

Energiteknik

Tentakit

Kf

Sidor: ~~92~~ ~~0-46~~

Pris: ~~30 kr~~ 45 kr

~~45~~
25 kr

**TENTAMEN I ENERGITEKNIK K för K3 och KF3,
1996-04-10 kl 08.45-12.45**

Tentamen omfattar:

Avdelning A: Teori och beskrivande moment
Inga hjälpmedel

Avdelning B: Problem
Tillåtna hjälpmedel:
K-märkta räknedosor eller typgodkända räknedosor.
Föreläsningssanteckningar (eller veckoblad) i Energiteknik, kursmaterial i
Energiteknik och Transportprocesser (ej exempelsamlingar), handböcker.

OBS! Till tentamen får icke medföras lösta exempel. Sådana skall, om de medförs, överlämnas till tjänstgörande skrivningsvakter omedelbart efter det att du tagit del av detta papper. Innehav av lösta exempel under skrivningen medför ovillkorligen att du avvisas från densamma.

När ekvationer används utan härledningar bör källa anges.

Använda symboler skall definieras om dessa inte är lika kursmaterialets. Institutionen förbehåller sig rätten att värdera lösning innehållande odefinierade symboler med 0 poäng.

Skrivtid: 4 tim.

För godkänt krävs minst 15 poäng.

Lennart Persson, tel CTH: 7723015, kommer från ca kl 09.15 att vara tillgänglig för frågor i skrivsalen.

Lösningar finns anslagna tentamensdagen kl 10.00 på VoMs anslagstavla på institutionen.

Betygslistan anslås senast måndag 96-04-29.

Granskning av rättning får ske torsdag 96-05-02 kl 12.00-13.00 i VoMs bibliotek.

Avdelning A måste lämnas in innan avdelning B (med hjälpmedel) får påbörjas!

OBS! Vissa tentamensuppgifter är avsedda endast för **KF-teknologer inskrivna 1992!**

AVDELNING A

A 1. I en gasturbin med avgaspanna för kraftvärmeproduktion tillgripes ibland tillsatseldning. Var i processen görs tillsatseldningen? Visa med en principskiss! (1 p)

Jämfört med att producera det extra värmebehovet i en separat ång- eller hetvattenpanna fås en högre totalverkningsgrad med tillsatseldning. Motivera noggrant varför! (2 p)

Hur påverkar tillsatseldningen elproduktionen, om värmebehovet är givet och konstant? Motivera svaret! (2 p)

(5 p)

A 2. En värmväxlare skall anskaffas för en uppgift där salthaltigt havsvatten skall kyla en procesström. Vilken typ och vilket material bör väljas om procesströmmen är:

- a) vattenlösning av ca 100 °C? (2 p)
- b) en aromatisk kolväteström av ca 160 °C? (2 p)
- c) en vakuumånga? (1 p)

Motivera!

(5 p)

A 3. (Ej Kf -92). Stenkol kan användas som bränsle i olika typer av pannor.

a) Ange minst tre olika alternativ med avseende på förbehandling av bränslet, typ av eldstad och förbränningsanordning m m! (3p)

b) Diskutera olika åtgärder att minimera utsläpp av svaveloxider och kväveoxider vid dessa pannalternativ! (2p)

(5 p)

AVDELNING B

B 1. Två lika stora värmeväxlare övervägs för en uppgift där 2,0 kg/s olja av 125 °C skall kylas med hälften så stort flöde vatten av 10°C. Det ena alternativet är en motströmsvärmeväxlare och det andra alternativet är en korsströmsvärmeväxlare. Båda antas ha en värmegenomgångskoefficient av 230 W/(m²K). I motströmsvärmeväxlaren kan oljan kylas till 50 °C. Till vilken temperatur kan oljan kylas i korsströmsvärmeväxlaren? c_p för oljan är 1880 (J/kgK).

(5p)

B 2. Från en sluten tank leds olja till en punkt 6,1 m över oljenivån i tanken. Rörledningen är 153 m lång och 0,153 m i diameter. Rörledningen är av stål. Vid rörutloppet råder atmosfärstryck. Bestäm det övertryck som måste råda i oljetanken för att oljeflödet skall vara 0,127 m³/s! Rörinloppet är skarpkantat. För oljan gäller $\rho = 840 \text{ kg/m}^3$ och $\mu = 4,4 \cdot 10^{-3} \text{ Ns/m}^2$.

(5 p)

B.3. En koleldad panna skall eventuellt byggas om för att få en bättre verkningsgrad. Det använda kolet (inkl fukt) har ett kalorimetriskt värmevärde av 36,0 MJ/kg. Vätskehalten och fukthalten är 5,5 respektive 4,0 %. Avgastemperaturen är 192 °C och lufttemperaturen 40 °C. Utstrålningsförlusten är 4,2 % (av tillfört värme genom bränslet). Åtgärderna består dels av utökad konvektionsyta i pannan, dels av bättre isolering av pannan. Resultatet förväntas bli en halvering av utstrålningsförlusten och en sänkning av avgastemperaturen till 160 °C. Lufttemperaturen sjunker samtidigt till 35 °C. Beräkna den procentuella minskningen i bränsleförbrukningen genom ombyggnaden vid oförändrad CO₂-halt 14 %!

(5 p)

B.4. (Endast Kf-92). Ett gasturbinaggregat av modern typ levererar en eleffekt av 41,0 MW. Temperaturen i inloppet till turbinen är 1220 °C, och tryckförhållandet är 30,0. Bränsleförbrukningen motsvarar en värmeförlust i brännkammaren av 102,5 MW vid full last och en lufttemperatur av 20 °C. Hur hög är isentropverkningsgraden för kompressorn och turbinen, om den kan antas vara lika i de båda maskinerna? Antag att arbetsmediet är luft rakt igenom med $c_p = 1,005 \text{ kJ/(kg K)}$. De mekaniska och elektriska förlusterna kan antas uppgå till sammanlagt 5,0 %.

(5 p)

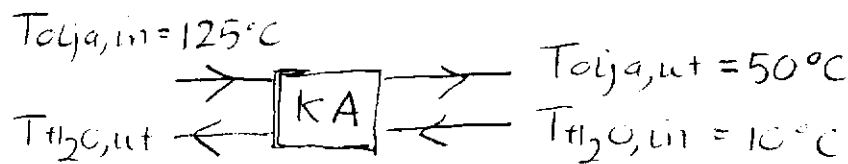
Lycka till!

B 1. Två lika stora värmeväxlare övervägs för en uppgift där $2,0 \text{ kg/s}$ olja av 125°C skall kylas med hälften så stort flöde vatten av 10°C . Det ena alternativet är en motströmsvärmeväxlare och det andra alternativet är en korsströmsvärmeväxlare. Båda antas ha en värmegenomgångskoefficient av $230 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$. I motströmsvärmeväxlaren kan oljan kylas till 50°C . Till vilken temperatur kan oljan kylas i korsströmsvärmeväxlaren? c_p för oljan är 1880 (J/kgK) .

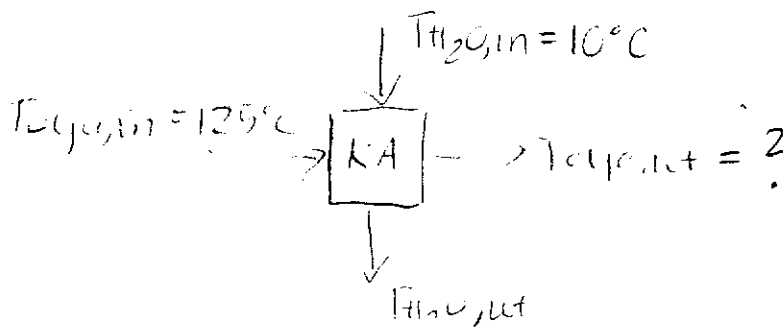
(5p)

71121

Alternativ A: Motströmsvärmeväxlare



Alternativ B: Korsströmsvärmeväxlare

Sekt. $T_{olja, ut}$ i Alt. B.Lösning:Båda
All. gäller:

$$\dot{W}_{olja} = \dot{m}_{olja} \cdot c_{p,olja} = 2 \cdot 1880 = 3760 \text{ J/K}$$

$$\dot{W}_{H_2O} = \dot{m}_{H_2O} \cdot c_{p,H_2O} = \left\{ c_{p,H_2O} \approx 4,19 \text{ kJ/kg, } 10^\circ\text{C} \right\} =$$

$$= 1 \cdot 4190 = 4190 \text{ J/K}$$

$\dot{W}_{olja} < \dot{W}_{H_2O} \Rightarrow$ Sätt index 1 = olja
index 2 = vatten

$$Y = \frac{\dot{W}_1}{\dot{W}_2} = \frac{3760}{4190} = 0,897$$

För båda Alt
gäller:

$$\dot{m}_{olja} = 2 \text{ kg/s}$$

$$\dot{m}_{H_2O} = 1 \text{ kg/s}$$

$$c_{p,olja} = 1880 \text{ J/kgK}$$

$$k = 230 \text{ W/m}^2\text{K}$$

$$A_A = A_B$$

Alternativ BSöker $T_{1,ut}$

$$\Delta_1 = T_{1,in} - T_{1,ut} \quad (1)$$

$$\Delta_1 = \eta_1 \theta \quad (2)$$

$$\theta = T_{1,in} - T_{2,in} = 125 - 10 = 115^\circ\text{C}$$

η_1 kan fås ur diagram (fig. 11.31) om Σ och γ är kända

$$\gamma = 0,897$$

$$\Sigma = \frac{kA}{R_1} \quad A \text{ är okänd men } \Sigma_{A11A} = \Sigma_{A11B}$$

