en naar de brandruimte (toevoer van verbrandingslucht en afvoer van verbrandingsgassen) zijn niet bekend. Het brandvermogen en de massastroom verbrande brandstof zijn wel bekend. Uit de stochiometrische constanten van de verbrandingsvergelijking kan de massastroom toevoerlucht worden vastgesteld en vervolgens ook de volumestroom toevoerlucht (wanneer de dichtheid bekend is).

Uitgaande van de fictieve cellulosebrandstof $C_4H_6O_3$ zijn de stochiometrische constanten:

Brandstof (F)	$n_F = 1$
Zuurstof (O_2)	$n_{O_2} = 4$
Massaverhouding O_2/F	$s = 1,25$

Lucht bevat 23,3% (m/m) zuurstof. Dus:

Massaverhouding Lucht/F $s = 5,365$

De massastroom toevoerlucht is dus een factor 5,365 maal zo groot als de massastroom verbrande brandstof, in formulevorm:

$$\dot{M}_{lucht} = 5,365 \cdot \dot{M}_F \quad [\text{kg/s}]$$

De volumestroom kan uit de massastroom worden bepaald aan de hand van de dichtheid van de massastroom. De dichtheid van een lucht/rook mengsel volgt uit::

$$\rho = \frac{353}{T} \quad [\text{kg/m}^3], \text{ waarin } T \text{ de absolute temperatuur in [K] voorstelt.}$$

De volumestroom toevoerlucht bedraagt dus:

$$\dot{V}_{lucht} = \frac{T}{353} \cdot 5,365 \cdot \dot{M}_F \quad [\text{m}^3/\text{s}] \quad (6)$$

Voor omgevingslucht van 20 °C is de absolute temperatuur $T = 293$ K.

2.2 Uitwerking voorbeeld

Door substitutie van (3) en (4) in (2) kan de formule voor de rookdichtheid als volgt worden geschreven:

$$RD = \frac{R \cdot \dot{E}_{rook}}{\dot{V}_{lucht} \cdot U_F} \quad [\text{m}^{-1}] \quad (7)$$

Hierin kan ook (6) nog worden verwerkt:

$$RD = \frac{353 \cdot R \cdot \dot{E}_{rook}}{T \cdot 5,365 \cdot \dot{M}_F \cdot U_F} \quad [\text{m}^{-1}]$$

$$RD = \frac{353 \cdot R}{T \cdot 5,365} \quad [\text{m}^{-1}] \quad (8)$$

Met $R=100$ en $T=293$ wordt de rookdichtheid dus:

$$RD = 22,456 \quad [\text{m}^{-1}]$$

Merk op dat de rookdichtheid onafhankelijk is geworden van het brandvermogen. Dit wordt veroorzaakt door het uitgangspunt dat de massastroom verbrande brandstof correspondeert met het brandvermogen. Dit geldt dan dus ook voor de volumestroom toevoerlucht, zie formule (6).

Bij ventilatiebeheerste branden (compartimentsbranden) is dit uitgangspunt alleen correct bij het verbrandingsmodel *extended combustion*, zij het dat in de stochiometrische constanten van volledige verbrandingsproducten is uitgegaan (conform het fysisch brandmodel). Bij brandstofbeheerste branden is er een overmaat aanwezig in de volumestroom toevoerlucht en gaat formule (6) dus niet op. In dat geval zal de rookdichtheid kleiner zijn dan de berekende waarde.

Wanneer wordt uitgegaan van zwarte rook mag formule (1) worden toegepast en bedraagt de zichtlengte:

$$Z_L = 0,058 \text{ [m]}$$

Voor lichtgevende voorwerpen is de zichtlengte groter:

$$Z_L = 0,134 \text{ [m]}$$

Je ziet dus letterlijk geen hand voor ogen!

Opmerking:

In veel CFD-software wordt de zichtlengte bepaald aan de hand van de massa vaste deeltjes (aerosolen en roet) in de rook. Doorgaans kan worden gesteld dat deze massastroom 1% bedraagt van de massastroom verbrande brandstof (cellulosebrand). Dus:

$$\dot{M}_{\text{deeltjes}} = 0,01 \cdot \dot{M}_F \quad [\text{kg/s}]$$

In plaats van het rookpotentieel moet nu de grootheid K_m (mass extinction coefficient) worden toegepast:

$$K_m = 100 \cdot R$$

Formule (7) wijzigt dan in (9):

$$RD = \frac{K_m \cdot \dot{M}_{\text{deeltjes}}}{\dot{V}_{\text{lucht}}} \quad [\text{m}^{-1}] \quad (9)$$

In dit voorbeeld met een rookpotentieel van 100 leidt dat tot een mass extinction coefficient van $K_m = 10000$. De massastroom verbrande brandstof bedraagt 0,118 kg/s, dit leidt tot een massastroom deeltjes van $\dot{M}_{\text{deeltjes}} = 1,18 \text{ g/s}$.
