

**Voorbeeld EXAMEN Thermodynamica OPEP Niveau 4****Vraag 1:**

Van een ideaal gas is gegeven dat de dichtheid bij 0 °C en 1 bara, 1,5 kg/m<sup>3</sup> bedraagt.

Bereken:

- (10) a. De specifieke gasconstante  $R_s$ .  
(10) b. De druk die het gas uitoefent als 2,75 kg hiervan zich bevindt in een vat van 20 dm<sup>3</sup> bij een temperatuur van 27 °C. Geef uw antwoord in bar absoluut.

**Vraag 2:**

Een ideaal gas bestaat uit:

30 vol% CO

16 vol% H<sub>2</sub>

54 vol% N<sub>2</sub>

Bereken:

- (30) a. De massapercentages van de CO, H<sub>2</sub> en N<sub>2</sub>.  
(10) b. De specifieke gasconstante van het gasmengsel.

**Vraag 3:**

Van een oververhitter is het volgende gegeven:

De oververhitter is in kruis tegenstroom geschakeld.

Door de oververhitter stroomt stoom die met behulp van rookgas wordt verwarmd.

Intrede druk stoom:

$$p_1 = 100 \text{ bara}$$

Intrede temperatuur stoom:

$$t_1 = 380 \text{ °C}$$

De drukval van de stoom over de oververhitter:

$$\Delta p = 4 \text{ bar}$$

De temperatuur van de stoom bij uittrede oververhitter:

$$t_2 = 460 \text{ °C}$$

De rookgastemperatuur bij intrede oververhitter:

$$780 \text{ °C}$$

De rookgastemperatuur bij uittrede oververhitter:

$$560 \text{ °C}$$

De massastroom stoom bedraagt:

$$50 \text{ kg/s}$$

Warmteoverdrachtcoëfficiënt rookgas → pijp:

$$\alpha_1 = 50 \text{ W/(m}^2\cdot\text{K)}$$

Warmtegeleidingscoëfficiënt pijp:

$$\lambda = 40 \text{ W/(m}\cdot\text{K)}$$

Wanddikte pijp:

$$\delta = 5 \text{ mm}$$

Warmteoverdrachtcoëfficiënt stoom-pijpwand:

$$\alpha_2 = 380 \text{ W/(m}^2\cdot\text{K)}$$

Gevraagd:

- (30) a. Bereken het benodigde oppervlak van de oververhitter als rekening gehouden moet worden met 15% vervuiling.  
(20) b. Bereken de wandtemperatuur van de oververhitter rookgaszijdig ter plaatse van de stoomtemperatuur 460 °C en een rookgastemperatuur van 780 °C.

**Vraag 4:**

Water van 70 °C en een specifiek volume van  $\rho_w = 0,0010228 \text{ m}^3 / \text{kg}$  wordt aan een ketel toegevoerd waarin een druk heerst van 100 bara.

Het specifiek volume van de stoom die de keteldrum verlaat bedraagt:  $\rho_s = 0,01803 \text{ m}^3 / \text{kg}$

De enthalpie van het water bedraagt:  $h_w = 300 \text{ kJ} / \text{kg}$

De enthalpie van de verzadigde stoom bedraagt:  $h_{vs} = 2725 \text{ kJ} / \text{kg}$

Bereken:

- (10) a. De arbeid die bij de overgang van water in stoom wordt verricht.
- (10) b. De verandering van de inwendige energie als er vanuit mag worden gegaan dat het proces onder constante druk ( $p=100 \text{ bara}$ ) verloopt.

**Vraag 5:**

In een cilinder afgesloten door een zuiger bevindt zich een gas met een volume van 0,08 m<sup>3</sup> en een druk van 25 bara en  $T_1 = 320 \text{ K}$ . De gas expandeert isentroop naar een volume van 0,24 m<sup>3</sup>  $n = 1,4$ .

Bereken:

- (20) Bereken de einddruk en de eind temperatuur na de expansie.

**Vraag 6:**

Lucht met een druk van 125 kPa en een temperatuur van 107 °C wordt isentroop gecomprimeerd tot het volume 8 maal zo klein is geworden.

$$c_p = 1005 \text{ J} / (\text{kg} \cdot \text{K})$$

$$R_s = 289 \text{ J} / (\text{kg} \cdot \text{K})$$

Bereken:

- (10) a. De einddruk.
- (10) b. De eindtemperatuur.
- (10) c. De verrichte arbeid per kg lucht.

**Vraag 7:**

In een verticale cilinder, aan de bovenzijde afgesloten door een wrijvingsloze zuiger waarop de atmosferische druk van 1 bara werkt, bevindt zich 0,5 m<sup>3</sup> lucht met een temperatuur van 100 °C. De oppervlakte van de zuiger bedraagt 0,1 m<sup>2</sup> en de massa van de zuiger bedraagt 100 kg. door afkoeling neemt het volume van de lucht af tot 0,375 m<sup>3</sup>.

$$c_p = 1,005 \text{ kJ} / (\text{kg} \cdot \text{K})$$

$$R_s = 287 \text{ J} / (\text{kg} \cdot \text{K})$$

$$g = 9,8 \text{ m} / \text{s}^2$$

Bereken:

- (10) a. De eindtemperatuur van de lucht.
- (10) b. De op het gas (lucht) verrichte arbeid.
- (10) c. De afgevoerde warmte.

### Vraag 8:

In een cilinder van een 2-slag benzinemotor (Otto-proces) wordt 0,8 mg benzine gemengd met 99,2 mg lucht, binnengelaten onder een druk van 2 bara en een temperatuur van 50 °C. Tijdens de adiabatische compressie wordt het volume ( $V_2$ ) driemaal zo klein. Het grootste volume dat de cilinder tijdens het kringproces krijgt bedraagt 65 cm<sup>3</sup> ( $V_1$ ).

De stookwaarde van de benzine  $H_0 = 32$  MJ/kg

Voor het benzine luchtmengsel geldt:

$$c_v = 0,71 \text{ kJ}/(\text{kg}\cdot\text{K}) \text{ en } k = 1,4$$

Gevraagd:

- (10) a. Bereken de eind compressiedruk  $p_2$ .
- (10) b. Bereken de eind compressietemperatuur  $T_2$ .
- (20) c. Bereken de verbrandingsdruk  $p_3$  en de verbrandingstemperatuur  $T_3$ .
- (10) d. Bereken de druk in punt 4 na isentrope expansie.