Σ kan fås från A11.A

Alternativ A

$$\gamma = 0,897$$

$$\eta_1 = \frac{\Delta_1}{\theta} \quad (3)$$

$$\Delta_1 = 125 - 50 = 75^\circ\text{C}$$

$$\theta = 125 - 10 = 115^\circ\text{C}$$

$$\left. \begin{array}{l} \Delta_1 = 125 - 50 = 75^\circ\text{C} \\ \theta = 125 - 10 = 115^\circ\text{C} \end{array} \right\} (3) \Rightarrow \eta_1 = 0,652$$

Σ kan nu fås ur ekv. 11.25 eller fig. 11.25 då η_1 och γ är kända
 ekv. 11.25 $\Rightarrow \Sigma = 1,713$

Alternativ B igen

$$\Sigma = 1,713$$

$$\gamma = 0,897$$

$$\left. \begin{array}{l} \Sigma = 1,713 \\ \gamma = 0,897 \end{array} \right\} \Rightarrow \eta_1 = 0,60 \text{ ur fig. 11.31}$$

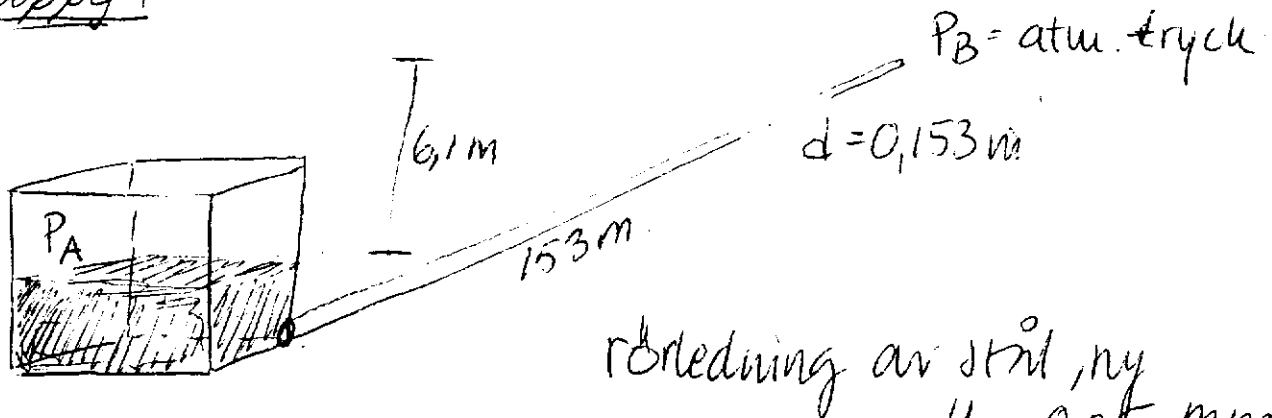
$$(2) \Rightarrow \Delta_1 = 0,60 \cdot 115 = 69,0 \quad (1) \Rightarrow \underline{\underline{T_{1,ut} = 56,0}}$$

Svar: Oljan kan kylas till 56°C

B 2. Från en sluten tank leds olja till en punkt 6,1 m över oljenivån i tanken. Rörledningen är 153 m lång och 0,153 m i diameter. Rörledningen är av stål. Vid rörutloppet råder atmosfärstryck. Bestäm det övertryck som måste råda i oljetanken för att oljeflödet skall vara $0,127 \text{ m}^3/\text{s}$! Rörinloppet är skarpkantat. För oljan gäller $\rho = 840 \text{ kg/m}^3$ och $\mu = 4,4 \cdot 10^{-3} \text{ Ns/m}^2$.

(5 p)

Uppg 1



rörledning av stål, ny
 $y_s = 0,05 \text{ mm}$

$$\dot{V} = 0,127 \text{ m}^3/\text{sek}$$

$$\rho = 840 \text{ kg/m}^3; \mu = 4,4 \cdot 10^{-3} \text{ Ns/m}^2 \text{ för oljan}$$

Bestäm övertrycket $P_A - P_B = \Delta p$ i tanken!

Lösning

För att oljan skall strömma ut tanken, måste trycket P_A vara tillräckligt högt för att övervinna friktions- och strömningsförlusterna i röret samt höjdskillnaden.

Ber. utvidgade

$$\frac{P_A}{\rho} + \frac{w_A^2}{2} + g z_A = \frac{P_B}{\rho} + \frac{w_B^2}{2} + g z_B + \frac{\Delta P_f}{\rho}$$

$$\Delta P = P_A - P_B = \rho g (z_B - z_A) + \Delta P_f \quad (1)$$

$$\Delta P_f = f_1 \rho w^2 \frac{L}{d} + \sum \sum \left(\rho \frac{w^2}{2} \right)$$

$$\sum_{w} = 0,5 \text{ (skarpsnutat)}$$

$$\sum_{kt} = 1$$

Hastigheten w får ur volymströmmen $w = \frac{\dot{V}}{A} = \frac{0,127 \cdot 4}{0,153^2 \cdot \pi} = 6,91 \text{ m/s}$

fruktionskoefficient

152 = 363

$$Re = \frac{w \cdot d}{\nu}$$

den dynamiska viskositeten μ var given $\mu = \nu \cdot \rho$

$$Re = \frac{w \cdot d \cdot \rho}{\mu} = \frac{6,91 \cdot 0,153 \cdot 840}{4,4 \cdot 10^{-3}} = 2,02 \cdot 10^5$$

$$y_s/d = \frac{0,00005}{0,153} = 0,00033$$

$$\Rightarrow f_1 = 0,009 \text{ enl. s. 316 figur}$$

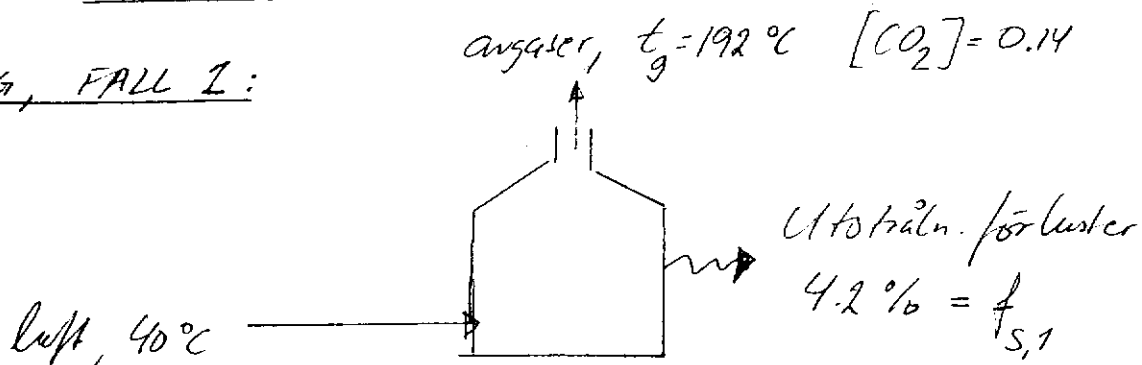
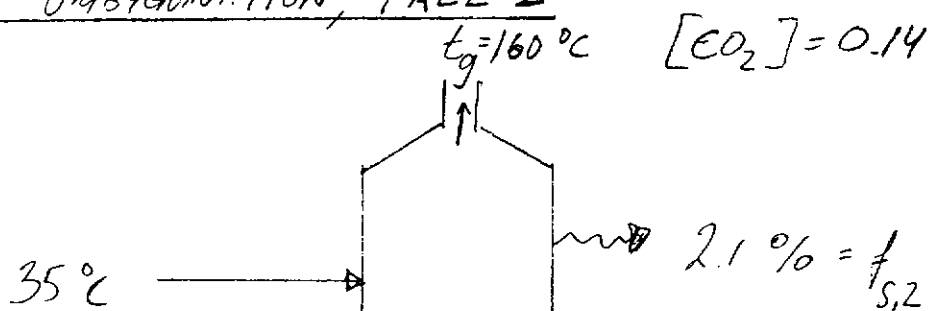
altså enl (1) får

$$\Delta p = 840 \cdot 9,81 (6,1) + \left(0,009 \cdot \frac{153 \cdot 2}{0,153} + 0,5 \cdot 1 \right) \frac{840 \cdot 6,91^2}{2} = 4,41 \cdot 10^5 \text{ Pa}$$

Svar: Tanken måste ha ett övertryck på 4,4 bar

B.3. En koleldad panna skall eventuellt byggas om för att få en bättre verkningsgrad. Det använda kolet (inkl fukt) har ett kalorimetriskt värmevärde av 36,0 MJ/kg. Vätskehalten och fukthalten är 5,5 respektive 4,0 %. Avgastemperaturen är f n 192 °C och lufttemperaturen 40 °C. Utstrålningsförlusten är f n 4,2 % (av tillfört värme genom bränslet). Åtgärderna består dels av utökad konvektionsyta i pannan, dels av bättre isolering av pannan. Resultatet förväntas bli en halvering av utstrålningsförlusten och en sänkning av avgastemperaturen till 160 °C. Lufttemperaturen sjunker samtidigt till 35 °C. Beräkna den procentuella minskningen i bränsleförbrukningen genom ombyggnaden vid oförändrad CO₂-halt 14 %!

