

**Beschikbare tijd:** 100 minuten

Instructies voor het invullen van het antwoordblad.

1. Dit open boek tentamen bestaat uit **5** opgaven.
2. U mag tijdens het tentamen gebruik maken van:
  - Een tabellenboek, zonder aantekeningen;

Toegestane boeken:

- Ketelinstallaties HWTK;
- Milieu en Chemie B; vakcode 58.95;
- Stoomturbines HWTK;
- Productieproces B; vakcode 58.92
- Warmteleer voor Technici; ir. A.J.M. van Kimmenaede; 8<sup>ste</sup> druk, 2001
  
- Rekenmachine
- Stoomtabel
- HS-diagram

3. Het aantal te behalen punten.

1	2	3	4	5
10	10	10	10	10

$$\text{cijfer} = \frac{\text{aantal behaalde punten}}{5}$$

**Veel succes!**



**Opgave 1: (10 punten)**

Een brander is ontworpen voor het verstoken van aardgas met een verbrandingswarmte van  $39,82 \text{ MJ/m}^3$ . De soortelijke massa van dit gas is  $0,7175 \text{ kg/m}^3$ . De soortelijke massa van lucht is  $1,275 \text{ kg/m}^3$ . (beide soortelijke massa's bij  $0^\circ\text{C}$  en  $1 \text{ bar}$ .)

De fabrikant van de brander heeft voorgeschreven, dat de wobbe-index van het aardgas, voor een goede werking van de brander, binnen een tolerantieband van 5% moet liggen.

Nu is men voornemens een ander soort aardgas in deze brander te gaan verstoken.

Deze nieuwe brandstof heeft een verbrandingswarmte van  $39,82 \text{ MJ/m}^3$  en een soortelijke massa van  $0,7975 \text{ kg/m}^3$ .

Vraag: Is dit mogelijk?

Zo nee, waarom niet en welke maatregel stelt u voor, zodat het wel mogelijk wordt.

Zo ja, waarom?

**Opgave 2:**

Het brandbare deel van een bepaalde vaste brandstof kan worden voorgesteld door C100H76O12.

Het niet brandbare deel, zijnde as, maakt 10 gew.% uit van deze vaste brandstof.

Deze brandstof wordt verbrand met droge lucht en met een luchtfactor van 1,06. De soortelijke massa's bij  $0^\circ\text{C}$  en  $1 \text{ bar}$  zijn respectievelijk voor zuurstof en stikstof  $1,429 \text{ kg/m}^3$  en  $1,2504 \text{ kg/m}^3$ . Verder is gegeven dat de droge lucht voor 21 vol.% uit zuurstof en 79 vol.% uit stikstof.

Vraag:

A: Hoeveel kg droge lucht is er nodig voor de verbranding van 1 kg van deze vaste brandstof?

**(4 punten)**

B: Hoeveel kg rookgassen worden er per kg vaste brandstof gevormd? **(4 punten)**

C: Hoeveel kg  $\text{CO}_2$  wordt er per kg vaste brandstof gevormd? **(2 punten)**

**Opgave 3: (10 punten)**

Van een ketelinstallatie moet de ketelvoedingspomp worden vervangen. U moet de keuze maken uit twee aanbiedingen.

Pomp A:  $n = 6000 \text{ omw/min}$ , aantal waaiers is 6, opbrengst is  $440 \text{ t/hr}$ , opvoerhoogte is  $260 \text{ bar}$ .

Pomp B:  $n = 3000 \text{ omw/min}$ , aantal waaiers is 10, opbrengst is  $450 \text{ t/hr}$ , opvoerhoogte is  $250 \text{ bar}$ .

De dichtheid van het voedingswater is  $750 \text{ kg/m}^3$ .

Welke keuze maakt u en waarom?

