

## Formuleblad Stoomketels OTEP

De DIN Norm 1942 rekt altijd met de volgende waarden:

Soortelijke warmte water	$C_w$	=	4,19 kJ/(kg·K)
Soortelijke warmte stoom	$C_d$	=	1,86 kJ/(kg·K)
Soortelijke warmte lucht	$C_l$	=	1,005 kJ/(kg·K)
Soortelijke warmte rookgas	$C_g$	=	1,0 kJ/(kg·K)
Soortelijke warmte aardgas	$C_a$	=	2,2 kJ/(kg·K)
Richttemperatuur	$t_r$	=	25 °C
Soortelijke warmte vlieggas	$C_{vlieg}$	=	0,84 kJ/(kg·K)
Soortelijke warmte slak	$C_{slak}$	=	1 kJ/(kg·K)
Stookwaarde CO→CO <sub>2</sub>	$\Delta H_{CO}$	=	12,633 MJ/m <sup>3</sup>
De k factor	$k$	=	0,0113

- Het schoorsteenverlies:

$$\dot{Q}_{sv} = \dot{m}_g \cdot c_g \cdot (t_g - t_r) \quad [kW]$$

- Het stralingsverlies:

$$\dot{Q}_{straling} = k \cdot \dot{Q}_{toe}^{0,7} \quad [kW]$$

- Het verlies door onverbrand:

$$\dot{Q}_{CO} = \dot{V}_g \cdot \left( \frac{\text{vol \% CO}}{100} \right) \cdot H_{CO} \quad [kW]$$

- Het verlies met de slak:

$$\dot{Q}_{slak} = \dot{m}_{slak} \cdot c_{slak} \cdot (t_{slak} - t_r) \quad [kW]$$

- Het verlies met het vlieggas:

$$\dot{Q}_{vlieg} = \dot{m}_{vlieg} \cdot c_{vlieg} \cdot (t_{vlieg} - t_r) \quad [kW]$$

- Het verlies met het spuiwater:

$$\dot{Q}_{spui} = \dot{m}_{spui} \cdot (h_{spui} - h_{voedingwater}) \quad [kW]$$

- De toegevoerde energie aan de ketel:

$$\dot{Q}_{toe} = \dot{m}_b \cdot H_o + \dot{m}_b \cdot c_b \cdot (t_b - t_r) + \dot{m}_b \cdot M_{lpr} \cdot c_l \cdot (t_l - t_r) + P_{circpomp} \quad [kW]$$

- De stralingswarmte:

$$\dot{Q}_{straling} = c_{straling} \cdot BO \cdot \left\{ \left( \frac{T_{vuurhaard}}{100} \right)^4 - \left( \frac{T_{pijpwand}}{100} \right)^4 \right\} \quad [kW]$$

- De convectiewarmte:

$$\dot{Q}_{convectie} = \dot{m}_b \cdot M_{lpr} \cdot c_g \cdot t_v \quad [kW]$$

- Het eenvoudige rendement:

$$\eta_k = \frac{\dot{m}_s \cdot (h_{os} - h_{vw})}{\dot{m}_b \cdot H_o} \cdot 100 \%$$

- Het rendement volgens de directe methode:

$$\eta_{direct} = \left( \frac{\dot{Q}_{opgenomen}}{\dot{Q}_{toe}} \right) \cdot 100\%$$

- Het rendement volgens de indirecte methode:

$$\eta_{indirect} = \left( 1 - \frac{\dot{Q}_{verlies}}{\dot{Q}_{toe}} \right) \cdot 100\%$$

- De Stookwaarde van het afval:

$$H_0 = 340 \cdot \%C + 1440 \cdot \left( \%H - \frac{\%O_2}{8} \right) + 105 \cdot \%S - 25 \cdot (9 \cdot \%H + \%H_2O) \quad [kJ / kg]$$

- De hoeveelheid benodigde lucht:

$$M_{lpr} = \lambda \cdot \frac{1}{23} \cdot \left\{ \frac{8}{3} \cdot \%C + 8 \cdot \left( \%H - \frac{\%O_2}{8} \right) + \%S \right\} \quad [\text{kg lucht/kg afval}]$$

