

Stoomketels OTEP Oefenvragen (ter voorbereiding Examen)

- Dit is niet representatief voor het examen.

Vraag 1.

Bij de verbranding van afval kunnen we het proces in 4 zones indelen. Wat is de juiste volgorde van deze zones?

Vraag 2.

Wat is in het algemeen de juiste hoeveelheid primaire lucht als we afval op een rooster verbranden?

Vraag 3.

Bereken de luchtfactor als het zuurstofpercentage in het natte rookgas, vlak na de ketel, 6 vol% bedraagt.

Vraag 4.

Gegeven:

Van een bepaalde soort afval is de volgende gemiddelde samenstelling bekend:

-	Massa % Koolstof	23,67 % C
-	Massa % Waterstof	4,5 % H
-	Massa % Zwavel	0,1 % S
-	Massa % Zuurstof	18 % O
-	Massa % Water	30 % H ₂ O

Het gemeten zuurstof percentage, nat, na de ketel, is 7 vol %.

Gevraagd:

Bereken de hoeveelheid lucht die praktisch, per kilogram afval, toegevoerd moet worden, om te voldoen aan volledige verbranding en 7 vol % zuurstof in het natte rookgas bij verlaten ketel.

Vraag 5.

- Noem alle functies van de ontgasser,
- Noem het gewenste zuurstofpercentage in de ontgasser.
- Noem de boven- en ondergrenzen van het zuurstofgehalte en de gevolgen.

Vraag 6.

Van een oververhitter (ovo) die in een ketel in **zuivere meestroom** is geplaatst, is het volgende gegeven:

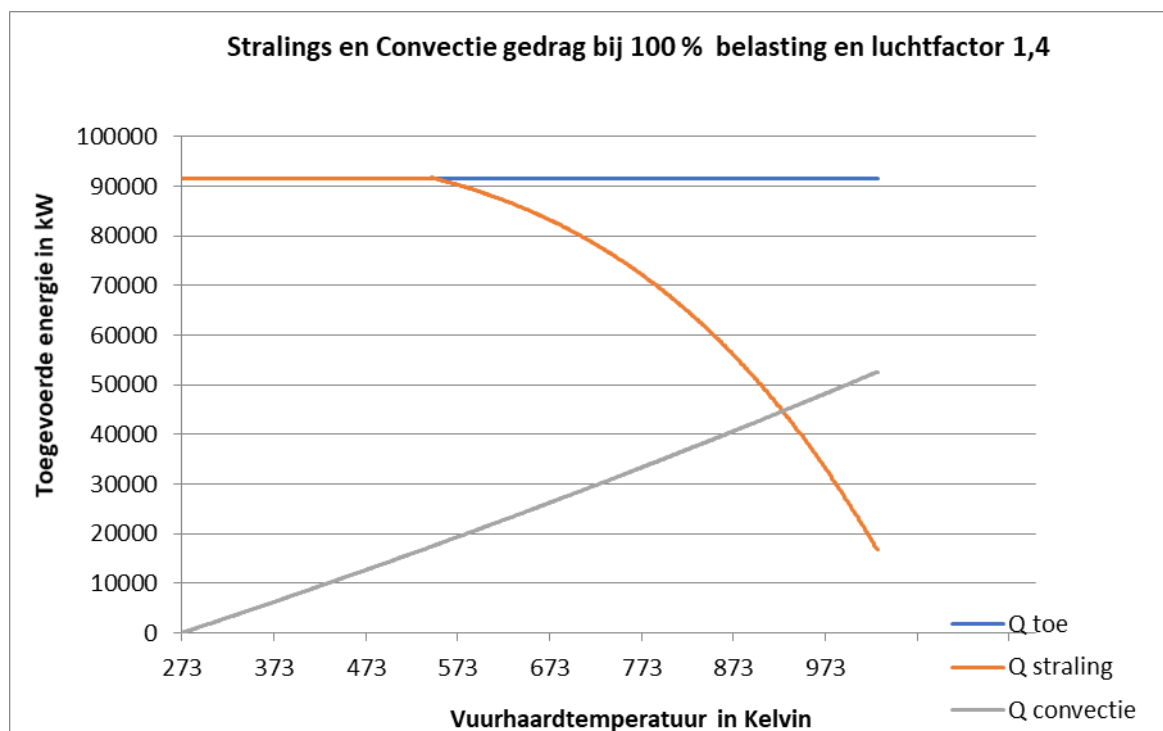
T_1	= Rookgastemperatuur intrede ovo	600 °C
T_2	= Rookgastemperatuur uittrede ovo	530 °C
T_3	= Stoomtemperatuur intrede ovo	310 °C
T_4	= Stoomtemperatuur uittrede ovo	410 °C
δ	= Wanddikte pijp	10 mm.
λ	= Warmtegeleiding coëfficiënt staal	50 W/(m·K)
α_2	= Warmteoverdracht staal – stoom	410 W/(m ² ·K)
α_1	= Warmteoverdracht rookgas – staal	30 W/(m ² ·K)
m_s	= massa stoom per seconde	40 kg/s
p	= Stoomdruk	50 bara
Δp	= Drukval over de OVO	2 bara

Gevraagd:

- Bereken de k waarde van de oververhitter.
- Bereken het oppervlak van de oververhitter
- Bereken de wand temperatuur rookgaszijdig waar de rookgassen een temperatuur van 550 °C hebben en de stoomtemperatuur 325 °C bedraagt.

Vraag 7.

Gegeven is een verbrandingsdiagram van Professor A.J. Terlinde. Het diagram is getekend bij volle ketelbelasting en een luchtfactor van 1,4.



Gevraagd:

Als de ketelbelasting wordt vergroot naar een waarde die praktisch toepasbaar is, wat is dan het gevolg hiervan op de vuurhaardtemperatuur?

Vraag 8.