**Opgave 4: (10 punten)**

Gegeven een tegen- en een meestroomwarmtewisselaar. Beide hebben dezelfde warmtedoorgangscoefficienten en dragen dezelfde hoeveelheid warmte over. Als nu verder gegeven is, dat waterzijdig de intrede temperatuur gelijk is aan 570 °C en uittredetemperatuur gelijk is aan 410 °C en rookgaszijdig de intredetemperatuur gelijk is aan 210 °C en uittredetemperatuur gelijk is aan 350 °C,

$$\frac{A_{tegen}}{A_{mee}}$$

Bereken dan de verhouding van de benodigde warmtewisselende oppervlakken

**Opgave 5: (10 punten)**

Van een installatie is gegeven dat de keteldruk bij 0% belasting 210 bar (a) is en bij 100%

belasting 260 bar (a). De ketelweerstand wordt gegeven door de formule  $p_k = a + b \cdot x^2$  met x de belasting in %.

Van de voedingspomp is gegeven dat deze bij 0% belasting 310 bar (a) levert en bij 100% belasting 260 bar (a). Verder is gegeven dat de richtingscoëfficiënt = - 0,1 voor 0% belasting.

De formule voor de pompdruk  $p_p = a \cdot x^2 + b \cdot x + c$  met x de belasting in %.

Vraag: Als de ketelbelasting nu wordt ingesteld op 40%, met welk percentage van het toerental moet de pomp nu worden ingesteld?

# UITWERKINGEN:

## Vraag 1

$$W_{o1} = \frac{39,82}{\sqrt{\left(\frac{0,7175}{1,275}\right)}} = 53,08198$$

$$W_{o2} = \frac{39,82}{\sqrt{\left(\frac{0,7975}{1,275}\right)}} = 53,35$$

$$\text{Afwijking wobbe-index} = \frac{(W_{o1} - W_{o2})}{W_{o1}} \cdot 100\% = 5,146\%$$

**Zonder meer verstoken van dit gas kan dus niet.**

### Maatregel:

$W_{o2}$  binnen de band van 5% brengen, door de soortelijke massa van het gas te verlagen door middel van opwarming van het gas.

$$\text{Ondergrens } W_{o2} = 0,95 \cdot W_{o1}$$

$$W_{o2} = 50,43$$

$$\sqrt{d} = \frac{39,82}{50,53}$$

$$d = 0,6235$$

$$\rho_{\text{gas}} = d \cdot \rho_{\text{lucht}}$$

$$\rho_{\text{gas}} = 0,6235 \cdot 1,275$$

$$\rho_{\text{gas}} = 0,79496$$

$$\text{Bovengrens } W_{o2} = 1,05 \cdot W_{o1}$$

$$W_{o2} = 55,74$$

$$\sqrt{d} = \frac{39,82}{55,74}$$

$$d = 0,5104$$

$$\rho_{\text{gas}} = d \cdot \rho_{\text{lucht}}$$

$$\rho_{\text{gas}} = 0,5104 \cdot 1,275$$

$$\rho_{\text{gas}} = 0,65076$$

$$\rho_{\text{gas}} \text{ was } 0,7975$$

$$\text{Dus } T = \frac{273 \cdot 0,7975}{0,79496} = 273,8 \text{ K}$$

$$T = \frac{273 \cdot 0,7975}{0,65076} = 334,6 \text{ K}$$

$$T = 0,8 \text{ } ^\circ\text{C}$$

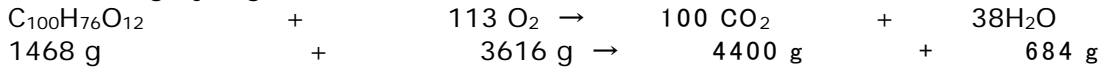
en

$$T = 61,6 \text{ } ^\circ\text{C}$$

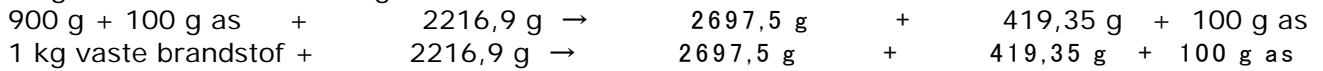
**Het gas moet dus worden verwarmd tot een temperatuur, die ligt tussen 0,8 en 61,6 °C.**