### Vraag 9:

Een ideaal gas van 2 bara en 300 K wordt polytroop ( $n=1,25$ ) gecomprimeerd tot 14 bara.

$$c_p = 1,005 \text{ kJ}/(\text{kg}\cdot\text{K}) \quad c_v = 0,716 \text{ kJ}/(\text{kg}\cdot\text{K})$$

Er mag worden aangenomen dat de soortelijke warmte ( $c$ ) over het gehele traject constant is.

Gevraagd:

- (20) a. Bereken de toe of afgevoerde warmte per kg gas.

### Vraag 10:

Van een Carnot proces is het rendement 50%. De gemiddelde temperatuur waarbij de warmte wordt toegevoerd bedraagt 900 K.

Bereken:

- (10) De gemiddelde temperatuur waarbij de warmte wordt afgevoerd.

### Vraag 11:

1 kg lucht beschrijft een standaard OTTO-kringproces.

$$c_p = 1,005 \text{ kJ}/(\text{kg}\cdot\text{K}) \quad c_v = 0,718 \text{ kJ}/(\text{kg}\cdot\text{K})$$

$$p_1 = 100 \text{ kPa} \quad T_1 = 290 \text{ K} \quad V_2 = 0,12 V_1 \quad p_3 = 1,6 p_2$$

- (10) a. Bereken  $T_2$ ,  $T_3$  en  $T_4$ .
- (10) b. Bereken het rendement  $\eta$ .
- (10) c. Bereken de geleverde arbeid  $W$  per kg lucht.
- (10) d. Bereken het geleverd vermogen als de totale cilinderinhoud 1,5 dm<sup>3</sup> is en het een viertakt motor is met een toerental van 3000 omw/ minuut.
- (10) e. Hoe groot wordt  $T_4$  als de expansie polytropisch  $n = 1,37$  verloopt in plaats van isentropisch?
- (10) f. Hoe groot wordt in dat geval het rendement?
- (10) g. Schets beide kringprocessen in één p-V diagram.

### Vraag 12:

Lucht van 1 bara en 350 K wordt isotherm gecomprimeerd tot 7 bara. Daarna wordt bij constante druk warmte toegevoerd tot de temperatuur 550 K is geworden. Vervolgens volgt een polytrope expansie tot de begintoestand weer is bereikt.

$$R = 287 \text{ J}/(\text{kg}\cdot\text{K}) \quad c_p = 1,005 \text{ kJ}/(\text{kg}\cdot\text{K}) \quad k = 1,4$$

Gevraagd:

- (10) a. Teken het proces in een p-V diagram.
- (10) b. Bereken de exponent van polytrope expansie.
- (10) c. Bereken de af te voeren warmte van 1 → 2.
- (10) d. Bereken de af te voeren warmte van 2 → 3.
- (10) e. Bereken de af te voeren warmte van 3 → 1.
- (10) f. Bereken het thermisch rendement van dit proces.

**Vraag 13:**

In een airconditioning installatie wordt een mengsel M van 80% retourlucht A en 20% buitenlucht B gekoeld tot 15 °C. (de inblaaslucht D). De retourlucht A heeft een temperatuur van 25 °C en een relatieve vochtigheid van 50 %. De buitenlucht B heeft een temperatuur van 35 °C en een natte bol temperatuur van 30 °C. Bij het koelen wordt een deel van mengsel M gekoeld tot 5 °C en een RV van 100 %, (punt C) zodat de inblaaslucht D te beschouwen is als een mengsel van C en M.

Gevraagd:

- (10) a. Hoeveel warmte moet er in de koeler gerekend per kg droge lucht worden onttrokken?
- (10) b. Hoeveel condensaat ontstaat er per kg droge lucht?
- (10) c. Hoeveel warmte wordt er in de te koelen ruimte per kg droge lucht opgenomen?
- (10) d. Hoeveel vocht wordt er in de te koelen ruimte per kg droge lucht opgenomen?
- (20) e. Teken het proces in het h-x diagram en geef de punten A, B, M, C en D aan. Voor h-x diagram zie bijlage.

**Vraag 14:**

Gegeven:

$$p_1 = 2 \text{ bara}$$

$$V_1 = 20 \text{ ltr}$$

$$T_1 = 27 \text{ °C}$$

Gas is O<sub>2</sub>

- (5) a. Bereken de massa gas m.

**Vraag 15:**

Een dakbedekking bestaat uit grind, zinkplaat, hout en isolatie.



Dikte van de grindlaag = 3 cm  $\lambda_{\text{grind}} = 0,8 \text{ W}/(\text{m}\cdot\text{K})$

Plaatdikte zink = 1mm  $\lambda_{\text{zink}} = 110 \text{ W}/(\text{m}\cdot\text{K})$

Houtdikte = 2,5 cm  $\lambda_{\text{hout}} = 0,2 \text{ W}/(\text{m}\cdot\text{K})$

Isolatie dikte 2 cm  $\lambda_{\text{isolatie}} = 0,1 \text{ W}/(\text{m}\cdot\text{K})$

De binnentemperatuur is 22 °C.

Het dauwpunt van de lucht is 14 °C.

- (10) a. Bereken het "warmteverlies" per m<sup>2</sup> dakbedekking als de buitentemperatuur 10 °C is.
- (10) b. Bij welke buitentemperatuur zou, bij niet goed afsluitende isolatie, tussen hout en isolatie condens kunnen ontstaan?
- (10) c. Bij welke buitentemperatuur zou tussen hout en isolatie condens kunnen ontstaan indien de isolatie aan de buitenkant, d.w.z tussen het hout en het zink, wordt aangebracht?