Van een ketel is het volgende gegeven.

De ketel levert 85 ton oververhitte stoom per uur.

Stoomcondities	:	p_{os}	=	40 bara	
		t_{os}	=	420 °C	
		\dot{m}_s	=	85 ton/uur	
		Drumdruk	=	44 bara	
		VV	=	3	
Voedingwater condities	:	t_{vw}	=	140 °C	
		p_{vw}	=	46 bara	
Spuiwater	:	\dot{m}_{spui}	=	2 ton/uur	
Afval	:	c_b	=	2 kJ/(kg·K)	
		t_b	=	50 °C	
Lucht	:	t_l	=	30 °C	
		p_l	=	1 bara	
		λ	=	1,7	
Slak	:	\dot{m}_{slak}	=	$0,25 \cdot \dot{m}_b$	kg/s
		t_{slak}	=	500 °C	
Vliegias	:	$\dot{m}_{vliegias}$	=	$0,03 \cdot \dot{m}_b$	kg/s
		$t_{vliegias}$	=	180 °C	
Rookgastemperatuur	:	t_g	=	250 °C	
CO percentage	:	%CO	=	0,01 %	
Stookwaarde	:	H_0	=	11.190 kJ/kg	

Gevraagd:

Bereken het ketelrendement volgens de eenvoudige manier

Vraag 9.

Wat is ten aanzien van de standtijd en levensduur de maximale rookgastemperatuur bij intrede convectiegedeelte?

Vraag 10.

Als de druk van de ontgasser ingesteld staat op 0,35 MPa, met welke temperatuur moet dan, bij een juiste bedrijfsvoering, het condensaat aangevoerd worden?

Vraag 11.

Van afval is de volgende samenstelling bekend:

Massa % C = 23 %

Massa % H = 5%

Massa % S = 0,3%

Massa % O₂ = 20%

Massa % H₂O = 25 %

Bereken de stookwaarde van het afval, en de verbrandingswaarde van het afval.

Vraag 12.

Wat wordt verstaan onder de stookwaarde? (volledig omschreven)

Vraag 13.

Op een bepaalde plaats in de economizer bedraagt de voedingwatertemperatuur 138 °C. Hoe hoog is deze temperatuur ongeveer rookgaszijdig, en treedt hier lage temperatuur corrosie op?

Vraag 14.

Wat doet het ketelrendement bij toename van de belasting?

Vraag 15.

In een ketel wordt tijdens de verbranding 130.000 m³ rookgas per uur gevormd.

De temperatuur van het rookgas is op het einde van de eerste trek 980 °C.

De temperatuur van het rookgas dat voor de rookgastempering wordt gebruikt, bedraagt 175 °C. De hoeveelheid rookgas die voor de rookgastempering wordt gebruikt, bedraagt 28.000 m³/h. De specifieke warmte bedraagt overal 1,19 kJ / (kg · K).

De dichtheid is overal 1,17 kg/m³.

Bereken de temperatuur van het rookgas bij gebruikmaking van rookgastempering.

De referentietemperatuur bedraagt 0 °C.

Vraag 16.

Onder de emissie-eisen vallen onder andere zwaveloxiden en stikstofoxiden.

Gevraagd:

- a) Wat verstaat de vergunningverlener onder NO_x?
- b) Wat verstaat de vergunningverlener onder SO_x?
- c) Onder bepaalde omstandigheden kan Zwaveldioxide voor een deel overgaan tot Zwaveltrioxide, aan welke voorwaarden moet dan minimaal zijn voldaan?

Vraag 17.

Wat is de stuwende kracht achter het uitdrijven van CO₂ in een CO₂ toren in een demistraat?
En welke waarden horen hierbij?

Vraag 18.

De pH van het ketelwater moet circa 9,5 zijn, bij welke temperatuur is dit?

Vraag 19.

Magnetietcorrosie kan in een ketel ontstaan als de zuurstofconcentratie in het voedingwater:

Vraag 20.

In een bestaande situatie staat de hoge temperatuur OVO in zuivere meestroom. Deze OVO wordt in zuivere tegenstroom geplaatst. Wat kunnen we nu in het algemeen zeggen over de corrosiegevoeligheid en de warmteoverdracht (toon dit aan met de onderstaande gegevens)?

T ₁	= Rookgas temperatuur	640 °C
T ₂	= Stoomtemperatuur	350 °C
T ₃	= Rookgas temperatuur	520 °C
T ₄	= Stoomtemperatuur	420 °C
δ	= Wanddikte pijp	6 mm.
λ	= Warmtegeleiding coëfficiënt staal	45 W/(m·K)
α _{in}	= Warmteoverdracht rgr – staal	38 W/(m ² ·K)
α _{uit}	= Warmteoverdracht staal – stoom	420 W/(m ² ·K)

Vraag 21.

De warmte om het "natte" afval te drogen en om het vervolgens tot ontbranding te brengen wordt geleverd door:

Vraag 22.

Wandtemperaturen van diverse warmtewisselaars kunnen berekend worden, er bestaan echter vuistregels voor deze wandtemperaturen, men zegt dan de wandtemperatuur is de temperatuur van het doorstromende medium plus bijvoorbeeld 20 graden.