**Vraag 2:**

Reactievergelijking:



90 gew.% brandbaar + 10 gew.% as →

Luchtsamenstelling 21 vol% O<sub>2</sub> en 79 vol% N<sub>2</sub>; dit omrekenen naar gew.%:

$$21 \cdot 1,429 + 79 \cdot 1,2504 = 30,009 + 98,7816 = 128,7906$$

$$\text{Concentratie O}_2 : \frac{30,009}{128,7906} \cdot 100\% = 23,3 \text{ gew.}\%$$

$$\text{Concentratie N}_2 : \frac{98,7816}{128,7906} \cdot 100\% = 76,7 \text{ gew.}\%$$

Dus:

$$1 \text{ kg v.b.} + \frac{2216,9}{0,233} \text{ g lucht} \rightarrow 2697,5 \text{ g CO}_2 + 419,35 \text{ g H}_2\text{O} + \frac{0,767}{0,233} \cdot 2216,9 \text{ g N}_2 + 100 \text{ g}$$

as

$$1 \text{ kg v.b.} + 9514,6 \text{ g lucht} \rightarrow 2697,5 \text{ g CO}_2 + 419,35 \text{ g H}_2\text{O} + 7297,7 \text{ g N}_2 + 100 \text{ g as}$$

Luchtfactor 1,06

$$1 \text{ kg v.b.} + 10085,5 \text{ g lucht} \rightarrow 2697,5 \text{ g CO}_2 + 419,3 \text{ g H}_2\text{O} + 7735,6 \text{ g N}_2 + 133,0 \text{ g O}_2 + 100 \text{ g as}$$

**Dus is er per kg vaste brandstof nodig:****0,086 kg droge lucht****Worden er per kg vaste brandstof 10,986 kg rookgassen gevormd, waaronder 2,698 kg CO<sub>2</sub>.**

### Vraag 3

Bepaal van beide pompen bij benadering het mechanisch rendement en kies voor het hoogste.  
Pomp A:

$$Q = \frac{440 \cdot 1000}{750} \cdot \frac{1}{3600} = 0,1630 \text{ m}^3/\text{s} \quad (586,7 \text{ m}^3/\text{hr})$$

$$H = \frac{\Delta p}{(\rho \cdot g)} = \frac{260 \cdot 10^5}{750} \cdot \frac{1}{9,81} = 3533,8 \text{ m}$$

$$H_{\text{per waaier}} = \frac{3533,8}{36006} = 589,0 \text{ m}$$

$$Ns = \frac{n \cdot Q^{\frac{1}{2}}}{H^{\frac{3}{4}}} = \frac{6000 \cdot 0,1630^{\frac{1}{2}}}{589,0^{\frac{3}{4}}} = \frac{6000 \cdot 0,4037}{119,56} = 20,26 \text{ omw/min.}$$

m.b.v. les 11, blz. 31, afbeelding 19 wordt nu afgelezen, dat het mechanisch rendement ca 82% bedraagt. Dus  $\eta_{m,pompA} = 82 \%$ .

Pomp B:

$$Q = \frac{445 \cdot 1000}{750} \cdot \frac{1}{3600} = 0,1667 \text{ m}^3/\text{s} \quad (600 \text{ m}^3/\text{hr})$$

$$H = \frac{\Delta p}{(\rho \cdot g)} = \frac{250 \cdot 10^5}{750} \cdot \frac{1}{9,81} = 3397,9 \text{ m}$$

$$H_{\text{per waaier}} = \frac{3397,9}{10} = 339,8 \text{ m}$$

$$Ns = \frac{n \cdot Q^{\frac{1}{2}}}{H^{\frac{3}{4}}} = \frac{3000 \cdot 0,1667^{\frac{1}{2}}}{339,8^{\frac{3}{4}}} = \frac{3000 \cdot 0,4084}{79,14} = 15,47 \text{ omw/min.}$$

m.b.v. les 11, blz. 31, afbeelding 19 wordt nu afgelezen, dat het mechanisch rendement ca 78% bedraagt. Dus  $\eta_{m,pompB} = 78 \%$ .