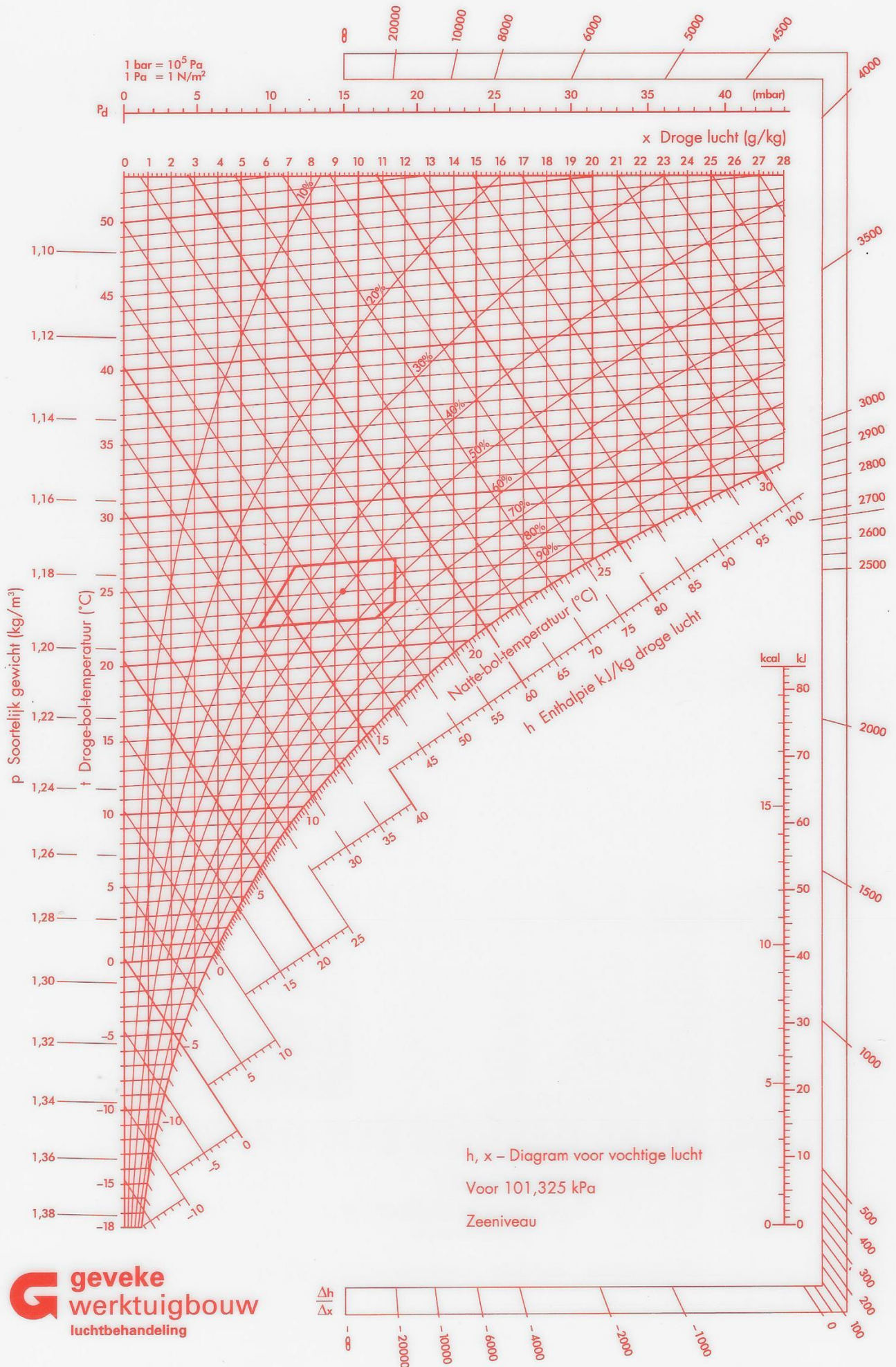
**Vraag 16:**

In een warmtewisselaar wordt vloeibare benzeen verwarmd van 10°C tot 90 °C met behulp van verzadigde stoom van 1 bar. De stoom condenseert hierbij net helemaal.

De verdampingswarmte van de stoom is 2256 kJ/kg. De wanddikte van het materiaal waarover de warmte overdracht plaatsvindt is 5 mm  $\lambda_{\text{staal}} = 57 \text{ W}/(\text{m}\cdot\text{K})$   $\alpha_{\text{benzeen}} = 1500 \text{ W}/(\text{m}^2\cdot\text{K})$

$\alpha_{\text{stoom}} = 10000 \text{ W}/(\text{m}^2\cdot\text{K})$ . De soortelijke warmte van benzeen is 1,75 kJ/(kg·K)

- (10) a. Bereken de warmtedoorgangscoefficient k
- (10) b. Hoeveel stoom is nodig per kg benzeen.
- (10) c. Bereken het, voor de warmteoverdracht benodigde oppervlak als de massastroom benzeen 20 kg/s is.
- (10) d. Maakt in dit geval mee- of tegenstroom iets uit ?



## ANTWOORDEN EXAMEN THERMODYNAMICA

---

### Vraag 1.

(10)Antwoord 1a :

$$m \cdot R_s = \frac{p \cdot V}{T}$$

$$\frac{m}{V} \cdot R_s = \frac{p}{T} \Rightarrow \rho \cdot R_s = \frac{p}{T}$$

$$R_s = \frac{p}{T \cdot \rho} = \frac{1 \cdot 10^5}{273 \cdot 1,5} = 244,2 \text{ J / (kg} \cdot \text{K)}$$

(10)Antwoord 1b:

$$m \cdot R_s = \frac{p \cdot V}{T} \Rightarrow p = \frac{m \cdot R_s \cdot T}{V}$$

$$p = \frac{2,75 \cdot 244,2 \cdot 300}{0,02} = 10.073.250 \text{ N / m}^2$$

$$p = 100,7 \text{ bara}$$

### Vraag 2.

(30)Antwoord 2a.

We nemen aan dat er 10 m<sup>3</sup> gas aanwezig is, dan geldt voor:

$$CO: 0,3 \cdot 10 = 3 \text{ m}^3 CO$$

$$m \cdot R_s = \frac{p \cdot V}{T} \Rightarrow m = \frac{1 \cdot 10^5 \cdot 3}{283 \cdot 297} = 3,569 \text{ kg}$$

$$H_2: 0,16 \cdot 10 = 1,6 \text{ m}^3 H_2$$

$$m \cdot R_s = \frac{p \cdot V}{T} \Rightarrow m = \frac{1 \cdot 10^5 \cdot 1,6}{283 \cdot 4125} = 0,137 \text{ kg}$$

$$N_2: 0,54 \cdot 10 = 5,4 \text{ m}^3 N_2$$

$$m \cdot R_s = \frac{p \cdot V}{T} \Rightarrow m = \frac{1 \cdot 10^5 \cdot 5,4}{283 \cdot 296,7} = 6,431 \text{ kg}$$

totaal 10,137 kg

$$CO: \frac{3,569}{10,137} \cdot 100\% = 35,20 \text{ m}\% CO$$

$$H_2: \frac{0,137}{10,137} \cdot 100\% = 1,35 \text{ m}\% H_2$$

$$N_2: \frac{6,431}{10,137} \cdot 100\% = 63,44 \text{ m}\% N_2$$

(10)Antwoord 2b. De specifieke gasconstante van het gasmengsel.