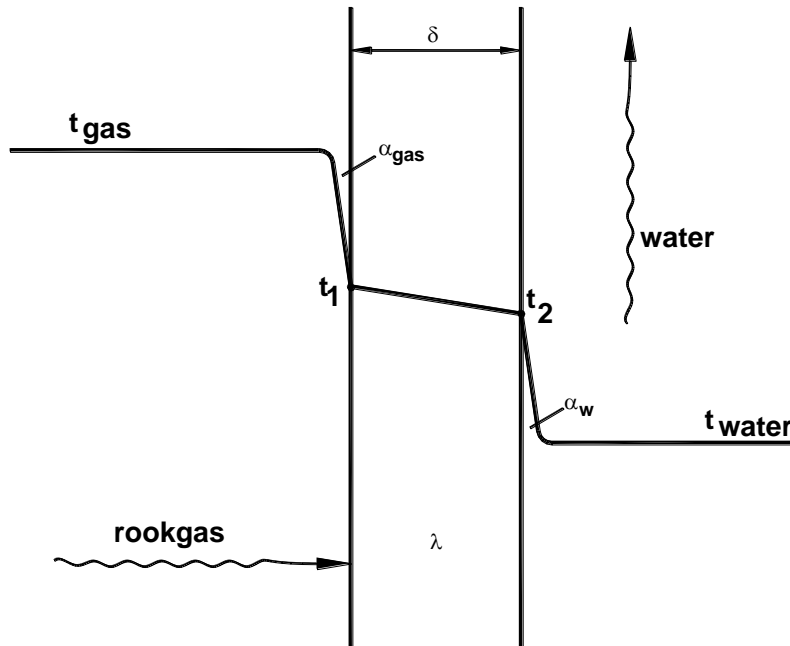
Hoeveel graden is de wandtemperatuur hoger dan het doorstromende medium:

bij **een eco**, een **ovo** en een **membraanwand** die niet zijn opgelast met inconel 625 bij een afvalgestookte ketel?

Vraag 23.

Op de tekening is een pijpstuk, de wand, van een willekeurige warmtewisselaar getekend. Hierop zijn de volgende gegevens van toepassing:

De rookgastemperatuur	$t_{\text{gas}} = 300 \text{ }^\circ\text{C}$
Warmte overdrachtcoëfficiënt gas \rightarrow pijp	$\alpha_{\text{gas}} = 30 \text{ W}/(\text{m}^2.\text{K})$
Wanddikte pijp	$\delta = 8 \text{ mm}$
Warmte doorgangcoëfficiënt pijp	$\lambda = 40 \text{ W}/(\text{m}.\text{K})$
Warmte overdrachtcoëfficiënt pijp \rightarrow water	$\alpha_w = 2800 \text{ W}/(\text{m}^2.\text{K})$
Watertemperatuur	$t_w = 140 \text{ }^\circ\text{C}$



Gevraagd:
Bereken de wandtemperatuur t_1
Bereken de wandtemperatuur t_2

Hierna komen de uitwerkingen!!

Antwoord 1.

Bij de verbranding van afval kunnen we het proces in 4 zones indelen. Wat is de juiste volgorde van deze zones?

- **Droogzone**
- **Verbrandingszone**
- **Uitbrandzone**
- **Afkoelzone**

Antwoord 2.

Wat is in het algemeen de juiste hoeveelheid primaire lucht als we afval op een rooster verbranden?

- **Stoken met luchtfactor 1 onder het rooster dus $\lambda = 1$**

Antwoord 3.

Bereken de luchtfactor als het zuurstofpercentage in het natte rookgas, vlak na de ketel, 6 vol% bedraagt.

$$\lambda = \frac{20,95}{20,95 - O_2 \text{ vol}\%} \Rightarrow \frac{20,95}{20,95 - 6 \text{ vol}\%} = 1,401$$

Antwoord 4.

Gegeven:

Van een bepaalde soort afval is de volgende gemiddelde samenstelling bekend:

- Massa % Koolstof 23,67 % C
- Massa % Waterstof 4,5 % H
- Massa % Zwavel 0,1 % S
- Massa % Zuurstof 18 % O
- Massa % Water 30 % H₂O

Het gemeten zuurstof percentage, nat, na de ketel, is 7 vol %.

Gevraagd:

Bereken de hoeveelheid lucht die praktisch, per kilogram afval, toegevoerd moet worden, om te voldoen aan volledige verbranding en 7 vol % zuurstof in het natte rookgas bij verlaten ketel.

$$\lambda = \frac{20,95}{20,95 - O_2 \text{ vol}\%} = \frac{20,95}{20,95 - 7 \text{ vol}\%} = 1,5017$$

$$M_{lpr} = \lambda \cdot \frac{1}{23} \cdot \left\{ \frac{8}{3} \cdot \%C + 8 \cdot \left(\%H - \frac{O_2}{8} \right) + \%S \right\}$$

$$M_{lpr} = 1,5017 \cdot \frac{1}{23} \cdot \left\{ \frac{8}{3} \cdot 23,67 + 8 \cdot \left(4,5 - \frac{18}{8} \right) + 0,1 \right\} = 5,296 \text{ kg lucht / kg afval}$$

Antwoord 5.

1 Noem alle functies van de ontgasser,

- a. **Buffer**
- b. **Voorwarmer**
- c. **Uitkoken tijdelijke hardheid**
- d. **Verwijderen van niet condenseerbare gassen**

2 Noem het gewenste zuurstofpercentage in de ontgasser.

- a. **5-10 ppb**

3 Noem de boven- en ondergrenzen van het zuurstofgehalte en de gevolgen.

- a. **3 ppb of kleiner = magnetietcorrosie**
- b. **15 ppb of groter = zuurstofcorrosie of putcorrosie**

Antwoord 6.

Van een oververhitter (ovo) die in een ketel in **zuivere meestroom** is geplaatst, is het volgende gegeven:

T_1	= Rookgastemperatuur intrede ovo	600 °C
T_2	= Rookgastemperatuur uittrede ovo	530 °C
T_3	= Stoomtemperatuur intrede ovo	310 °C
T_4	= Stoomtemperatuur uittrede ovo	410 °C
δ	= Wanddikte pijp	10 mm.
λ	= Warmtegeleiding coëfficiënt staal	50 W/(m·K)
α_2	= Warmteoverdracht staal – stoom	410 W/(m ² ·K)
α_1	= Warmteoverdracht rookgas – staal	30 W/(m ² ·K)
m_s	= massa stoom per seconde	40 kg/s
p	= Stoomdruk	50 bara
Δp	= Drukval over de OVO	2 bara

Gevraagd:

- A Bereken de k waarde van de oververhitter.
- B Bereken het oppervlak van de oververhitter
- C Bereken de wand temperatuur rookgaszijde waar de rookgassen een temperatuur van 550 °C hebben en de stoomtemperatuur 325 °C bedraagt.