**Gekozen wordt dus voor pomp A.**

#### Vraag 4

**Tegenstroom:** 
$$\Delta t_t = \frac{(t_1 - t_4) - (t_2 - t_3)}{\ln \frac{(t_1 - t_4)}{(t_2 - t_3)}}$$
$$\Delta t_t = \frac{(570 - 350) - (410 - 210)}{\ln \left( \frac{570 - 350}{410 - 210} \right)} = \frac{220 - 200}{\ln \left( \frac{220}{200} \right)} =$$
$$\Delta t_t = \frac{20}{0,09531} = 209,84$$

**Meestroom:** 
$$\Delta t_m = \frac{(t_1 - t_3) - (t_2 - t_4)}{\ln \frac{(t_1 - t_3)}{(t_2 - t_4)}}$$
$$\Delta t_m = \frac{(570 - 210) - (410 - 350)}{\ln \left( \frac{570 - 210}{410 - 350} \right)} = \frac{360 - 60}{\ln \left( \frac{360}{60} \right)}$$
$$\Delta t_m = \frac{300}{1,79176} = 167,43$$

$$Q_{tegen} = Q_{mee}$$

$$A_{tegen} \cdot \Delta t_t \cdot k = A_{mee} \cdot \Delta t_m \cdot k$$

$$\frac{A_{tegen}}{A_{mee}} = \frac{\Delta t_m}{\Delta t_t}$$

$$\frac{A_{tegen}}{A_{mee}} = \frac{167,43}{209,84} = 0,798$$

### Vraag 5:

$$\text{Ketel: } p_k = a + b \cdot x^2 \rightarrow \begin{array}{l} (0, 210) : 210 = a \\ (100, 260) : 260 = a + b \cdot 10^4 \rightarrow b = 5 \cdot 10^{-3} \end{array}$$

$$\rightarrow p_k = 210 + 5 \cdot 10^{-3} \cdot x^2$$

$$\begin{array}{l} \text{Voedingspomp: } p_p = a \cdot x^2 + b \cdot x + c \rightarrow (0, 310) : 310 = c \\ (100, 260) : 260 = a \cdot 10^4 + b \cdot 10^2 + c \\ \rightarrow = a \cdot 10^4 + b \cdot 10^2 + c \\ = a \cdot 10^4 + b \cdot 10^2 = -50 \end{array}$$

$$d \frac{p_p}{d_x} = 2 \cdot a \cdot x + b \quad (-0,1, 0) : -0,1 = b \text{ en dus is } a = -4 \cdot 10^{-3}$$

$$\rightarrow p_p = -4 \cdot 10^{-3} \cdot x^2 - 0,1 \cdot x + 310.$$

De pompbelasting is evenredig met het toerental in het kwadraat, dus

$$\rightarrow p_p = (-4 \cdot 10^{-3} \cdot x^2 - 0,1 \cdot x + 310) \cdot \left( \frac{n}{100} \right)^2$$

$$x = 40\% \rightarrow p_k = 210 + 5 \cdot 10^{-3} \cdot 40^2 = 218 \text{ bar (a)} \\ p_k = p_p = 218$$

$$\rightarrow 218 = (-4 \cdot 10^{-3} \cdot 40^2 - 0,1 \cdot 40 + 310) \cdot \left( \frac{n}{100} \right)^2$$

$$\rightarrow \left( \frac{n}{100} \right)^2 = \frac{218}{299,6} = 0,7276$$

$$\rightarrow \mathbf{n = 85,3 \%}$$