$$R_m = 0,352 \cdot 297 + 0,0135 \cdot 4125 + 0,6344 \cdot 296,7$$

$$R_m = 348,45 \text{ J / (kg} \cdot \text{K)}$$

### Vraag 3.

#### (30) Antwoord 3a:

Het benodigde oppervlak van de oververhitter als rekening gehouden moet worden met 15% vervuiling:

$$\Delta T_{meestroom} = \frac{400 - 100}{\ln 4} = 216,4 \text{ K}$$

$$\Delta T_{tegenstroom} = \frac{320 - 180}{\ln \frac{320}{180}} = 243,32 \text{ K}$$

$$\Delta T_{ovo} = \frac{216,4 + 243,32}{2} = 229,86 \text{ K}$$

$$k = \frac{1}{\frac{1}{50} + \frac{0,005}{40} + \frac{1}{380}} = 43,94 \text{ W / (m}^2 \cdot \text{K)}$$

$$\dot{Q} = \dot{m}_s \cdot \Delta h$$

$$\dot{Q} = 50 \cdot (3275,51 - 3033,11)$$

$$\dot{Q} = 12.120 \text{ kW}$$

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

$$12.120 \cdot 1000 = 43,94 \cdot A \cdot 229,86$$

$$A = 1200 \text{ m}^2$$

$$\text{Bij 15\% vervuiling } A = \frac{1200}{0,85} = 1411,75 \text{ m}^2$$

#### (20) Antwoord 3b.

De wandtemperatuur van de oververhitter rookgaszijdig ter plaatse van de stoomtemperatuur 460 °C en een rookgastemperatuur van 780 °C:

$$(t_1 - t_2) \cdot k = q$$

$$(780 - 460) \cdot 43,94 = q$$

$$q = 14.060,8 \text{ W / m}^2$$

$$(t_1 - t_w) = \frac{q}{\alpha_1}$$

$$t_w = 780 - \frac{14.060,8}{50} = 499 \text{ °C}$$

#### Vraag 4

**(10) Antwoord 4a.** De arbeid die bij de overgang van water in stoom wordt verricht.

$$W = p \cdot \Delta V \Rightarrow$$

$$W = 100 \cdot 10^5 \cdot (0,01803 - 0,0010228)$$

$$W = 170072 \text{ J / kg}$$

$$W = 170 \text{ kJ / kg}$$

#### **(10) Antwoord 4b.**

De verandering van de inwendige energie als er vanuit mag worden gegaan dat het proces onder constante druk ( $p=100 \text{ bara}$ ) verloopt.

$$\Delta h = \Delta U + W$$

$$2725 - 300 = \Delta U + 170$$

$$\Delta U = 2255 \text{ kJ / kg}$$

#### Vraag 5

(20) Antwoord 5.

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

$$p_2 = p_1 \cdot \left(\frac{V_1}{V_2}\right)^n$$

$$p_2 = 25 \cdot \left(\frac{0,08}{0,24}\right)^{1,4} = 19,46 \text{ bar}$$

$$\frac{p_1 \cdot V_1}{T_1} = \frac{p_2 \cdot V_2}{T_2}$$

$$T_2 = \frac{p_2 \cdot V_2 \cdot T_1}{p_1 \cdot V_1} = \frac{19,46 \cdot 0,24 \cdot 320}{25 \cdot 0,08} = 747 \text{ K}$$

#### Vraag 6

Antwoord 6.

$$R_s = c_p - c_v \Rightarrow c_v = c_p - R_s = 1005 - 289 = 716 \text{ J / (kg} \cdot \text{K)}$$

$$k = \frac{c_p}{c_v} = \frac{1005}{716} = 1,4$$

**(10)6a.** De einddruk:

$$p_1 \cdot V_1^k = C \Rightarrow p_2 = p_1 \cdot \left(\frac{V_1}{V_2}\right)^k$$

$$p_2 = 125 \cdot \left(\frac{1}{\frac{1}{8}}\right)^{1,4} = 2297 \text{ kPa} = 2297000 \text{ Pa} = 22,97 \text{ bara}$$

**(10)6b.** De eindtemperatuur:

$$T_2 = \left(\frac{V_1}{V_2}\right)^{k-1} \cdot T_1 \Rightarrow T_2 = 8^{0,4} \cdot (107 + 273) = 873 \text{ K}$$

**(10)6c.** De verrichte arbeid per kg:

Bij de isentroop geldt:

$$Q = \Delta U + W \text{ en } Q = 0$$

$$W = -\Delta U = -m \cdot c_v \cdot \Delta T$$

$$W = -1 \cdot 0,716 \cdot (873 - 380) = -353 \text{ kJ / kg}$$



**Vraag 7**

Antwoord 7

**(10)7a.**

$$p_1 = \frac{F}{A} + p_a = \frac{100 \cdot 9,8}{0,1} + 100.000 = 109.800 \text{ N/m}^2$$

$$m \cdot R_s = \frac{p \cdot V}{T} \Rightarrow m = \frac{109.800 \cdot 0,5}{373 \cdot 287} = 0,5128 \text{ kg}$$

$$p = \text{constant: } m \cdot R_s = \frac{p_2 \cdot V_2}{T_2} \Rightarrow T_2 = \frac{109.800 \cdot 0,375}{0,5128 \cdot 287} = 279,75 \text{ K}$$

$$T_2 = 279,75 \text{ K}$$

**(10)7b.**

$$W = p \cdot \Delta V = 109.800 \cdot (0,375 - 0,5)$$

$$W = -13.725 \text{ J}$$

$$W = -13,725 \text{ kJ}$$

**(10)7c.**

$$Q = \Delta U_k + W$$

$$c_v = c_p - R_s = 0,718 \text{ kJ} / (\text{kg} \cdot \text{K})$$

$$Q = m \cdot c_v \cdot \Delta t + W$$

$$Q = 0,5128 \cdot 0,718 \cdot (279,75 - 373) - 13,725$$

$$Q = -48,06 \text{ kJ}$$

**Vraag 8:**

Antwoord 8.