K-waarde OVO

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

$$k = \frac{1}{\frac{1}{30} + \frac{0,01}{50} + \frac{1}{410}} = 27,799 W / (m^2 \cdot K)$$

Oppervlakte OVO

$$\dot{Q} = k \cdot A \cdot \Delta T_{gem}$$

$$\dot{Q} = \dot{m}_s \cdot \Delta h \Rightarrow 40 \text{ kg} / \text{s} \cdot (h_{eind} - h_{begin}) = 40 \text{ kg} / \text{s} \cdot (3224,48 - 2956,58) = 10716 \text{ kW}$$

$$\Delta T_{gem} = \frac{\Delta T_{max} - \Delta T_{min}}{\ln\left(\frac{\Delta T_{max}}{\Delta T_{min}}\right)} = \text{in dit geval Zuivere Meestroom}$$

$$\Delta T_{gem(zm)} = \frac{\Delta T_{max} - \Delta T_{min}}{\ln\left(\frac{\Delta T_{max}}{\Delta T_{min}}\right)} = \frac{290 - 120}{\ln\left(\frac{290}{120}\right)} = 192,658 \text{ Kelvin}$$

$$\dot{Q} = k \cdot A \cdot \Delta T_{gem} \Rightarrow A = \frac{\dot{Q}}{k \cdot \Delta T_{gem(zm)}} = \frac{10716 \cdot 1000}{27,799 \cdot 192,658} = 2000,85 \text{ m}^2$$

Temperatuur van de Wand

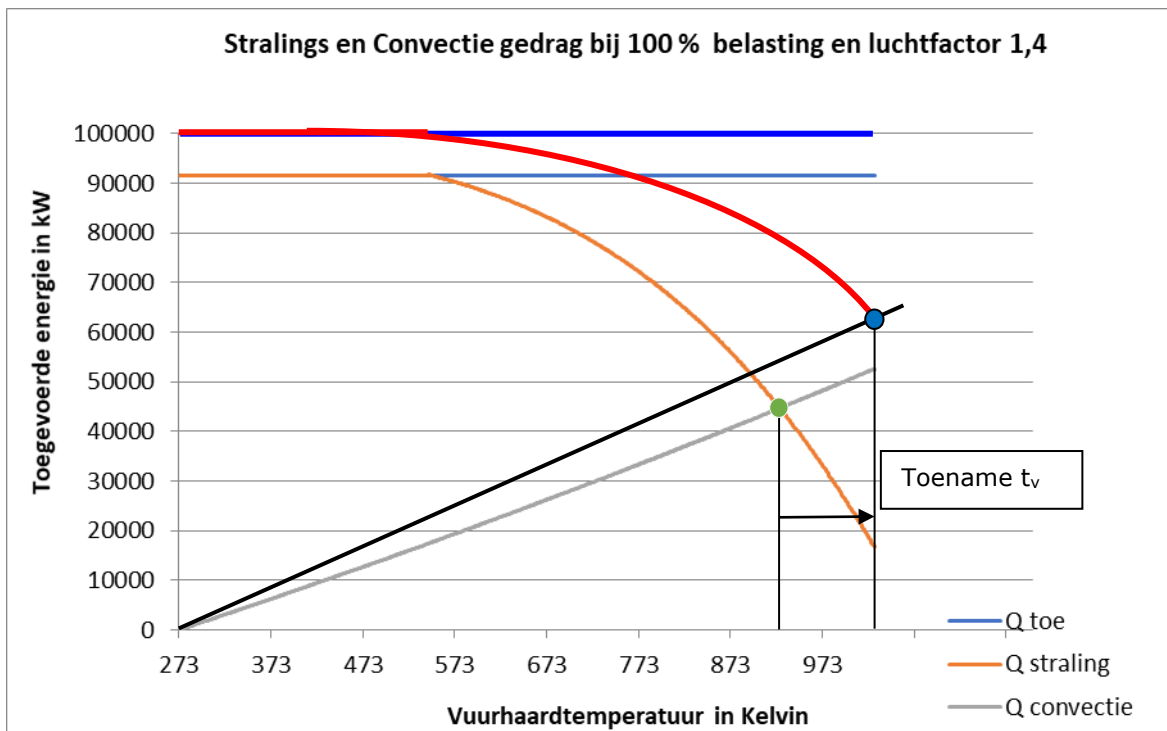
$$(t_1 - t_4) = q \cdot \left(\frac{1}{\alpha_1} + \frac{\delta}{\lambda} + \frac{1}{\alpha_2} \right)$$

$$q = \frac{(t_1 - t_4)}{\left(\frac{1}{\alpha_1} + \frac{\delta}{\lambda} + \frac{1}{\alpha_2} \right)} = \frac{(550 - 325)}{\left(\frac{1}{30} + \frac{0,01}{50} + \frac{1}{410} \right)} = 6254,8 \text{ W} / \text{m}^2$$

$$(t_1 - t_2) = q \cdot \left(\frac{1}{\alpha_1} \right) \Rightarrow t_2 = t_1 - \left(q \cdot \left(\frac{1}{\alpha_1} \right) \right) = 550 - \left(6254,8 \cdot \left(\frac{1}{30} \right) \right) = 341,506 \text{ °C}$$

Antwoord 7.

Gegeven is een verbrandingsdiagram van Professor A.J. Terlinde. Het diagram is getekend bij volle ketelbelasting en een luchtfactor van 1,4.