- De luchtfactor:

$$\lambda = \frac{20,95}{20,95 - \%O_{2\text{gemeten}}}$$

- Toegepaste formules in de warmteleer:

$$\dot{Q} = 2 \cdot \pi \cdot l \cdot \lambda \cdot \left( \frac{t_1 - t_2}{\ln \frac{R_2}{R_1}} \right) \quad [kW]$$

$$t_1 - t_4 = \frac{\dot{Q}}{A} \cdot \left( \frac{1}{\alpha_i} + \frac{\delta}{\lambda} + \frac{1}{\alpha_u} \right) \quad [^\circ\text{C of K}]$$

$$\frac{\dot{Q}}{A} = \frac{1}{\left( \frac{1}{\alpha_i} + \frac{\delta}{\lambda} + \frac{1}{\alpha_u} \right)} \cdot (t_1 - t_4) \quad [kW / m^2]$$

$$k = \frac{1}{\left( \frac{1}{\alpha_{in}} + \frac{\delta}{\lambda} + \frac{1}{\alpha_{uit}} \right)} \quad [W / (m^2 \cdot K)]$$

$$\dot{V}_{\text{werkelijk}} = \dot{V}_0 \cdot \frac{273 + t_{\text{werkelijk}}}{273} \cdot \frac{p_0}{p_{\text{werkelijk}}} \quad [m^3 / s]$$

$$\Delta T_{\text{gem}} = \frac{\Delta T_{\text{max}} - \Delta T_{\text{min}}}{\ln \frac{\Delta T_{\text{max}}}{\Delta T_{\text{min}}}} \quad [K]$$

$$\dot{Q} = k \cdot A \cdot \Delta T_{\text{gem}} \quad [kW]$$

$$q = \frac{\dot{Q}}{BO} \quad [kW / m^2]$$

Voor de circulatiedruk van de ketel geldt:

$$(H \cdot g \cdot \rho_{\text{stijgpijp}}) + \Delta p_{\text{weers tandstijgpijp}} = (H \cdot g \cdot \rho_{\text{valpijp}}) - \Delta p_{\text{weers tandvalpijp}}$$

$$p_{\text{circulatie}} = H \cdot g \cdot (\rho_{\text{valpijp}} - \rho_{\text{stijgpijp}}) \quad [N / m^2]$$

De Wet van Poisson:

$$p_1 \cdot V_1^n = p_2 \cdot V_2^n$$

$$p_2 = p_1 \cdot \left( \frac{T_1}{T_2} \right)^{\frac{n}{1-n}}$$

Continuïteitsvergelijking

$$\dot{m}_s \cdot v_s = A \cdot c \cdot \mu$$

$$c = \sqrt{\frac{2 \cdot \Delta p}{\rho}} \quad m / s$$

Voor c in de continuïteitsvergelijking wordt ook de v gebruikt.

Gemiddelde waarde voor $\alpha$ in $W / (m^2 \cdot K)$	
Rookgassen naar staal	40
Rookgassen naar roet	23
Staal naar water	5800-10000 ( 7000 )
Staal naar stoom	300-400 ( 350 )
Ketelsteen naar water	5800-10000 ( 7000 )
Staal naar lucht	12

Tabel 1. Gemiddelde waarde voor  $\alpha$ .

Gemiddelde waarde voor $\lambda$ in $W / (m \cdot K)$	
Staal	40
Ketelsteen	1,4
Roet	0,17
Lucht	0,025

Tabel 2. Gemiddelde waarde voor  $\lambda$ .

Grootheid	Symbool	Eenheid
Oppervlak	A	m <sup>2</sup>
Stralingsconstante	c <sub>str</sub>	W/(m <sup>2</sup> ·K <sup>4</sup> )
Soortelijke warmte bij constante druk	c	kJ/(kg·K)
Massa	m	kg
Massastroom per tijdseenheid	$\dot{m}$	kg/s
Volume	V	m <sup>3</sup>
Volumestroom per tijdseenheid	$\dot{V}$	m <sup>3</sup> /s
Warmtestroom per tijdseenheid	$\dot{Q}$	kW of kJ/s
Warmtestroom per tijdseenheid en per vierkante meter	q	kW/m <sup>2</sup>
Temperatuur in °C	t	°C
Temperatuur in Kelvin	T	K
Warmteoverdrachtcoëfficiënt	$\alpha$	W/(m <sup>2</sup> ·K)
Wanddikte	$\delta$	m
Warmtegeleidingscoëfficiënt	$\lambda$	W/(m·K)
Warmtedoorgangcoëfficiënt	k	W/(m <sup>2</sup> ·K)
Normaal kubieke meter		m <sup>3</sup> of Nm <sup>3</sup>
Vermogen	P	kW
Arbeid	W	Nm
Snelheid	v	m/s
Contractiefactor	$\mu$	Dimensieloos
Specifiek volume	v	m <sup>3</sup> /kg
Dichtheid	$\rho$	kg/m <sup>3</sup>
Dichtheid bij normaalconditie	$\rho_0$	kg/m <sup>3</sup>
Enthalpie	h	kJ/kg
Entropie	s	kJ/(kg·K)
Relatieve stoomsnelheid	w	m/s
Absolute stoomsnelheid	c	m/s
Omtreksnelheid	u	m/s
Diameter	D	m
Straalbuiscoëfficiënt	$\varphi$	dimensieloos
Loopschoepcoëfficiënt	$\psi$	dimensieloos
Reactiegraad	R	dimensieloos
Theoretische warmteval	$\Delta h_0$	kJ/kg
Rendement	$\eta$	%