(5 p)

KOLELDAD PANNAIDAG, FALL 1:EFTER EV. OMBYGGNING, FALL 2

Sökt: Den procentuella minskningen i bränskeförbrukning, \dot{B} , som ombyggnationen skulle ge.

Lösning:

Värmebehovet är konstant = \dot{Q}_{nyttig}

Def. av pumpeffektivitet:

$$\eta_p = \frac{\dot{Q}_{\text{nyttig}}}{\dot{B}_n \text{ bränskeförbrukning}}$$

$$\Rightarrow \dot{B}_1 = \frac{\dot{Q}_{\text{nyttig}}}{\eta_{p,1}} \quad \dot{B}_2 = \frac{\dot{Q}_{\text{nyttig}}}{\eta_{p,2}}$$

$$\text{Sökt: } \frac{\dot{B}_1 - \dot{B}_2}{\dot{B}_1} = 1 - \frac{\dot{B}_2}{\dot{B}_1} = 1 - \frac{\eta_{p,1}}{\eta_{p,2}} \quad (1)$$

$$\eta_p = 1 - f_a - f_s \quad (2) \quad (\text{övriga förluster förs.})$$

f_s är kända, båda fallen \Rightarrow bestäm f_a

Givet om bränslet: Kol

$$\text{Kalorimetriskt värmevärde} = 36.0 \text{ MJ/kg}$$

$$\text{Vätehalt} = 5.5\%$$

$$\text{Fukthalt} = 4.0\%$$

End "Förbränningslära" sid 22:

$$f_a = \frac{g(h_g - h_{g,20^\circ}) - l(h_l - h_{l,20^\circ})}{H_i} \cdot 100 \quad (\%) \quad (3)$$

$$H_i = H_b - 2.5(8.94 \cdot H + F) = 36 - 2.5(8.94 \cdot 0.055 + 0.04) = 34.7 \text{ MJ/kg}$$

$$\text{D\&D s. 26} \Rightarrow \begin{cases} g_0 = 9.5 \text{ Nm}^3/\text{kg} \\ \text{vid } H_i = 34.7 \quad \begin{cases} l_{0t} = 9.2 \quad = l_0 \text{ (Luften antas torr)} \\ (CO_2)_{0t} = 18.9 \end{cases} \end{cases}$$

$$(12.56) \Rightarrow m \approx \frac{(CO_2)_{0t}}{(CO_2)_t} = \frac{18.9}{14} = 1.35$$

$$\text{D\&D s. 21} \Rightarrow g = 9.5 + (1.35 - 1) \cdot 9.2 = 12.7 \text{ Nm}^3/\text{kg}$$

$$l = 1.35 \cdot 9.2 = 12.4 \text{ " " "}$$

* H_i , g och l är lika i Fall 1 och 2

$$h_g - h_{g,20^\circ} = \bar{c}_{p,g} \left(\begin{array}{c} \text{medelvärde mellan} \\ t_g \text{ och } 20^\circ\text{C} \end{array} \right) \cdot (t_g - 20) \quad (4)$$

$$h_l - h_{l,20^\circ} = \bar{c}_{p,l} \left(\begin{array}{c} \text{medelvärde mellan} \\ t_l \text{ och } 20^\circ\text{C} \end{array} \right) \cdot (t_l - 20) \quad (5)$$

Fig 5 i "Förbr. lära" ger

B.3 = 5(3)

Fall 1 $\bar{c}_{p,g} = 1,375 \text{ kJ} / \text{Nm}^3 \cdot ^\circ\text{C}$ $\bar{c}_{p,l} = 1,295 \text{ kJ} / \text{Nm}^3 \cdot ^\circ\text{C}$

Fall 2 $\bar{c}_{p,g} = 1,37 - - -$ $\bar{c}_{p,l} = 1,295 - - -$

Ins. i (4), (5) och (3) ger

$$f_{a,1} = \frac{12,7 \cdot 1,375(192-20) - 12,4 \cdot 1,295(40-20)}{34700} \cdot 100 = 7,73\%$$

$$f_{a,2} = \frac{12,7 \cdot 1,37(160-20) - 12,4 \cdot 1,295(40-20)}{34700} \cdot 100 = 6,09\%$$

ins. i (2) ger

$$\eta_{p,1} = 1 - 0,0773 - 0,042 = 0,881$$

$$\eta_{p,2} = 1 - 0,0609 - 0,021 = 0,918$$

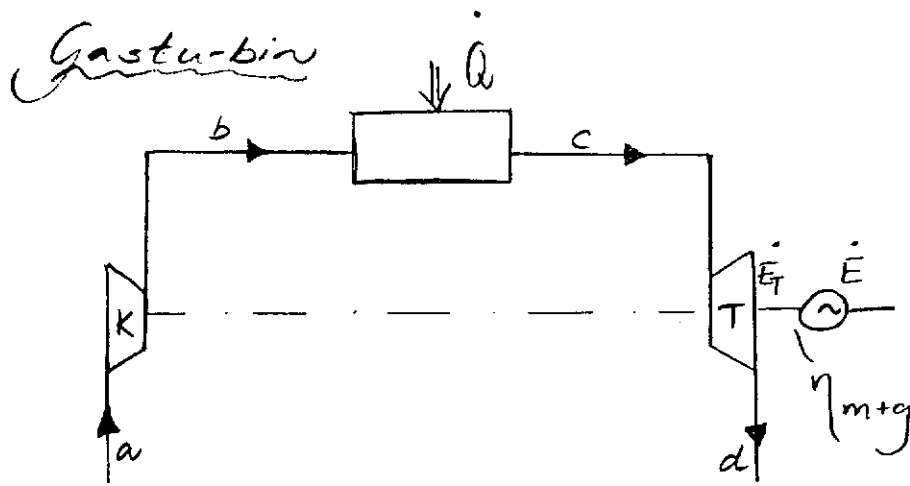
ins. i (1) ger nu:

$$\frac{\dot{B}_1 - \dot{B}_2}{\dot{B}_1} = 1 - \frac{0,881}{0,918} = 0,0407$$

Svar: Bränsleförbrukningen skulle minska 4,1%.

B.4. (Endast Kf-92). Ett gasturbinaggregat av modern typ levererar en eleffekt av 41,0 MW. Temperaturen i inloppet till turbinen är 1220 °C, och tryckförhållandet är 30,0. Bränsleförbrukningen motsvarar en värmeförsel i brännkammaren av 102,5 MW vid full last och en lufttemperatur av 20 °C. Hur hög är isentropverkningsgraden för kompressorn och turbinen, om den kan antas vara lika i de båda maskinerna? Antag att arbetsmediet är luft rakt igenom med $c_p = 1,005 \text{ kJ/(kg K)}$. De mekaniska och elektriska förlusterna kan antas uppgå till sammanlagt 5,0 %.

(5 p)



GIVET : $E = 41,0 \text{ MW}$

$$Q = 102,5 \text{ MW}$$

$$t_c = 1220^\circ\text{C}$$

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

$$\frac{P_c}{P_d} = 30,0 = \frac{P_b}{P_a}$$

$$\eta_{\text{mtg}} = 1 - 0,05 = 0,95$$

$$t_a = 20^\circ$$

SÖKT : $\eta_K = \eta_T = ?$

LÖSNING :

$$\dot{E} = (\dot{E}_T - |\dot{E}_K|) \cdot \eta_{\text{mtg}} \quad (1)$$

$$\dot{E}_T = \eta_T \cdot \dot{m} \cdot c_p (T_c - T_{\text{dis}}) \quad (2)$$

$$\dot{E}_K = \frac{1}{\eta_K} \cdot \dot{m} \cdot c_p (T_{\text{bis}} - T_a) \quad (3)$$