Gevraagd:

Als de ketelbelasting wordt vergroot naar een waarde die praktisch toepasbaar is, wat is dan het gevolg hiervan op de vuurhaardtemperatuur?

- **Vuurhaard temperatuur loopt op.**
- **Ketelbelasting is de y in de formule.**
 - o **Deze zit in Q_{toe} , dus toename van Q_{toe} (omdat deze maal y is)**
 - o **Deze zit in Q_{con} , dus toename van Q_{con} (omdat deze maal y is)**
 - o **Deze zit in $Q_{straling}$, dus afname van Q_{str} (omdat deze gedeeld door y is)**

Antwoord 8.

Van een ketel is het volgende gegeven.

De ketel levert 85 ton oververhitte stoom per uur.

Stoomcondities	:	p_{os}	=	40 bara	
		t_{os}	=	420 °C	
		\dot{m}_s	=	85 ton/uur	
		Drumdruk	=	44 bara	
		VV	=	3	
Voedingwater condities	:	t_{vw}	=	140 °C	
		p_{vw}	=	46 bara	
Spuiwater	:	\dot{m}_{spui}	=	2 ton/uur	
Afval	:	c_b	=	2 kJ/(kg·K)	
		t_b	=	50 °C	
Lucht	:	t_l	=	30 °C	
		p_l	=	1 bara	
		λ	=	1,7	
Slak	:	\dot{m}_{slak}	=	$0,25 \cdot \dot{m}_b$	kg/s
		t_{slak}	=	500 °C	
Vliegas	:	$\dot{m}_{vliegas}$	=	$0,03 \cdot \dot{m}_b$	kg/s
		$t_{vliegas}$	=	180 °C	
Rookgastemperatuur	:	t_g	=	250 °C	
CO percentage	:	%CO	=	0,01 %	
Stookwaarde	:	H_0	=	11.190 kJ/kg	

Gevraagd:

Bereken het ketelrendement volgens de eenvoudige manier.

$$\eta_{eenvoudig} = \frac{\dot{m}_s \cdot \Delta h}{\dot{m}_b \cdot H_0} \cdot 100\%$$

$$\Delta h = h_{os} - h_{vw} = 3261,36 - 591,96 = 2669,4 \text{ kJ / kg}$$

$$VV = \frac{\dot{m}_s}{\dot{m}_b} \Rightarrow \dot{m}_b = \frac{\dot{m}_s}{VV} = \frac{\left(\frac{85}{3,6}\right)}{3} = 7,87 \text{ kg / s brandstof}$$

$$\eta_{eenvoudig} = \frac{23,61 \cdot 2669,4}{7,87 \cdot 11190} \cdot 100\% = 71,569\%$$

Antwoord 9.

Wat is ten aanzien van de standtijd en levensduur de maximale rookgas temperatuur bij intrede convectiegedeelte?

- **675 °C in verband met de gemiddelde verwekingstemperatuur van het vliegias.**

Antwoord 10.

Als de druk van de ontgasser ingesteld staat op 0,35 MPa, met welke temperatuur moet dan, bij een juiste bedrijfsvoering, het condensaat aangevoerd worden?

$$0,35 \text{ MPa} = 3,5 \text{ bara}$$

Tabel 2, bij 3,5 bara hoort een temp. van : 138,861 °C

Dustemperatuur van condensaat voor een juiste bedrijfsvoering :

10 / 15 °C lager dan de verzadigingstemperatuur bij de heersende druk in de ontgasser.

Dustussen de 123,861 °C & 128,861 °C

Antwoord 11.

Van afval is de volgende samenstelling bekend:

Massa % C = 23 %

Massa % H = 5%

Massa % S = 0,3%

Massa % O₂ = 20%

Massa % H₂O = 25 %

Bereken de stookwaarde van het afval, en de verbrandingswaarde van het afval.

Stookwaarde:

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

$$H_0 = 340 \cdot 23 + 1440 \cdot \left(5 - \frac{20}{8} \right) + 105 \cdot 0,3 - 25 \cdot (9 \cdot 5 + 25) \quad [kJ / kg]$$

$$H_0 = 9701,5 \text{ kJ / kg}$$

Verbrandingswaarde:

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

$$H_b = 340 \cdot 23 + 1440 \cdot \left(5 - \frac{20}{8} \right) + 105 \cdot 0,3 \quad [kJ / kg]$$

$$H_b = 11451,5 \text{ kJ / kg}$$

Dus

$$H_0 = H_b - 25 \cdot (9 \cdot \%H + \%H_2O) \quad [kJ / kg]$$

Antwoord 12.

Wat wordt verstaan onder de stookwaarde? (volledig omschreven)

Aantal kJ aan energie dat vrijkomt bij volledige verbranding van 1kg brandstof waarbij de gevormde waterdamp niet condenseert.

Antwoord 13.

Op een bepaalde plaats in de economizer bedraagt de voedingwatertemperatuur 138 °C. Hoe hoog is deze temperatuur ongeveer rookgaszijdig, en treedt hier lage temperatuur corrosie op?

**±139°C, als het zuurdauwpunt lager is dan 139°C dan treedt er geen LTC op.
Als het zuurdauwpunt hoger ligt dan 139°C dan er LTC optreden.**

Antwoord 14.

Wat doet het ketelrendement bij toename van de belasting?

Rendement neemt toe tot 100% belasting, boven de 100% belasting neemt het ketelrendement af.

Antwoord 15.

In een ketel wordt tijdens de verbranding 130.000 m³ rookgas per uur gevormd.

De temperatuur van het rookgas is op het einde van de eerste trek 980 °C.

De temperatuur van het rookgas dat voor de rookgastempering wordt gebruikt, bedraagt 175 °C. De hoeveelheid rookgas die voor de rookgastempering wordt gebruikt, bedraagt 28.000 m³/h. De specifieke warmte bedraagt overal 1,19 kJ / (kg · K).