**(10)8a.**

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

$$2 \cdot 1^{1,4} = p_2 \cdot \left(\frac{1}{3}\right)^{1,4}$$

$$p_2 = 9,31 \text{ bara}$$

**(10)8b.**

$$V = \text{constant} \quad \frac{p_2}{T_2} = \frac{p_3}{T_3}$$

Voor  $T_2$  geldt:

$$\frac{p_1 \cdot V_1}{T_1} = \frac{p_2 \cdot V_2}{T_2} \Rightarrow \frac{2 \cdot 65}{323} = \frac{9,31 \cdot \frac{1}{3} \cdot 65}{T_2}$$

$$T_2 = 501,2 \text{ K}$$

**(20)8c.**

Bij de verbranding van 0,8 mg benzine komt aan warmte vrij:

$$0,8 \cdot 10^{-6} \cdot 32 \cdot 10^6 = 25,6 \text{ J}$$

$$Q = m \cdot c_v \cdot (T_3 - T_2)$$

$$25,6 = (0,8 + 99,2) \cdot 10^{-6} \cdot 0,71 \cdot 10^3 \cdot (T_3 - 501,2 \text{ K})$$

$$T_3 = 861,76 \text{ K}$$

$$\frac{p_2}{T_2} = \frac{p_3}{T_3} \Rightarrow p_3 = T_3 \cdot \frac{p_2}{T_2}$$

$$p_3 = 861,76 \cdot \frac{9,31}{501,2} = 16 \text{ bara}$$

**(10)8d.**

$$\frac{p_4 \cdot V_4}{T_4} = \frac{p_1 \cdot V_1}{T_1} \Rightarrow \frac{p_4}{T_4} = \frac{p_1}{T_1}$$

$$p_3 \cdot V_3^k = p_4 \cdot V_4^k \quad V_3 = \frac{1}{3} \cdot V_4$$

$$16 \cdot \left(\frac{1}{3}\right)^{1,4} = p_4 \cdot 1^{1,4} \Rightarrow p_4 = 3,43 \text{ bara}$$

**Vraag 9:**

Antwoord 9:

**(20)9a.**

$$Q = m \cdot c \cdot \Delta T = 1 \cdot 0,44 \cdot (442,7 - 300)$$

$$Q = -62,78 \text{ kJ / kg}$$

**Vraag 10:**

(10) Antwoord 10:

$$\eta_{\text{Carnot}} = \frac{T_2 - T_1}{T_2} \Rightarrow 0,50 = \frac{900 - T_1}{900} \Rightarrow T_1 = 450 \text{ K}$$

**Vraag 11:**

Antwoord 11:

**(10)11a.**

$$T_2 = T_1 \cdot \left(\frac{V_1}{V_2}\right)^{\gamma-1} \Rightarrow T_2 = 290 \cdot \left(\frac{1}{0,12}\right)^{1,4-1} = 677 \text{ K}$$

$$\text{Isochoor } \frac{T_3}{T_2} = \frac{p_3}{p_2} \Rightarrow T_3 = 1,6 \cdot 677 = 1084 \text{ K}$$

$$T_4 = T_3 \cdot \left(\frac{V_2}{V_1}\right)^{\gamma-1} \Rightarrow T_4 = 1084 \cdot \left(\frac{0,12}{1}\right)^{1,4-1} = 464 \text{ K}$$

**(10)11b.**

$$\eta_{\text{otto}} = 1 - \frac{T_1}{T_2} = 1 - \frac{290}{677} = 0,571 = 57,1 \%$$

**(10)11c.**

$$\begin{aligned} \sum W &= \sum Q = m \cdot c_v \cdot (T_3 - T_2) + m \cdot c_v \cdot (T_1 - T_4) \\ &= 1 \cdot 0,718 \cdot (1084 - 677) + 1 \cdot 0,718 \cdot (290 - 464) \\ &= 167,3 \text{ kJ per kg lucht} \end{aligned}$$

**(10)11d.**

$$1,5 \text{ dm}^3 = 1,5 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3 \text{ bij } 290 \text{ K en } 100 \text{ kPa}$$

$$m = \frac{p \cdot V}{R_s \cdot T} = \frac{100 \cdot 10^3 \cdot 1,5 \cdot 10^{-3}}{287 \cdot 290} = 0,0018 \text{ kg}$$

$$3000 \text{ omw/min} = 50 \text{ omw/sec} \Rightarrow \dot{m} = \frac{50}{2} \cdot 0,0018 \text{ kg/s} = 0,045 \text{ kg/s}$$

$$P = \text{arbeid/kg} \cdot \dot{m} = 167,3 \text{ kJ/kg} \cdot 0,045 \text{ kg/s} = 7,5 \text{ kW}$$

**(10)11e.**

$$T_4 = T_3 \cdot \left(\frac{V_2}{V_1}\right)^{\gamma-1} = 1084 \cdot \left(\frac{0,12}{1}\right)^{1,37-1} = 495 \text{ K}$$

**(10)11f.**

$$Q_{1,2} = 0 \quad Q_{2,3} = m \cdot c_v \cdot (T_3 - T_2) = 0,718 \cdot (1084 - 677) = 292,2 \text{ kJ}$$

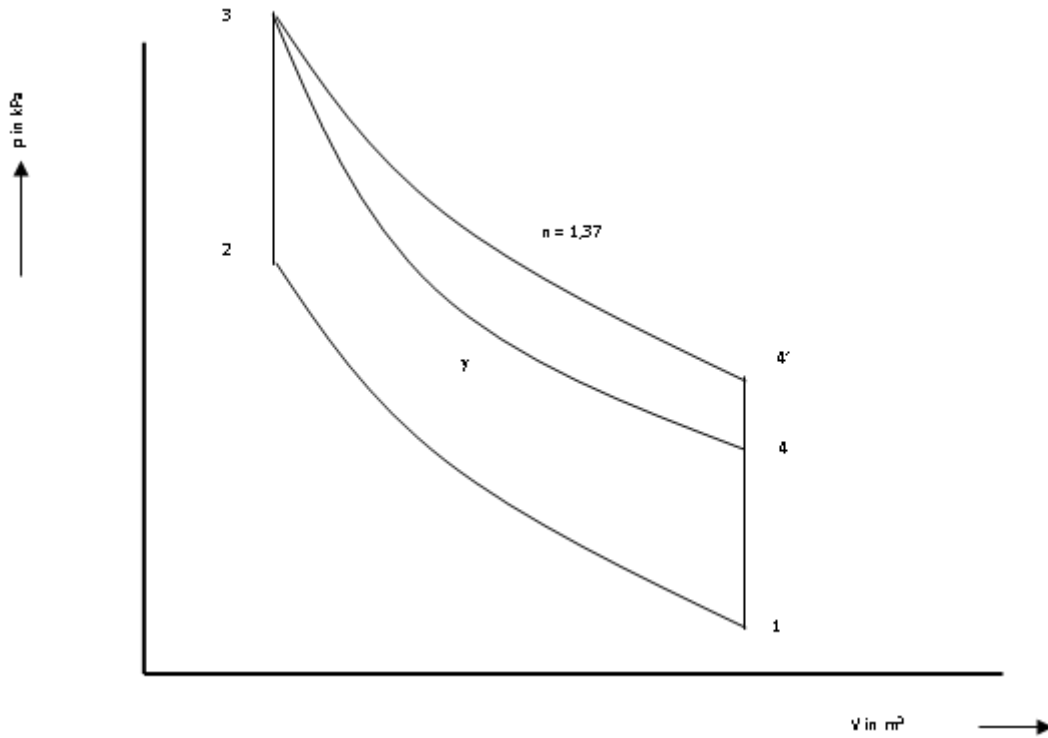
$$c = \frac{n - \gamma}{n - 1} \cdot c_v = \frac{1,37 - 1,4}{1,37 - 1} \cdot 0,718 = -0,058$$

$$Q_{3,4'} = m \cdot c \cdot (T_{4'} - T_3) = 1 \cdot -0,058 \cdot (495 - 1084) = 34,3 \text{ kJ}$$

$$Q_{4',1} = m \cdot c_v \cdot (T_1 - T_{4'}) = 1 \cdot 0,718 \cdot (290 - 495) = -147,2 \text{ kJ}$$