(2) o (3) i (1) o. multiplication med η_T o. $\eta_K = \eta_T$

$$\eta_T^2 - \eta_T \cdot \dot{E} \cdot \frac{1}{\eta_{\text{mtg}} \cdot \dot{m} \cdot c_p (T_c - T_{\text{dis}})} - \frac{(T_{\text{bis}} - T_a)}{(T_c - T_{\text{dis}})} = 0 \quad (4)$$

$$T_{\text{bis}} = ?$$

$$\text{Isentrop (adiabat)} \Rightarrow T_{\text{bis}} = \left(\frac{P_b}{P_a} \right)^{\frac{\kappa-1}{\kappa}} \cdot T_a =$$

$$T_{bis} = 30 \left(\frac{1}{11,4} \right) \cdot 293,15 = 774,68 \text{ K}$$

$$T_{dis} = ?$$

$$\begin{aligned} \text{Isentrop } c \rightarrow d &\Rightarrow T_{dis} = \left(\frac{p_d}{p_c} \right)^{\frac{\kappa-1}{\kappa}} \cdot T_c = \left(\frac{1}{30} \right)^{\left(\frac{1,4-1}{1,4} \right)} \cdot 1493,15 = \\ &= 565,03 \text{ K} \end{aligned}$$

$$\dot{m} \cdot c_p = ?$$

$$\begin{aligned} \text{Isobar } b \rightarrow c &\quad \dot{Q} = \dot{m} \cdot c_p (T_c - T_b) = \dot{m} c_p \left(T_c - \left(T_a + \frac{1}{\eta_{\kappa}} (T_{bis} - T_a) \right) \right) \\ &= \dot{m} \cdot c_p \left(1493,15 - 293,15 - \frac{1}{\eta_{\kappa}} (774,68 - 293,15) \right) = \\ &= \dot{m} \cdot c_p \left(1200 - 481,53 \cdot \frac{1}{\eta_{\kappa}} \right) \end{aligned}$$

$$\frac{1}{\dot{m} \cdot c_p} = \frac{1200}{102,5 \cdot 10^3} - \frac{481,53}{102,5 \cdot 10^3} \cdot \frac{1}{\eta_{\kappa}} = 0,011707 - 4,6979 \cdot 10^{-3} \frac{1}{\eta_{\kappa}}$$

$$\eta_{\kappa} = \eta_T \quad \text{ocw s\ddot{a}tt in i (4):}$$

$$\eta_T^2 - \eta_T \frac{41 \cdot 10^3}{0,95} \left(0,011707 - 4,6979 \cdot 10^{-3} \cdot \frac{1}{\eta_T} \right) \cdot \frac{1}{(1493,15 - 565,03)}$$

$$- \frac{774,68 - 293,15}{1493,15 - 565,03} = 0$$

$$\eta_T^2 - 0,54438 \cdot \eta_T - 0,30037 = 0$$

$$\eta_T = 0,2722 (\pm) \sqrt{0,2722^2 + 0,30037} = 0,884$$

$$\text{Svar: } \eta_T = \eta_{\kappa} \approx 0,88$$

**TENTAMEN I ENERGITEKNIK K för K3 och KF3,
1995-12-19 kl 08.45-12.45**

Tentamen omfattar:

Avdelning A: Teori och beskrivande moment
Inga hjälpmedel

Avdelning B: Problem
Tillåtna hjälpmedel:
K-märkta räknedosor eller typgodkända räknedosor.
Föreläsningssanteckningar (eller veckoblad) i Energiteknik, kursmaterial
i Energiteknik och Transportprocesser (ej exempelsamlingar),
handböcker.

OBS! Till tentamen får icke medföras lösta exempel. Sådana skall, om de medförs, överlämnas till tjänstgörande skrivningsvakter omedelbart efter det att du tagit del av detta papper. Innehav av lösta exempel under skrivningen medför ovillkorligen att du avvisas från densamma.

När ekvationer används utan härledningar bör källa anges.

Använda symboler skall definieras om dessa inte är lika kursmaterialets. Institutionen förbehåller sig rätten att värdera lösning innehållande odefinierade symboler med 0 poäng.

Skrivtid: 4 tim.

För godkänt krävs minst 15 poäng.

Lennart Persson, tel CTH: 7723015, kommer från ca kl 09.15 att vara tillgänglig för frågor i skrivsalen.

Lösningar finns anslagna tentamensdagen kl 10.00 på VoMs anslagstavla på institutionen.

Betygslistan anslås senast måndag 96-01-08.

Granskning av rättning får ske onsdag 96-01-10 kl 09.00-10.00 i VoMs bibliotek.

Avdelning A måste lämnas in innan avdelning B (med hjälpmedel) får påbörjas!

OBS! Vissa tentamensuppgifter är avsedda endast för KF-teknologer inskrivna 1992!

AVDELNING A

A 1. SO_2 -emissionerna har minskat kraftigt i Sverige de senaste 15 åren. Vad beror detta på? Vilka utsläppskällor dominerar idag? (1 p)

Vid utnyttjande av bränslen med naturligt höga svavelhalter kan svavelrening sättas in i, maximalt, tre olika led. I vilka led kan detta ske? (1 p)

Välj ett sådant bränsle och beskriv kortfattat en reningsåtgärd i varje led! Åtgärden kan vidtas isolerad eller i kombination med åtgärder i andra led. (3 p)

(5 p)

A 2. a) Förklara varför elverkningsgraden för en ångkraftprocess är bättre/sämre (ange vilket som gäller) än en enkel gasturbin vid ren kraftsproduktion men att det är tvärtom vid kraftvärmedrift! (2 p)

b) För en gasturbin kan totalverkningsgraden under vissa förutsättningar förbättras med hjälp av tillsatsvärmning. Förklara **noggrant** varför (gärna med hjälp av ett diagram och förklaringar), definiera begreppet totalverkningsgrad och ange, med förklaring, hur möjlig elproduktion vid givet värmebehov påverkas av tillsatsvärmning! (3 p)

(5 p)

A 3. (Ej Kf -92) Kompressorer har stor användning även inom processtekniken. Sådana kan t.ex. användas vid s k mekanisk ångkompression hos en destillationskolonn. Diskutera ett fall där toppången från kolonnen skall komprimeras från 0,1 till 0,4 MPa:

a) Hur många kompressorsteg bör det vara i en radiell respektive en axiell turbomaskin? (1 p)

b) Ange olika tänkbara typer av deplacementmaskiner för det här fallet. Motivera! Visa med hjälp av en enkel skiss hur de fungerar! (2 p)

c) Vad avgör valet, i det här fallet, mellan olika maskiner (radiella och axiella turbomaskiner, olika tänkbara deplacementmaskiner)? (2 p)

(5 p)

AVDELNING B

B 1. Etanol från en destillationskolonn skall kylas i en värmeväxlare före lagring i en tank. Från en destillattank, som är så högt belägen att vätskeytan är 12 m över marken, skall etanolen rinna med självtryck genom en lång ledning via värmeväxlaren till lagringstanken, i vilken vätskeytan är 3 m över marken. I båda tankarna råder atmosfärstryck. Etanolen skall kylas från 75°C till 25°C i värmeväxlaren, som är belägen på marken. I destillattanken är temperaturen 77°C. Kan 0,5 kg/s transporteras i denna ledning. Motivera!

För ledningen gäller:

Längd före värmeväxlaren	20 m
Längd efter värmeväxlaren	30 m
Diameter (invändig)	30 mm
Antal 90°-krökar (R/d=3)	6
Antal ventiler (tallrikstyp, rak)	2
In- och utlopp i tankar är skarpkantade	
Materialet är rostfritt stål.	

För värmeväxlaren gäller:

Tubtyp med etanolen på mantelsidan	
Tublängd/ytterdiameter	2 m/10 mm
Tubdelning (sicksack-ställning)	13 mm
Tubantal	37
Maximalt antal tuber i en rad	7
Antal tubrader	7
Baffelavstånd	100 mm
Försumma tryckförluster i röranslutningarna till manteln!	

Försumma densitetens temperaturberoende!

(5 p)

B 2. Morbror Björn har byggt en provisorisk dusch på landet. Som varmvattenberedare fungerar en 100 cm hög cylindrisk behållare med 50 cm bottendiameter. Behållaren är placerad på vinden i ett uthus och den står på golvet på en isolerskiva. Under dagen värms vindsutrymmet upp av solen och den omgivande luften. Trots detta är vattnet på kvällen fortfarande litet för kallt för att vara riktigt behagligt, så när det börjar bli dags att duscha värmer Björn vattnet ytterligare några grader med hjälp av en elpatron, vars effekt är 600 W. När elpatronen kopplas på har vattnet i den helt fyllda behållaren en temperatur på 28 °C. Hur länge måste Björn vänta för att få en angenäm duschtemperatur på 32 °C?

Behållaren är svartlackerad och oisolerad men försedd med ett lock i samma material som resten av behållaren. Under den tid som elpatronen är påkopplad är den omgivande luftens temperatur 20 °C. På kvällen kan det förmodas att vindens väggar, tak och golv också håller en temperatur av 20 °C. Antag att beräkningen av värmeförlusterna kan göras vid en medeltemperatur och att utsidan av tanken har samma temperatur som vattnet.

(5 p)

B 3. Vid förbränning av ett stenkol uppmättes torra CO_2 -halten till 13,5 % i avgaserna. Hur stort var luftöverskottet? Bränslets sammansättning (vikt-%) är

Fukt	18,0 %
"Aska"	10,3 %
C	46,0 %
S	0,7 %
H	4,6 %
N	1,0 %
O	19,4 %

Halten av NO_x i avgaserna är försumbar.

(5 p)

B 4. (Endast Kf -92) I en kylmaskin med R22 som köldmedium och en kyleffekt av 8 kW är insatt en värmeväxlare för underkylning med 6K av det mättade kondensatet från kondensorn. Det sker med hjälp av den mättade ångan från förångaren som överhettad tillföres kompressorn. Kompressorn är av kolvtyp med en cylinder. Hur stor cylindervolym erfordras om kompressorn arbetar reversibelt med 200 varv/min och har ett skadligt rum uppgående till 5 % av cylindervolymen?

Förångnings- och kondenseringstemperaturen är $-10\text{ }^\circ\text{C}$ respektive $30\text{ }^\circ\text{C}$. Antag att den överhettade ångan kan approximeras till en ideal gas med $\kappa = 1,18$.