De dichtheid is overal 1,17 kg/m³.

Bereken de temperatuur van het rookgas bij gebruikmaking van rookgastempering.

De referentietemperatuur bedraagt 0 °C.

$$\dot{m}_{rgr} \cdot c_g \cdot t_{rgr} + \dot{m}_{tempering} \cdot c_g \cdot t_{tempering} = \dot{m}_{mengsel} \cdot c_g \cdot t_{mengsel}$$

$$\dot{m}_{rgr} = \dot{V}_{rgr} \cdot \rho$$

$$\dot{m}_{tempering} = \dot{V}_{tempering} \cdot \rho$$

$$\dot{m}_{mengsel} = (\dot{V}_{rgr} + \dot{V}_{tempering}) \cdot \rho$$

Hieruit volgt :

$$\dot{V}_{rgr} \cdot \rho \cdot c_g \cdot t_{rgr} + \dot{V}_{tempering} \cdot \rho \cdot c_g \cdot t_{tempering} = (\dot{V}_{rgr} + \dot{V}_{tempering}) \cdot \rho \cdot c_g \cdot t_{mengsel}$$

Dichtheid & specifieke warmte zijn overal hetzelfde, dit geeft :

$$\dot{V}_{rgr} \cdot t_{rgr} + \dot{V}_{tempering} \cdot t_{tempering} = (\dot{V}_{rgr} + \dot{V}_{tempering}) \cdot t_{mengsel}$$

Dus temperatuur van het rookgas bij gebruik van tempering is :

$$t_{mengsel} = \frac{\dot{V}_{rgr} \cdot t_{rgr} + \dot{V}_{tempering} \cdot t_{tempering}}{(\dot{V}_{rgr} + \dot{V}_{tempering})} = \frac{(130.000 \cdot 980) + (28.000 \cdot 175)}{(130.000 + 28.000)} = 837,34 \text{ °C}$$

Antwoord 16.

Onder de emissie-eisen vallen onder andere zwaveloxiden en stikstofoxiden.

Gevraagd:

- a) Wat verstaat de vergunningverlener onder NO_x ?
NO & NO₂
- b) Wat verstaat de vergunningverlener onder SO_x ?
SO₂ & SO₃
- c) Onder bepaalde omstandigheden kan Zwaveldioxide voor een deel overgaan tot Zwaveltrioxide, aan welke voorwaarden moet dan minimaal zijn voldaan?
- **Temperatuur 675°C of hoger**
 - **Voldoende zuurstof aanwezig.**
 - **Katalysator aanwezig V₂O₅**

Antwoord 17.

Wat is de stuwende kracht achter het uitdrijven van CO₂ in een CO₂ toren in een demistraat? En welke waarden horen hierbij?

Stuwende kracht in de demistraat om de CO₂ uit te drijven is de lage pH van 4-5, bij deze waarde wordt de H₂CO₃ instabiel en valt uiteen in CO₂ en H₂O. De CO₂ wordt verdreven met lucht.

Antwoord 18.

De pH van het ketelwater moet circa 9,5 zijn, bij welke temperatuur is dit?

25 °C

Antwoord 19.

Magnetietcorrosie kan in een ketel ontstaan als de zuurstofconcentratie in het voedingwater:

3 ppb of lager.

Antwoord 20.

In een bestaande situatie staat de hoge temperatuur OVO in zuivere meestroom. Deze OVO wordt in zuivere tegenstroom geplaatst. Wat kunnen we nu in het algemeen zeggen over de corrosiegevoeligheid en de warmteoverdracht (toon dit aan met de onderstaande gegevens)?

T_1	= Rookgastemperatuur	640 °C
T_2	= Stoomtemperatuur	350 °C
T_3	= Rookgastemperatuur	520 °C
T_4	= Stoomtemperatuur	420 °C
δ	= Wanddikte pijp	6 mm.
λ	= Warmtegeleiding coëfficiënt staal	45 W/(m·K)
α_{in}	= Warmteoverdracht rgr – staal	38 W/(m ² ·K)
α_{uit}	= Warmteoverdracht staal – stoom	420 W/(m ² ·K)

Corrosiegevoeligheid neemt toe, OVO zal sneller "dichtgroeien" omdat de wand temperaturen bij de intrede van de OVO toenemen t.o.v. zuivere meestroom.

Warmteoverdracht neemt toe:

Originele situatie :

$$\Delta T_{zm} = \frac{\Delta T_{\max} - \Delta T_{\min}}{\ln\left(\frac{\Delta T_{\max}}{\Delta T_{\min}}\right)} = \frac{290 - 100}{\ln\left(\frac{290}{100}\right)} = 178,45^{\circ}\text{C}$$

Nieuwe situatie zuivere tegenstroom :

$$T_{zt} = \frac{\Delta T_{\max} - \Delta T_{\min}}{\ln\left(\frac{\Delta T_{\max}}{\Delta T_{\min}}\right)} = \frac{220 - 170}{\ln\left(\frac{220}{170}\right)} = 193,93^{\circ}\text{C}$$

Te zien is een toename van warmteoverdracht.

Antwoord 21.

De warmte om het "natte" afval te drogen en om het vervolgens tot ontbranding te brengen wordt geleverd door:

Met name Stralingswarmte uit de vuurhaard, deels convectie warmte uit de vuurhaard van de warme rookgassen die door de ketel trekken.

Antwoord 22.

Wandtemperaturen van diverse warmtewisselaars kunnen berekend worden, er bestaan echter vuistregels voor deze wandtemperaturen, men zegt dan de wandtemperatuur is de temperatuur van het doorstromende medium plus bijvoorbeeld 20 graden.