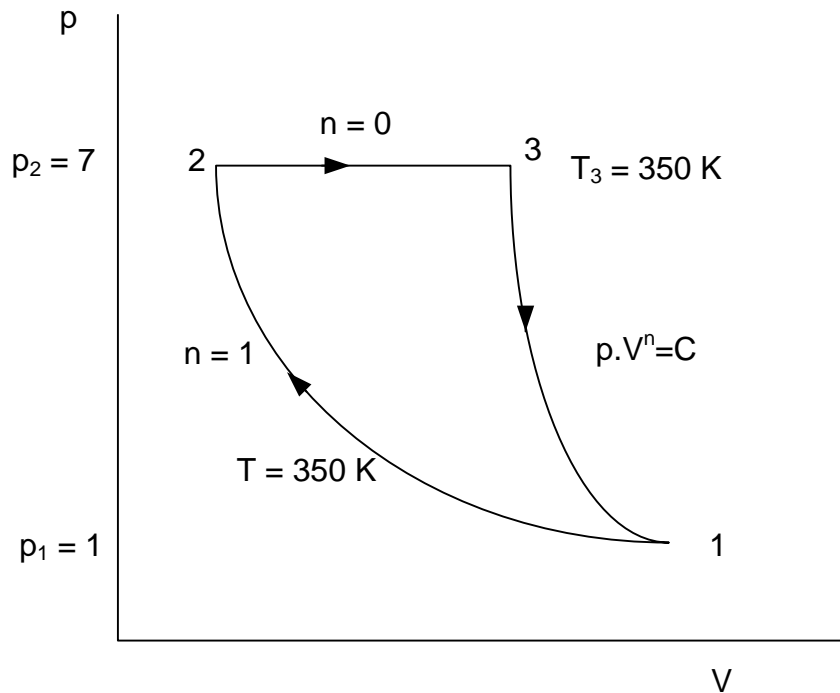
$$\eta = \frac{\sum W}{Q_{\text{toe}}} \cdot 100\% = \left( \frac{292,2 + 34,3 - 147,2}{292,2 + 34,3} \right) \cdot 100\% = \frac{179,3}{326,5} \cdot 100\% = 54,9 \%$$

**(10)11g.**



**Vraag 12:**

Antwoord 12:

**(10)12a.**

**(10)12b.**

P <sub>1</sub> = 1 bara T <sub>1</sub> = 350 K	P <sub>2</sub> = 7 bara T <sub>2</sub> = 350 K	P <sub>3</sub> = 7 bara T <sub>3</sub> = 550 K
---	---	---

$$\frac{p_3 \cdot V_3^n}{\left(\frac{p_3 \cdot V_3}{T_3}\right)^n} = \frac{p_1 \cdot V_1^n}{\left(\frac{p_1 \cdot V_1}{T_1}\right)^n} \Rightarrow p_3^{1-n} \cdot T_3^n = p_1^{1-n} \cdot T_1^n$$

$$\left(\frac{p_3}{p_1}\right)^{1-n} = \left(\frac{T_1}{T_3}\right)^n \Rightarrow \left(\frac{p_3}{p_1}\right)^{\frac{1-n}{n}} = \left(\frac{T_1}{T_3}\right) \Rightarrow \frac{1-n}{n} = \frac{\ln\left(\frac{T_1}{T_3}\right)}{\ln\left(\frac{p_3}{p_1}\right)}$$

$$\frac{1-n}{n} = \frac{\ln\left(\frac{350}{550}\right)}{\ln\left(\frac{7}{1}\right)} \Rightarrow 1-n = n \cdot 0,2322$$

$$n = 1,3025$$

**(10)12c.**

Voor m = 1 kg geldt 1 → 2 isotherm.

$$Q_{1 \rightarrow 2} = m \cdot R_s \cdot T_1 \cdot \ln \frac{p_1}{p_2} = 1 \cdot 0,287 \cdot 350 \cdot \ln \frac{1}{7}$$

$$Q_{1 \rightarrow 2} = -195,46 \text{ kJ}$$

**(10)12d.**

Voor m = 1 kg geldt 2 → 3 isobaar.

$$Q_{2 \rightarrow 3} = m \cdot c_p \cdot \Delta T = 1 \cdot 1,005 \cdot (550 - 350)$$

$$Q_{2 \rightarrow 3} = 201 \text{ kJ}$$

**(10)12e.**

$$k = \frac{c_p}{c_v} \Rightarrow c_v = \frac{1,005}{1,4} = 0,7178 \text{ kJ} / (\text{kg} \cdot \text{K})$$

$$c = \frac{n \cdot c_v - c_p}{n - 1} \Rightarrow c = \frac{1,3025 \cdot 0,7178 - 1,005}{1,3025 - 1}$$

$$c = -0,2313 \text{ kJ} / (\text{kg} \cdot \text{K})$$

$$Q_{3 \rightarrow 1} = m \cdot c \cdot \Delta T$$

$$Q_{3 \rightarrow 1} = 1 \cdot 0,2313 \cdot (350 - 550) = 46,26 \text{ kJ}$$

**(10)12f.**

$$\eta = \frac{\sum Q}{Q_{\text{toe}}} = \frac{-195,46 + 201 + 46,26}{201 + 46,26} \cdot 100\% = 20,94\%$$

**Vraag 13:**

Antwoord 13:

Lucht A:  $h_A = 50 \text{ kJ/kg}$                        $x_A = 10 \text{ g/kg}$

Lucht B:  $h_B = 100 \text{ kJ/kg}$     $x_B = 25,2 \text{ g/kg}$

Lucht M:  $h_M = 0,2 \cdot 100 + 0,8 \cdot 50 = 60 \text{ kJ/kg}$

$x_M = 0,2 \cdot 25,2 + 0,8 \cdot 10 = 13 \text{ g/kg}$

Lucht C:  $h_C = 18 \text{ kJ/kg}$                        $x_C = 5,4 \text{ g/kg}$

De inblaaslucht D is een mengsel van C en M  $\Rightarrow$

D ligt op een lijn tussen C en M  $t_D = 15 \text{ }^\circ\text{C}$   $\Rightarrow$

$h_D = 37 \text{ kJ/kg}$      $x_D = 9 \text{ g/kg}$

**(10)13a.**

In de koeler wordt  $h_D - h_M =$

$37 - 60 = -23 \text{ kJ/kg}$  warmte onttrokken.