(5 p)

Lycka till!

B 1. Etanol från en destillationskolonn skall kylas i en värmeväxlare före lagring i en tank. Från en destillattank, som är så högt belägen att vätskeytan är 12 m över marken, skall etanolen rinna med självtryck genom en lång ledning via värmeväxlaren till lagringstanken, i vilken vätskeytan är 3 m över marken. I båda tankarna råder atmosfärstryck. Etanolen skall kylas från 75°C till 25°C i värmeväxlaren, som är belägen på marken. I destillattanken är temperaturen 77°C. Kan 0,5 kg/s transporteras i denna ledning. Motivera!

För ledningen gäller:

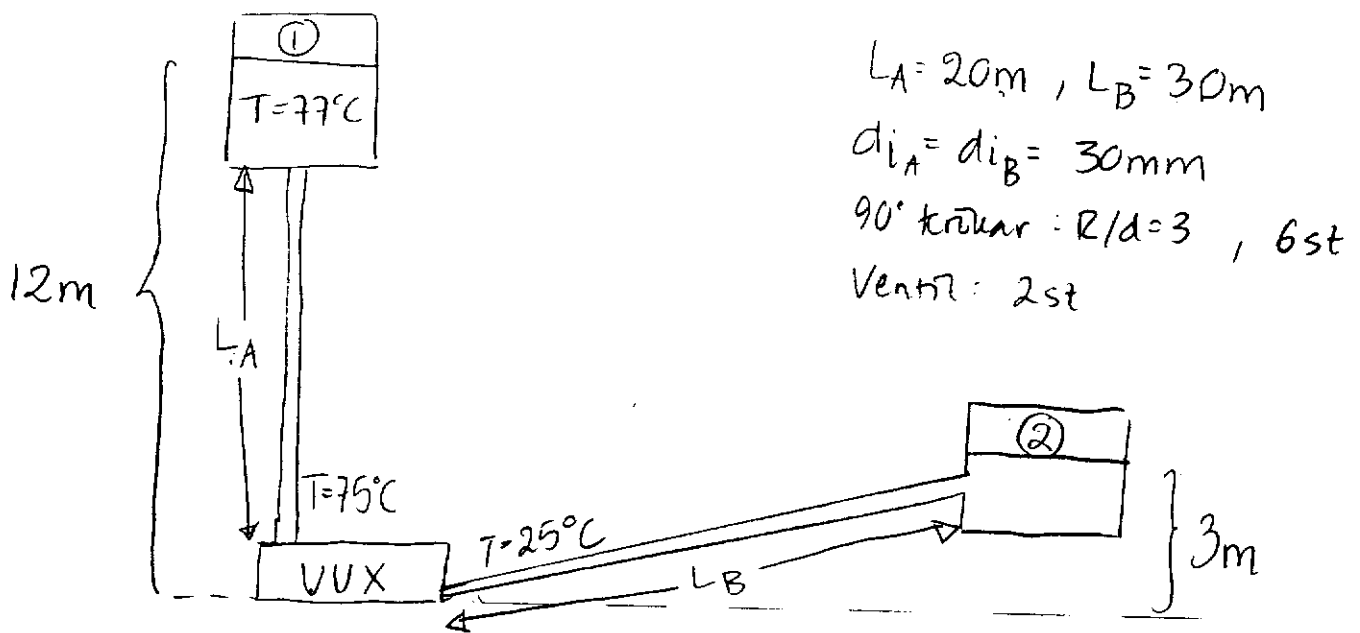
Längd före värmeväxlaren	20 m
Längd efter värmeväxlaren	30 m
Diameter (invändig)	30 mm
Antal 90°-krökar ($R/d=3$)	6
Antal ventiler (tallrikstyp, rak)	2
In- och utlopp i tankar är skarpkantade	
Materialet är rostfritt stål.	

För värmeväxlaren gäller:

Tubtyp med etanolen på mantelsidan	
Tublängd/ytterdiameter	2 m/10 mm
Tubdelning (sicksack-ställning)	13 mm
Tubantal	37
Maximalt antal tuber i en rad	7
Antal tubrader	7
Baffelavstånd	100 mm
Försumma tryckförluster i röranslutningarna till manteln!	

Försumma densitetens temperaturberoende!

(5 p)



VUX : $L_{\text{tub}} = 2\text{m}$, $d_y = 10\text{mm}$
 $L_{\text{tp}} = 13\text{mm}$ (sicksack) , $L_{bc} = 100\text{mm}$
 $n = 37$ (antal tuber)
 $M = 7$, $N = 7$

Säkt : Kan 0,5 kg etanol/s transporteras

Lösning

Bernoullis ekv: $p_1 + \frac{\rho w_1^2}{2} + \rho g h_1 = p_2 + \rho \frac{w_2^2}{2} + \rho g h_2 + \Delta P_{f_{\text{tot}}}$

$$\left. \begin{array}{l} p_1 = p_2 = p_{\text{atm}} \\ w_1 = w_2 = 0 \end{array} \right\} \Rightarrow \Delta P_{f_{\text{tot}}} = \rho g (h_1 - h_2)$$

För att 0,5 kg/s ska kunna transporteras måste

$$\Delta P_{f_{\text{tot}}} < \rho g (h_1 - h_2)$$

$$\rho (\text{etanol}) = (\text{TED s12}) = 791 \text{ kg/m}^3$$

$$\Rightarrow \underline{\underline{\rho g (h_1 - h_2) = 791 \cdot 9,81 (12 - 3) = 0,6984 \text{ bar}}}$$

$$\Delta P_{f_{\text{tot}}} = \Delta P_{f_A} + \Delta P_{f_{\text{vux}}} + \Delta P_{f_B}$$

B7: 2(4)

$$\omega_A = \omega_B$$

$$\rho_A = \rho_B \quad (\text{försummar densitetens temp. beroende})$$

$$\begin{aligned} \Delta P_{f_A} + \Delta P_{f_B} &= \rho \omega^2 \left(f_{1A} \frac{L_A}{d_i} + f_{1B} \frac{L_B}{d_i} \right) + \\ &+ \rho \frac{\omega^2}{2} \left(6 \xi_{\text{krök}} + 2 \xi_{\text{vänni}} + \xi_{\text{in}} + \xi_{\text{ut}} \right) \end{aligned} \quad (1)$$

$$\omega = \frac{\dot{m}}{\rho A} = \frac{0,5}{791 \cdot \frac{\pi \cdot 0,03^2}{4}} = 0,89425 \text{ m/s}$$

$$f_1 = f \left(Re, \frac{y_s}{d} \right)$$

$$\text{Rostfri stål} \Rightarrow y_s = 0,05 \quad (\text{s. 317})$$

$$y_s/d = 0,05/30 = 1,667 \cdot 10^{-3}$$

$$Re = \frac{\omega d}{\nu}$$

$$\begin{aligned} \nu_A &= \nu(75^\circ\text{C}) = \mu(75^\circ\text{C})/\rho = \{T\&D581\} = \\ &= 515 \cdot 10^{-6} / 791 = 6,51 \cdot 10^{-7} \text{ Pas} \end{aligned}$$

$$\nu_B = \nu(25^\circ\text{C}) = 1103 \cdot 10^{-6} / 791 = 1,394 \cdot 10^{-6} \text{ Pas}$$

$$Re_A = 41240, \quad Re_B = 19245$$

$$\begin{aligned} \text{Fig 10.33} \Rightarrow f_{1A} &= 0,013 \\ f_{1B} &= 0,015 \end{aligned}$$

Engångsmotstånd:

B7: 3(4)

skarptkantat in och ut: $\xi_{in} = 0,5$ (fig. 10.38)

$\xi_{ut} = 1,0$ (fig. 10.36)

rak taunusventil: $\xi \approx 2-7$ (s. 321) jag väljer $\xi_{ventil} = 4,5$

90° rörkrök $R/d=3$ $\xi_{krök} = 0,13$ (s. 320)

$$\begin{aligned} (1) \Rightarrow \underline{\Delta P_{fA}} + \underline{\Delta P_{fB}} &= 791 \cdot 0,89425^2 \left(0,013 \frac{20}{0,03} + 0,015 \frac{30}{0,03} \right) + \\ &+ 791 \cdot \frac{0,89425^2}{2} (6 \cdot 0,13 + 2 \cdot 4,5 + 0,5 + 1) = \\ &= 14970,3 + 3567,6 = \underline{0,1854 \text{ bar}} \end{aligned}$$

• ΔP_f i vux från ur sårtryck (11.68)

$$\Delta P_f = f \cdot N \cdot \frac{2}{8} \left(\frac{\dot{m}}{A_g} \right)^2 \underbrace{\left(\frac{\mu_w}{\mu_b} \right)^{0,14}}_{=1} \quad (2)$$