Hoeveel graden is de wandtemperatuur hoger dan het doorstromende medium:

bij **een eco**, een **ovo** en een **membraanwand** die niet zijn opgelast met inconel 625 bij een afvalgestookte ketel?

ECO = 1 °C hoger dan het water wat door de pijp stroomt

OVO = 5 – 50 °C hoger dan de oververhitte stoom die door de pijp stroomt

Membraanwand & verdamperbundel =

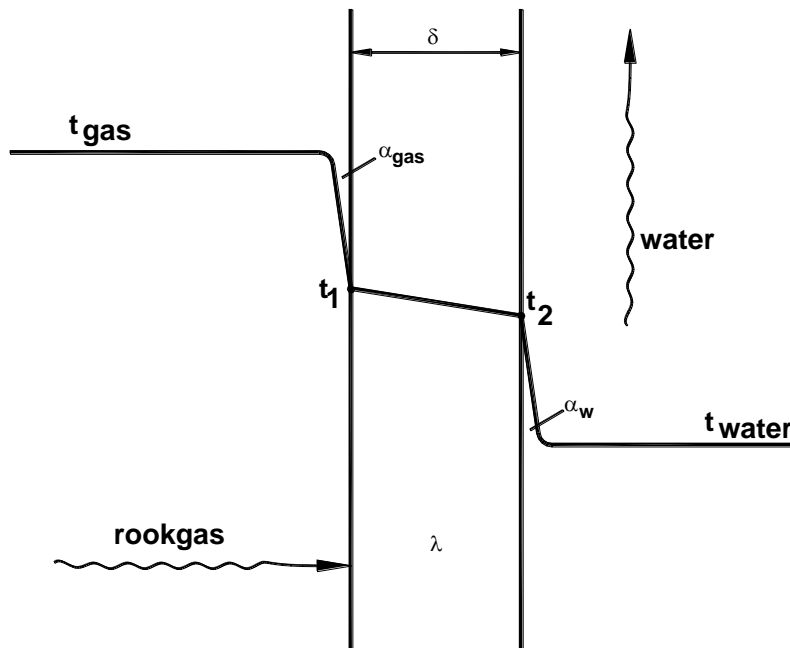
5 °C hoger dan de verzadigingstemperatuur bij de heersende druk van het medium dat door de pijp stroomt.

Indien wel opgelast met Inconel dan, 7 °C hoger dan de verzadigingstemperatuur bij de heersende druk van het medium dat door de pijp stroomt.

Antwoord 23.

Op de tekening is een pijpstuk, de wand, van een willekeurige warmtewisselaar getekend. Hierop zijn de volgende gegevens van toepassing:

De rookgas temperatuur	$t_{\text{gas}} = 300 \text{ }^\circ\text{C}$
Warmte overdrachtcoëfficiënt gas \rightarrow pijp	$\alpha_{\text{gas}} = 30 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$
Wanddikte pijp	$\delta = 8 \text{ mm}$
Warmte doorgangcoëfficiënt pijp	$\lambda = 40 \text{ W}/(\text{m} \cdot \text{K})$
Warmte overdrachtcoëfficiënt pijp \rightarrow water	$\alpha_w = 2800 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$
Watertemperatuur	$t_w = 140 \text{ }^\circ\text{C}$



Gevraagd:
Bereken de wandtemperatuur t_1
Bereken de wandtemperatuur t_2

Temperatuur t_1 :

$$(t_{\text{gas}} - t_{\text{water}}) = q \cdot \left(\frac{1}{\alpha_1} + \frac{\delta}{\lambda} + \frac{1}{\alpha_2} \right)$$
$$q = \frac{(t_{\text{gas}} - t_1)}{\left(\frac{1}{\alpha_1} + \frac{\delta}{\lambda} + \frac{1}{\alpha_2} \right)} = \frac{(300 - 140)}{\left(\frac{1}{30} + \frac{0,008}{40} + \frac{1}{2800} \right)} = 4721,1 \text{ W} / \text{m}^2$$

Dus t_1 is :

$$(t_{\text{gas}} - t_1) = q \cdot \left(\frac{1}{\alpha_1} \right)$$
$$t_1 = 300 - 4721,1 \cdot \left(\frac{1}{30} \right) = 142,63 \text{ }^\circ\text{C}$$

Temperatuur t_2 :

$$(t_{gas} - t_{water}) = q \cdot \left(\frac{1}{\alpha_1} + \frac{\delta}{\lambda} + \frac{1}{\alpha_2} \right)$$
$$q = \frac{(t_{gas} - t_1)}{\left(\frac{1}{\alpha_1} + \frac{\delta}{\lambda} + \frac{1}{\alpha_2} \right)} = \frac{(300 - 140)}{\left(\frac{1}{30} + \frac{0,008}{40} + \frac{1}{2800} \right)} = 4721,1 \text{ W / m}^2$$

Dust t_2 is :

$$(t_1 - t_2) = q \cdot \left(\frac{\delta}{\lambda} \right)$$
$$t_2 = 142,63 - 4721,1 \cdot \left(\frac{0,008}{40} \right) = 141,69 \text{ }^\circ\text{C}$$

of

$$(t_2 - t_{water}) = q \cdot \left(\frac{1}{\alpha_2} \right)$$
$$t_2 = 140 + 4721,1 \cdot \left(\frac{1}{2800} \right) = 141,69 \text{ }^\circ\text{C}$$

Antwoord 24.