**(10)13b.**

Er condenseert  $x_M - x_D = 13 - 9 = 4 \text{ g/kg}$

**(10)13c.**

Opgenomen warmte in de te koelen ruimte is:

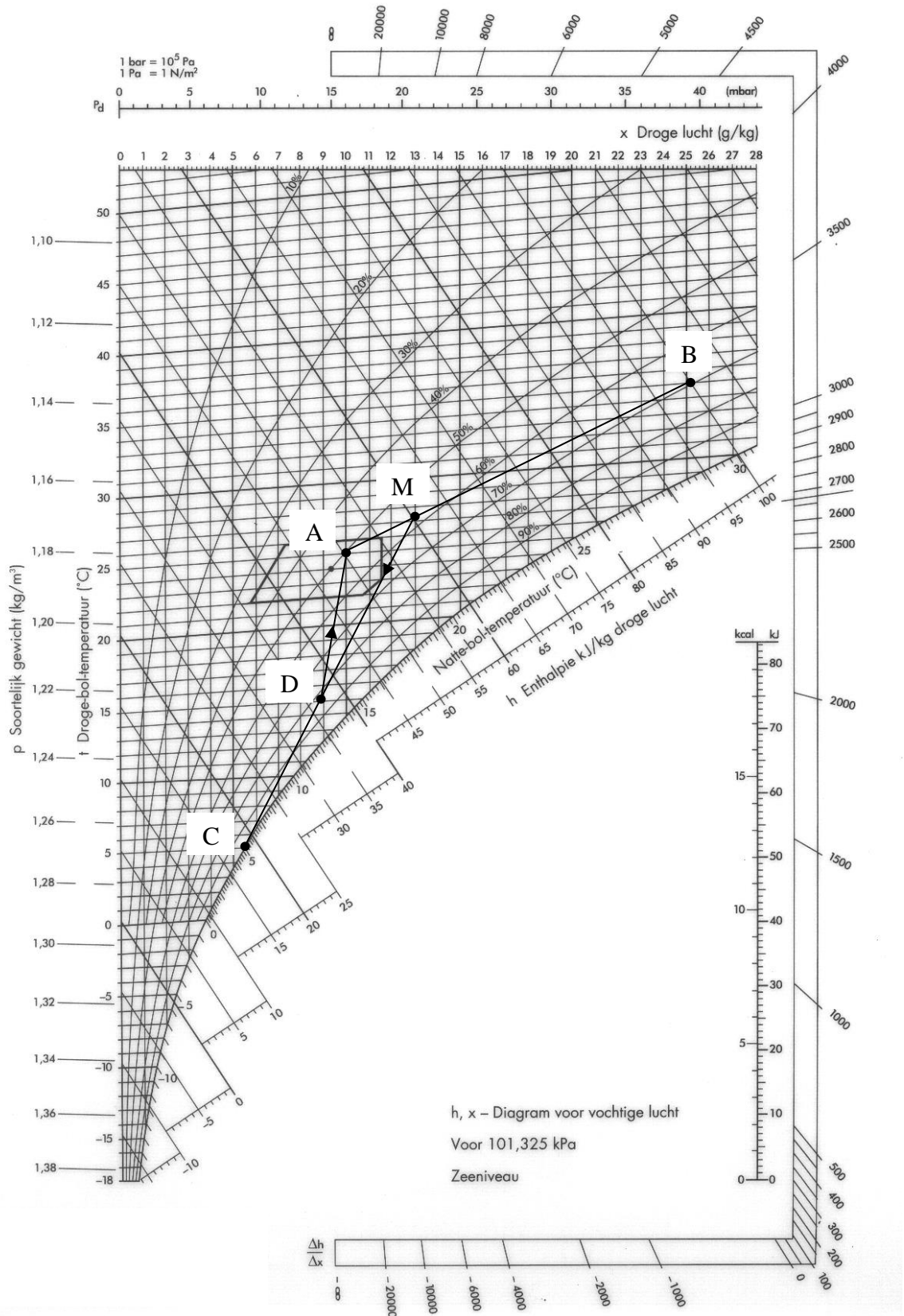
$h_A - h_D = 50 - 37 = 13 \text{ kJ/kg}$

**(10)13d.**

De absolute vochtigheid neemt toe:

$x_A - x_D = 10 - 9 = 1 \text{ g/kg}$

(20)13e.



**Vraag 14:**

Antwoord 14:

**(5)14a.**

$$M \cdot R_s = 8315 \text{ Nm} / (\text{kmol} \cdot \text{K})$$

$$32 \cdot R_s = 8315$$

$$R_s = 259,86 \text{ Nm} / (\text{kg} \cdot \text{K})$$

$$m \cdot R_s = \frac{p \cdot V}{T} \Rightarrow m = \frac{2 \cdot 10^5 \cdot 0,02}{300 \cdot 259,86}$$

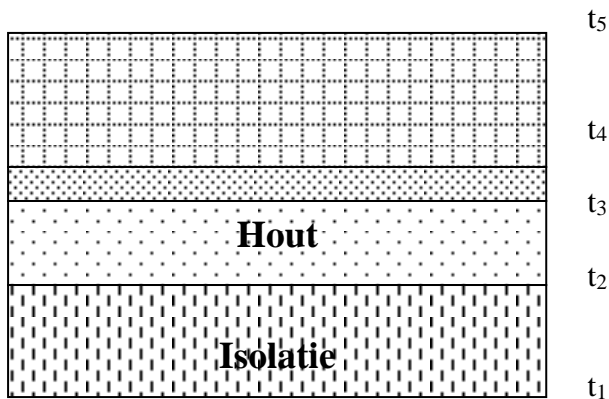
$$m = 0,0513 \text{ kg}$$

**Vraag 15:**

Antwoord 15:

**(10)15a.**

$$\frac{\dot{Q}}{A} = \frac{1}{\sum \frac{d}{\lambda}} \cdot (t_1 - t_5) = \frac{1}{\frac{0,03}{0,8} + \frac{0,001}{110} + \frac{0,025}{0,2} + \frac{0,02}{0,1}} \cdot (22 - 10) = 33,1 \text{ W/m}^2$$