Räknar på en baffelsektion \Rightarrow

$$\Delta P_{f_{vux}} = \Delta P_f \cdot (\text{antal baffelsektioner}) \quad (3)$$

$$\text{antal baffelsektioner} = \frac{L_{tub}}{L_{bc}} = \frac{2}{0,1} = 20$$

$$f = f\left(Re, \frac{L_{tp}}{D_t}\right)$$

$$Re = \frac{D_t}{\mu_b} \frac{\dot{m}}{A_g} \quad (11.70)$$

$$A_g = (M+1) L_{ti} (L_{tp} - D_t)$$

där $L_{ti} = L_{bc}$ om bafflat

$$A_g = (7+1) \cdot 0,1 (0,013 - 0,01) = 2,4 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2$$

$$\mu_b = \mu(T_{\text{bulk}})$$

$$\text{Använd } T_{\text{medel}} = \frac{T_b + 25}{2} = 50^\circ\text{C}$$

$$\mu(50^\circ\text{C}) = (780,581) = 700 \cdot 10^{-6} \text{ Pas}$$

$$Re = \frac{0,01 \cdot 0,5}{700 \cdot 10^{-6} \cdot 2,4 \cdot 10^{-3}} = 2976$$

$$\frac{L_{tp}}{D_t} = \frac{13}{10} = 1,3$$

$$\text{fig. 5} \Rightarrow f = 0,135$$

$$(2 \text{ \& } (3)) \Rightarrow \underline{\Delta P_{f_{\text{vux}}}} = 20 \cdot 0,135 \cdot 7 \cdot \frac{2}{791} \left(\frac{0,5}{2,4 \cdot 10^{-3}} \right)^2 \cdot 1 =$$

$$\underline{\underline{= 0,021 \text{ bar}}}$$

$$\Delta P_{f_{\text{tot}}} = 0,1854 + 0,021 = 0,206 \text{ bar.}$$

$$\Rightarrow \Delta P_{f_{\text{tot}}} < \rho g (h_1 - h_2)$$

Svar: Ja \checkmark

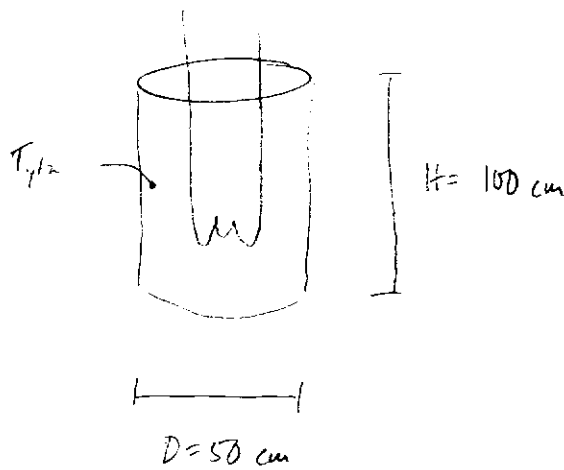
B 2. Morbror Björn har byggt en provisorisk dusch på landet. Som varmvattenberedare fungerar en 100 cm hög cylindrisk behållare med 50 cm bottendiameter. Behållaren är placerad på vinden i ett uthus och den står på golvet på en isolerskiva. Under dagen värms vindsutrymmet upp av solen och den omgivande luften. Trots detta är vattnet på kvällen fortfarande litet för kallt för att vara riktigt behagligt, så när det börjar bli dags att duscha värmer Björn vattnet ytterligare några grader med hjälp av en elpatron, vars effekt är 600 W. När elpatronen kopplas på har vattnet i den helt fyllda behållaren en temperatur på 28 °C. Hur länge måste Björn vänta för att få en angenäm duschtemperatur på 32 °C?

Behållaren är svartlackerad och oisolerad men försedd med ett lock i samma material som resten av behållaren. Under den tid som elpatronen är påkopplad är den omgivande luftens temperatur 20 °C. På kvällen kan det förmodas att vindens väggar, tak och golv också håller en temperatur av 20 °C. Antag att beräkningen av värmeförlusterna kan göras vid en medeltemperatur och att utsidan av tanken har samma temperatur som vattnet.

(5 p)

B.2

B2 = 1(3)



GIVET: $T_{\text{avg}} = 20^\circ\text{C}$

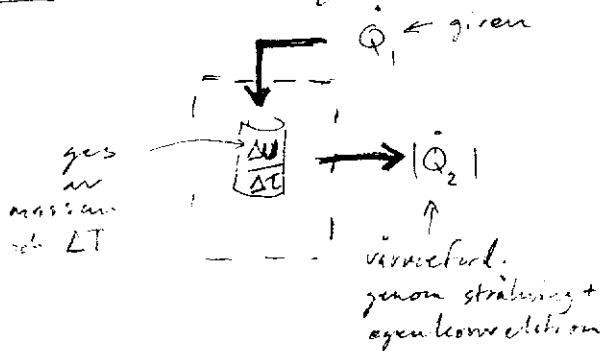
$\dot{Q}_{\text{elutron}} = 600\text{ W}$

$T_f = 28^\circ\text{C}$

$T_c = 32^\circ\text{C}$

SÖKT: tiden för uppvärmning från T_f till T_c

LÖSNING: Energiförhållanden (1:a HS, slutet syst, (2.29) ges



$$\frac{dU}{dt} = \dot{Q}_1 - |\dot{Q}_2| \quad (*)$$

- Egentligen varierar \dot{Q}_2 med T (temperaturen), vi kan bortse från detta vid en liten temp höjning och vi betraktar \dot{Q}_2 vid medeltemperaturen (= man integrerar med ett intervall).
- Värme överförs till luften genom egenkonv. och strålning. Då bör i stort sett hela värmeöverföringsmotståndet ligga på luftsidan, dvs kärlets yta har samma temp som vätsket $\Rightarrow T_{\text{yta, medel}} = 30^\circ\text{C}$

$$\begin{matrix} T_{\text{yta}} \rightarrow \dot{Q}_2 \\ LT \rightarrow \Delta U \end{matrix} \quad \Delta T$$

- $A_{\text{cylinder}} = \pi \cdot D \cdot H = \pi \cdot 0,5 \cdot 1 = 1,571\text{ m}^2$

$A_{\text{bott}} = \frac{\pi D^2}{4} = \frac{\pi \cdot 0,5^2}{4} = 0,196\text{ m}^2$

$V_{\text{vörl}} = \frac{\pi D^2}{4} H = 0,196\text{ m}^3$

1) egenkonvektion

- långs mantelcykel \Leftrightarrow vertikal cykel (EG s. 415)
- från locket \Leftrightarrow horisontell yta (se stencil)
- isolerad botten \Rightarrow inga värmeförl. från botten

manteln lam eller turb? $Gr \cdot Pr > 10^8$?

alla data tas vid film temp, $T_{film} = \frac{30+20}{2} = 25 [^{\circ}C]$

interpolation tab. 11.82 $\Rightarrow \frac{Gr \cdot Pr}{Dt \cdot \mu^3} = 0,98 \cdot 10^8$

$$Dt = T_{yta} - T_{luft} = 10^{\circ}C \Rightarrow$$

$$\Rightarrow Gr \cdot Pr = 0,98 \cdot 10^8 \cdot 10 \cdot \mu^3 = 9,8 \cdot 10^8 \Rightarrow \text{turb.}$$

Då kan α beräknas m. 4.2 (11.83b)

$$\alpha = K_2 \cdot Dt^{1/3} = 1,563 \cdot 10^{1/3} = \underline{\underline{3,37 \text{ W/m}^2\text{K}}}$$

locket

för horisontell yta används $\frac{A}{O}$ som kar. längd

$$\frac{A}{O} = \frac{\pi D^2}{4} \cdot \frac{1}{\pi D} = \frac{D}{4} = 0,125$$

\swarrow \leftarrow \searrow
O \leftarrow \swarrow \searrow
arean

som ovan ($Gr \cdot Pr > 10^9$?)

$$\frac{Gr \cdot Pr}{Dt \cdot \left(\frac{A}{O}\right)^3} = 0,98 \cdot 10^8 \cdot 10 \cdot 0,125^3 = 1,91 \cdot 10^6 \Rightarrow \text{lam}$$

enl. stencil: $Nu = 0,54 \cdot (Gr \cdot Pr)^{0,25}$

$$Nu = 0,54 \cdot (1,91 \cdot 10^6)^{0,25} = 20,1$$

$$\alpha = \frac{Nu \cdot \lambda}{A/O} \quad \lambda = 0,026 \text{ W/mK (TD33)}$$

$$\alpha = \frac{20,1 \cdot 0,026}{0,125} = \underline{\underline{4,19 \frac{W}{m^2K}}}$$

konv
totalt

$$\begin{aligned} \dot{Q}_{konv} &= (\alpha_{mantel} A_{mantel} + \alpha_{locke} A_{locke}) \Delta T = \\ &= 53 + 8 = 61 \text{ [W]} \end{aligned}$$