Van een oververhitter (ovo) die in kruis tegenstroom staat is het volgende gegeven:

Stoom in:	$p = 80 \text{ bara}$
	$t = 430 \text{ }^\circ\text{C}$
Stoom uit:	$t = 550 \text{ }^\circ\text{C}$
Δp over de ovo bedraagt	2 bar.
De rookgas intredetemperatuur bedraagt	760 $^\circ\text{C}$
De rookgas uittredetemperatuur bedraagt	580 $^\circ\text{C}$
De dichtheid van het rookgas	$\rho_0 = 1,28 \text{ kg/m}^3$
De soortelijke warmte van het rookgas	$c_g = 1,21 \text{ kJ/(kg}\cdot\text{K)}$
De massastroom stoom door de ovo	45 kg/s
Van de ovo is verder gegeven:	
α rookgas naar staal	40 W/(m ² ·K)
Wanddikte	$\delta = 5 \text{ mm}$
Warmtegeleidingscoëfficiënt	$\lambda = 40 \text{ W/(m}\cdot\text{K)}$
α staal naar stoom	320 W/(m ² ·K)
Er moet rekening gehouden worden met 18% vervuiling.	

Gevraagd:

- Bereken het oppervlak van de ovo als rekening gehouden wordt met de vervuiling in m².
- Bereken het werkelijke volume rookgas bij uittrede ovo in Rm³/h als $p_0 = 1013 \text{ mb}$ en $p_w = 998 \text{ mb}$

Delta T kruistegenstroom:

Zuivere meestroom :

$$\Delta T_{zm} = \frac{\Delta T_{\max} - \Delta T_{\min}}{\ln\left(\frac{\Delta T_{\max}}{\Delta T_{\min}}\right)} = \frac{330 - 30}{\ln\left(\frac{330}{30}\right)} = 125,11 \text{ } ^\circ\text{C of K}$$

Zuivere tegenstroom :

$$T_{zt} = \frac{\Delta T_{\max} - \Delta T_{\min}}{\ln\left(\frac{\Delta T_{\max}}{\Delta T_{\min}}\right)} = \frac{210 - 150}{\ln\left(\frac{210}{150}\right)} = 178,32 \text{ } ^\circ\text{C of K}$$

Kruistegenstroom :

$$T_{kt} = \frac{\Delta T_{zm} - \Delta T_{zt}}{2} = \frac{125,11 - 178,32}{2} = 151,72 \text{ } ^\circ\text{C of K}$$

k-Waarde:

$$k = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_1} + \frac{\delta}{\lambda} + \frac{1}{\alpha_2}} = W / (m^2 \cdot K)$$

$$k = \frac{1}{\frac{1}{40} + \frac{0,005}{40} + \frac{1}{320}} = 35,398 \text{ W / (m}^2 \cdot \text{K)}$$

Warmte opgenomen door de stoom:

$$\dot{Q} = \dot{m}_s \cdot \Delta h \Rightarrow 45 \text{ kg / s} \cdot (h_{\text{eind}} - h_{\text{begin}}) = 40 \text{ kg / s} \cdot (3523,73 - 3220,95) = 13625,1 \text{ kW}$$

Oppervlakte OVO:

$$\dot{Q} = k \cdot A \cdot \Delta T_{\text{gem}}$$

$$\dot{Q} = 13625,1 \text{ kW}$$

$$\Delta T_{\text{gem}(kt)} = 151,72 \text{ Kelvin}$$

$$k = 35,398 \text{ W / (m}^2 \cdot \text{K)}$$

$$\dot{Q} = k \cdot A \cdot \Delta T_{\text{gem}} \Rightarrow A = \frac{\dot{Q}}{k \cdot \Delta T_{\text{gem}(zm)}} = \frac{13625,1 \cdot 1000}{35,398 \cdot 151,72} = 2536,98 \text{ m}^2 \text{ [Zonder vervuiling]}$$

Oppervlakte met vervuiling :

$$18\% \text{ vervuild} \Rightarrow \frac{A}{\left(1 - \left(\frac{\% \text{vervuiling}}{100}\right)\right)} = \frac{2536,98}{\left(1 - \left(\frac{18}{100}\right)\right)} = 3093,88 \text{ m}^2$$

B) Werkelijke volume rookgas:

$$\dot{Q} = \dot{m}_g \cdot c_g \cdot \Delta t$$

$$\dot{Q} = 13625,1 \text{ kW}$$

$$c_g = 1,21 \text{ kJ} / (\text{kg} \cdot \text{K})$$

$$\Delta t = 760^\circ\text{C} - 580^\circ\text{C} = 180^\circ\text{C}$$

Dus \dot{m}_g is :

$$\dot{Q} = \dot{m}_g \cdot c_g \cdot \Delta t \Rightarrow \dot{m}_g = \frac{\dot{Q}}{c_g \cdot \Delta t} = \frac{13625,1 \cdot 1000}{1,21 \cdot 180} = 62,56 \text{ kg} / \text{s}$$

Volume gas Normaalkuub is :

$$\dot{m}_g = \dot{V}_0 \cdot \rho_0 \Rightarrow \dot{V}_0 = \frac{\dot{m}_g}{\rho_0} = \frac{62,56}{1,28} = 48,87 \text{ m}_0^3 / \text{s}$$

Re eël volume is :

$$\frac{p_0 \cdot V_0}{T_0} = \frac{p_1 \cdot V_1}{T_1}$$

$$p_0 = 1,013 \text{ bara}$$

$$\dot{V}_0 = 48,87 \text{ m}_0^3 / \text{s}$$

$$T_0 = 273,15 \text{ K}$$

$$p_1 = 0,998 \text{ bara}$$

$$\dot{V}_1 = ? \text{ m}_0^3 / \text{s}$$

$$T_1 = (273,15 + 580) = 853,15 \text{ K}$$

$$\dot{V}_1 = \frac{p_0 \cdot V_0 \cdot T_1}{p_1 \cdot T_0} = \frac{1,013 \cdot 48,87 \cdot 853,15}{0,998 \cdot 273,15} = 154,94 \text{ Rm}^3 / \text{s}$$

$$\dot{V}_1 = 154,94 \text{ Rm}^3 / \text{s} \Rightarrow 557.798,64 \text{ Rm}^3 / \text{h}$$