**(10)15b.**

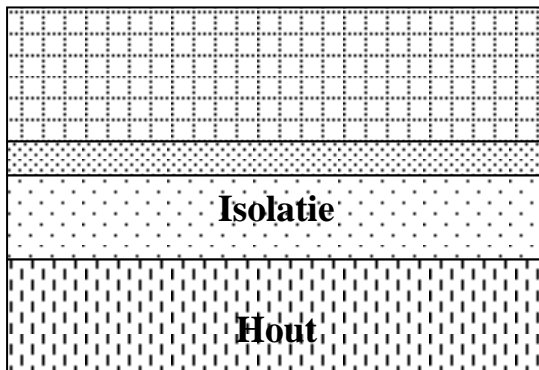
Condensatie kan optreden als  $t_2 < 14 \text{ }^\circ\text{C}$

$$\frac{\dot{Q}}{A} = \frac{\lambda}{d} \cdot (t_1 - t_2) = \frac{0,1}{0,02} \cdot (22 - 14) = 40 \text{ W/m}^2$$

$$t_1 - t_5 = \frac{\dot{Q}}{A} \cdot \sum \frac{d}{\lambda} = 40 \cdot 0,3625 = 14,5 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$\Rightarrow t_5 = 7,5 \text{ }^\circ\text{C}$$

**(10)15c.**



$$\frac{\dot{Q}}{A} = \frac{\lambda}{d} \cdot (t_1 - t_2) = \frac{0,2}{0,025} \cdot (22 - 14) = 64 \text{ W/m}^2$$

$$t_1 - t_5 = 64 \cdot 0,3625 = 23,2 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$t_5 = 22 - 23,2 = -1,2 \text{ }^\circ\text{C}$$

**Vraag 16:**

Antwoord 16:

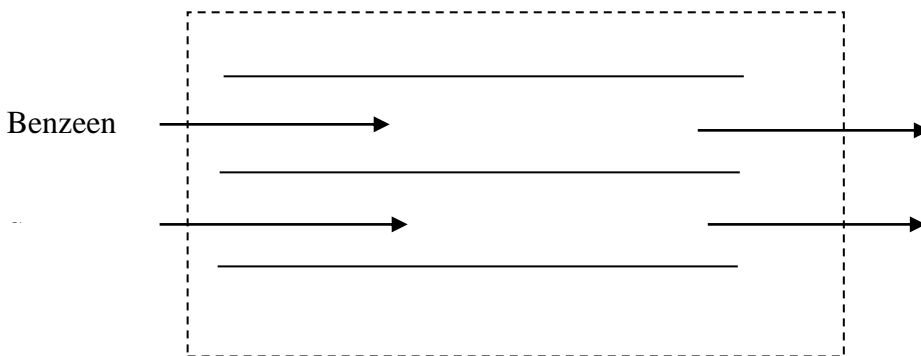
**(10)16a.**

Vlakke plaat:

$$k = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_1} + \frac{d}{\lambda} + \frac{1}{\alpha_2}} \Rightarrow k = \frac{1}{\frac{1}{1500} + \frac{0,005}{57} + \frac{1}{10000}}$$

$$k = 1170 \text{ W/(m}^2 \cdot \text{K)} = 1,17 \text{ kW/(m}^2 \cdot \text{K)}$$

**(10)16b.**



Open systeem:

$$Q = \Delta H + W + \Delta E_k + \Delta E_p$$

$$Q = 0$$

$$W = 0$$

$$\Delta E_k = 0$$

$$\Delta E_p = 0$$

$$\Delta H = 0$$

$$m c \Delta T - m_{\text{stoom}} \cdot r = 0$$

$$1 \cdot 1,75 \cdot (90 - 10) = m_{\text{stoom}} \cdot 2256$$

$$m_{\text{stoom}} = 0,0621 \text{ kg per kg benzeen.}$$



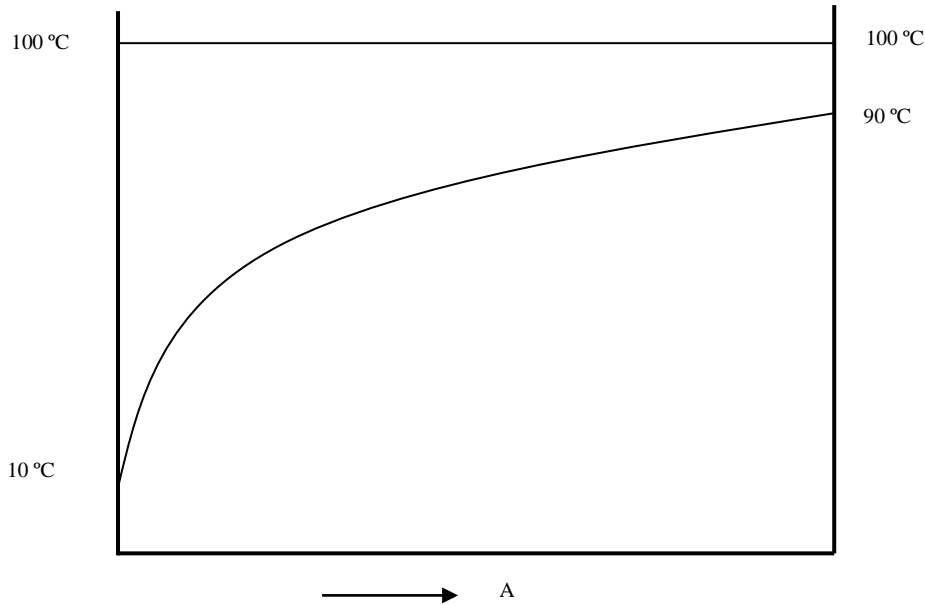
**(10)16c.**

$$\dot{Q} = \dot{m}_{\text{benzeen}} \cdot 1,75 \cdot (90 - 10) = 20 \cdot 140 = 2800 \text{ kW}$$

$$\Delta T_{\text{gem}} = \frac{\Delta T_{\text{max}} - \Delta T_{\text{min}}}{\ln \frac{\Delta T_{\text{max}}}{\Delta T_{\text{min}}}} = \frac{90 - 10}{\ln \frac{90}{10}} = 36,4 \text{ K}$$

$$\dot{Q} = A \cdot k \cdot \Delta T_{\text{gem}} \Rightarrow 2800 = A \cdot 1,17 \cdot 36,4 \Rightarrow A = 65,7 \text{ m}^2$$

**(10)16d.**



Tegen of meestroom maakt in dit geval niets uit omdat de temperatuur van de condenserende stoom constant 100 °C is.