2) strålning

$$\dot{Q}_s = \sigma F_{12} \cdot A_1 \cdot (T_1^4 - T_2^4) \quad (11.97)$$

- fallet 11.98 gäller även för "ideellt koncentrerad yta"
- här kan antas att $A_1 \ll A_2$, dvs $F_{12} \approx \epsilon$,

$$A_1 = A_{\text{mantel}} + A_{\text{sock}} = 1,767 \text{ m}^2$$

$$\sigma = 5,67 \cdot 10^{-8} \text{ W/m}^2\text{K}^4$$

$$T_1 = 30 + 273 = 303 \text{ K}$$

$$T_2 = 20 + 273 = 293 \text{ K}$$

$$\epsilon = 0,95 \quad (\text{svartlackerad yta, } 30^\circ\text{C, EC tab 11.95})$$

$$\text{Insättning ger: } \dot{Q}_s = \underline{\underline{100,9 \text{ W}}}$$

totala
invektströmmen

$$\dot{Q}_2 = \dot{Q}_{\text{konv}} + \dot{Q}_s = 61 + 101 = \underline{\underline{162 \text{ [W]}}}$$

vattnets inre
energi:

$$\Delta U = \Delta H - \underbrace{\Delta(PV)}_{=0 \text{ inkompr. vätska}} \Rightarrow \Delta U = m c_p \Delta T = \rho V c_p \Delta T$$

$$c_p = 4,18 \text{ kJ/kgK}$$

$$\rho = 996 \text{ kg/m}^3$$

$$\Delta T = 32 - 28 = 4 \text{ [}^\circ\text{C]}$$

$$V = 0,196 \text{ m}^3$$

(TD16)

$$\Rightarrow \underline{\underline{\Delta U = 3269 \text{ kJ}}}$$

$$(*) \Rightarrow \Delta t = \frac{\Delta U}{\dot{Q}_1 - \dot{Q}_2} = \frac{3269 \cdot 10^3}{600 - 162} = 7464 \text{ s} = 124 \text{ min}$$

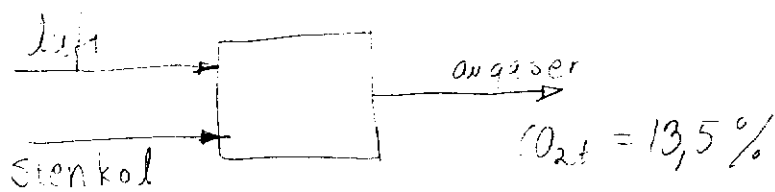
svan: Björn får hålla ut i 2 timmar (och 4 min) innan han får sin efterlängta varma kusch.

B 3. Vid förbränning av ett stenkol uppmättes torra CO₂-halten till 13,5 % i avgaserna. Hur stort var luftöverskottet? Bränslets sammansättning (vikt-%) är

Fukt	18,0 %
"Aska"	10,3 %
C	46,0 %
S	0,7 %
H	4,6 %
N	1,0 %
O	19,4 %

Halten av NO_x i avgaserna är försumbar.

(5 p)



Stenkol:		kg/kg brände
Fukt	18,0 %	
"Astra"	10,3 %	
C	46,0 %	
S	0,7 %	
H	4,6 %	
N	1,0 %	
O	19,4 %	

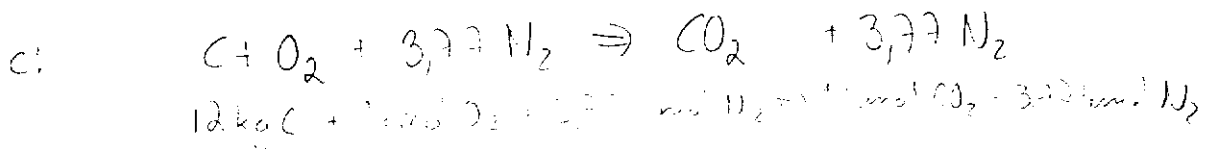
Sökt: m

$$m = \frac{[CO_{2ot}]}{[CO_{2t}]} \quad \text{sök } CO_{2ot}$$

CO_{2ot} Definition på CO_2 -halt är mol%
 $CO_2 + SO_2$ på torra avgaser
 ideala gaser mol% = vol%

(sid 15)

$$CO_{2ot} = \frac{g_{CO_2} + g_{SO_2}}{g_{ot}}$$

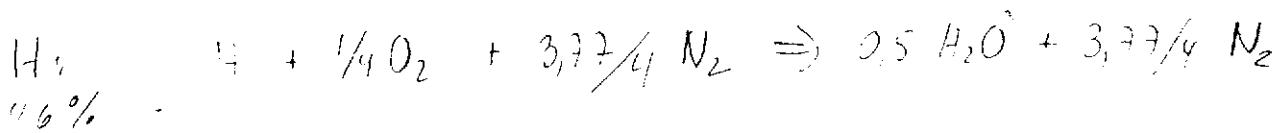


$$1 \text{ kg C} + \frac{32}{12} \frac{\text{mol}}{\text{kg}} O_2 + \frac{3,77}{12} \frac{\text{mol}}{\text{kg}} N_2 \Rightarrow \frac{44}{12} \frac{\text{mol}}{\text{kg}} CO_2 + \frac{3,77}{12} \frac{\text{mol}}{\text{kg}} N_2$$

$$\text{avgasmängd} = \frac{4,77}{12} \frac{\text{mol}}{\text{kg C}}$$

$$(g_{ot})_C = 0,46 \cdot \frac{4,77}{12} = 0,1829 \text{ kmol/kg stenkol}$$

$$g_{\text{CO}_2} = 0,46 \cdot \frac{1}{12} = 0,0383 \text{ kmol/kg stenkol}$$

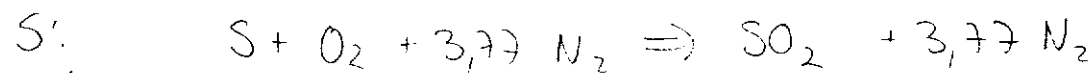


$$1 \text{ kg H} + \frac{1}{4 \cdot 7,008} \frac{\text{kmol}}{\text{kg}} \text{O}_2 + \frac{3,77}{4 \cdot 7,008} \frac{\text{kmol}}{\text{kg}} \text{N}_2 \Rightarrow$$

$$\frac{0,5}{7,008} \frac{\text{kmol}}{\text{kg}} \text{H}_2\text{O} + \frac{3,77}{4 \cdot 7,008} \frac{\text{kmol}}{\text{kg}} \text{N}_2$$

$$\text{tott avgasmängd} = \frac{3,77}{4 \cdot 7,008} \frac{\text{kmol}}{\text{kg H}}$$

$$(g_{\text{ot}})_{\text{H}} = \frac{0,046 \cdot 3,77}{4 \cdot 7,008} = 0,00130 \text{ kmol/kg stenkol}$$

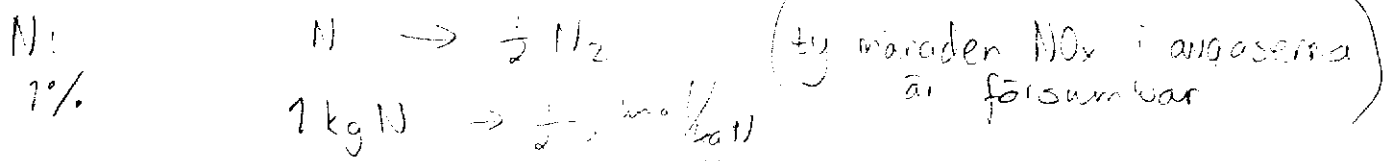


$$1 \text{ kg S} + \frac{1}{32} \frac{\text{kmol}}{\text{kg}} \text{O}_2 + \frac{3,77}{7,008} \frac{\text{kmol}}{\text{kg}} \text{N}_2$$

$$\text{avgasmängd} = \frac{3,77}{32} = 0,118 \text{ kmol/kg S}$$

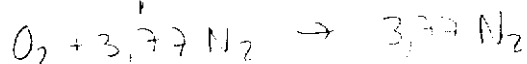
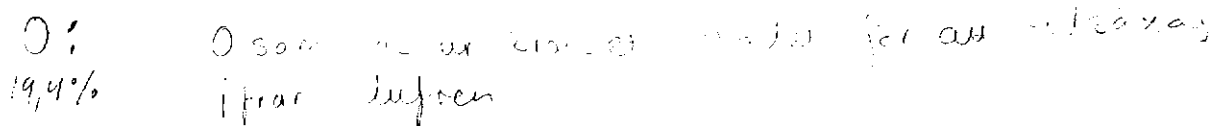
$$(g_{\text{ot}})_{\text{S}} = 0,007 \cdot \frac{3,77}{32} = 0,0010 \text{ kmol/kg stenkol}$$

$$g_{\text{SO}_2} = 0,007 \cdot \frac{1}{32} = 0,0002 \text{ kmol/kg stenkol}$$



$$\text{avgasmängd} = \frac{1}{2 \cdot 7,008} = 0,0357 \text{ kmol/kg N}$$

$$(g_{\text{ot}})_{\text{N}} = 0,01 \cdot \frac{1}{2} = 0,0005 \text{ kmol/kg stenkol}$$



$$\text{avgasmängdminskning} = \frac{3,77}{32} \text{ kmol/kg O}$$

$$(g_{\text{ot}})_{\text{O}} = -\frac{3,77}{32} \cdot 0,194 = -0,0229 \text{ kmol/kg stenkol}$$

Asia ger ingen avgasflöde

Europa ger inget nytt avgasflöde.

$$Q_{ot} = (Q_{ot})_c + (Q_{ot})_u + (Q_{ot})_s + Q_{ot,N} - (Q_{ot})_o$$

$$Q_{ot} = 0,1829 + 0,0430 + 0,0010 + 0,0004 - 0,0229 = 0,2044 \text{ umol/kg stenho}$$

$$CO_{2ot} = \frac{Q_{CO_2} + Q_{SO_2}}{Q_{ot}} = \frac{0,0383 + 0,0002}{0,2044} = 0,188$$

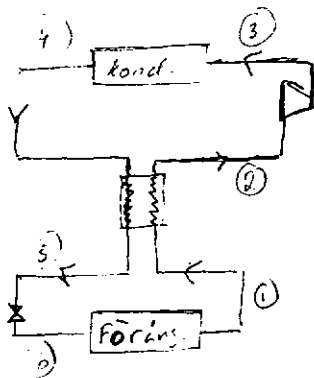
$$m = \frac{[CO_{2ot}]}{[CO_2]} = \frac{0,188}{0,47} = 0,40$$

SVAR: Luftöverskottet var 40%.

B 4. (Endast Kf -92) I en kylmaskin med R22 som köldmedium och en kyleffekt av 8 kW är insatt en värmeväxlare för underkyllning med 6K av det mättade kondensatet från kondensorn. Det sker med hjälp av den mättade ångan från förångaren som överhettad tillföres kompressorn. Kompressorn är av kolvtyp med en cylinder. Hur stor cylindervolym erfordras om kompressorn arbetar reversibelt med 200 varv/min och har ett skadligt rum uppgående till 5 % av cylindervolymen?

Förångnings- och kondenseringstemperaturen är $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$ respektive $30\text{ }^{\circ}\text{C}$. Antag att den överhettade ångan kan approximeras till en ideal gas med $\kappa = 1,18$.

(5 p)



Givet:

$$Q_F = 8 \text{ kW}$$

$$\theta_{\text{underkyllning}} = 6 \text{ K}$$

$$n_{\text{komp}} = 200 \text{ varv/min}$$

$$V_k = 0,25 \cdot V_{\text{cylinder}}$$

$$\theta_f = -10\text{ }^{\circ}\text{C}$$

$$\theta_k = 30\text{ }^{\circ}\text{C}$$

$$\text{R22} \sim \text{ideal gas } \kappa = 1,18$$

Reversibel kompressor

Sök ut: Cylindervolym

1) massflöde genom kompressorn

$$\dot{m} = \frac{\dot{Q}_F}{h_1 - h_6}$$

$$h_1 = \text{mättad ånga, } -10\text{ }^{\circ}\text{C} / = 401,53 \text{ kJ/kg} \quad \text{D \& D sid 67}$$

$$h_6 = h_5 = h_4 - c_p \cdot \theta_{\text{underkyllning}}$$

$$h_4 = \text{mättad vätska, } 30\text{ }^{\circ}\text{C} / = 236,66$$

$$c_p = 1,371 \text{ kJ/kg}\cdot\text{K}$$

D \& D sid 77

$$\dot{m} = \frac{8}{401,53 - (236,66 - 6 \cdot 1,371)} = 4,62 \cdot 10^{-2} \text{ kg/s}$$

a) ...

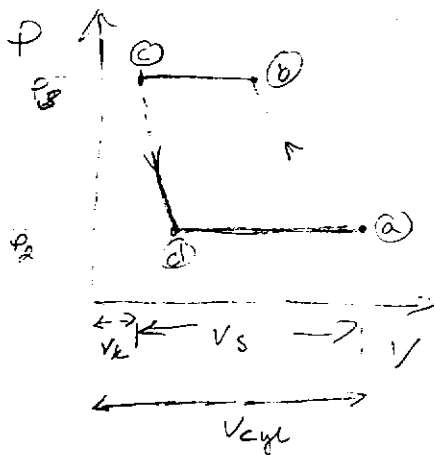
$$h_2 = h_1 + (h_2 - h_1) = h_1 + c_p T_g T_{1,2} = 40138 + 6 \cdot 1,27 = 40177 \frac{kJ}{kg}$$

$$h_2 = h_1 + (h_2 - h_1) = h_1 + c_p T_g T_{1,2} = 40138 + 6 \cdot 1,27 = 40177 \frac{kJ}{kg}$$

diagram sid 69 ger $v_2 (P_2, T_2) \approx 0,07 \text{ m}^3/kg$

$$\dot{V}_k = 3,07 \cdot 1,62 \cdot 10^{-2} = 3,13 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3/s$$

3) ...



$$\begin{aligned} V_{cyl} &= V_k + V_s \\ V_k &= 0,95 \cdot V_{cyl} \end{aligned} \quad \left. \vphantom{\begin{aligned} V_{cyl} &= V_k + V_s \\ V_k &= 0,95 \cdot V_{cyl} \end{aligned}} \right\} 0,95 \cdot V_{cyl} = V_s$$

$$V_s = V_a - V_c = (V_a - V_b) + (V_b - V_c) = (V_d - V_c)$$

$$V_a - V_c = \frac{\dot{V}_k}{\rho_{komp}} = \frac{3,13 \cdot 10^{-3} \cdot 60}{200} = 9,70 \cdot 10^{-4} \text{ m}^3$$

isothermal compression med $\kappa = 1,18$

$$\Rightarrow V_d = V_c \left(\frac{P_c}{P_d} \right)^{\frac{1}{\kappa}} = V_c \left(\frac{2,92}{3,597} \right)^{\frac{1}{1,18}} = 2,80 \cdot V_c$$

$$\Rightarrow V_s = 9,70 \cdot 10^{-4} + 1,80 \cdot V_c = 9,70 \cdot 10^{-4} + 1,80 \cdot V_k = 9,70 \cdot 10^{-4} + 0,09 \cdot V_{cyl}$$

$$\Rightarrow V_{cyl} = \frac{9,70 \cdot 10^{-4}}{0,95 - 0,09} = 1,13 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3 \approx \underline{\underline{1180 \text{ cm}^3}}$$

TENTAMEN I ENERGITEKNIK K för K3 och KF3, 1995-08-28 kl 14.15-18.15

Tentamen omfattar:

Avdelning A: Teori och beskrivande moment

Inga hjälpmedel

Avdelning B: Problem

Tillåtna hjälpmedel:

De av Sektionsstyrelsen för kemi och Grundutbildningskommittén K godkända räknedosorna HP42S, Casio fx 8700G och Texas Galaxy 67 samt de typgodkända räknedosorna Casio fx 82, Texas Ti30 och Sharp EL 531.

Föreläsningsanteckningar (eller veckoblad) i Energiteknik, kursmaterial i Energiteknik och Transportprocesser (ej exempelsamlingar), handböcker.

OBS! Till tentamen får icke medföras lösta exempel. Sådana skall, om de medförs, överlämnas till tjänstgörande skrivningsvakter omedelbart efter det att du tagit del av detta papper. Innehav av lösta exempel under skrivningen medför ovillkorligen att du avvisas från densamma.

När ekvationer används utan härledningar bör källa anges.

Använda symboler skall definieras om dessa inte är lika kursmaterialets. Institutionen förbehåller sig rätten att värdera lösning innehållande odefinierade symboler med 0 poäng.

Lennart Persson, tel CTH: 7723015, kommer från ca kl 14.45 att vara tillgänglig för frågor på skrivsalen.

Lösningar finns anslagna tisdag 95-08-29 kl 10.00 på VoMs anslagstavla på institutionen.

Betygslistan anslås senast torsdag 95-09-07.

Granskning av rättning får ske fredag 95-09-08 kl 13.00-14.00 i VoMs bibliotek.

Avdelning A måste lämnas in innan avdelning B (med hjälpmedel) får påbörjas!

OBS! Vissa tentamensuppgifter är avsedda endast för K och vissa endast för Kf!

Skrivtid: 4 tim

För godkänt krävs minst 15 poäng.

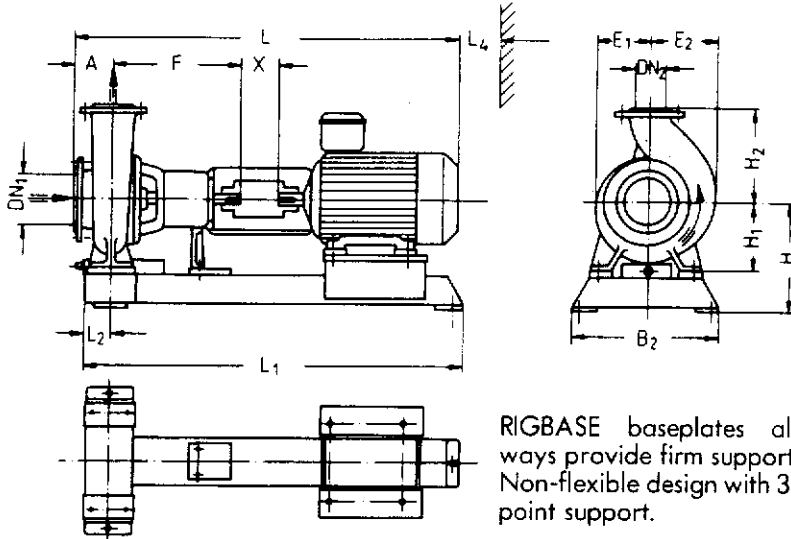
AVDELNING A

- A1. Även en naturgaseldad gasturbin kan ha betydande NO_x -emissioner.
- a) Vilken bildningsmekanism är det fråga om? Motivera! (2 p)
 - b) Vilka typer av förbränningstekniska åtgärder kan användas för att reducera emissionerna och varför är de verksamma? (2 p)
 - c) Vilken storleksordning (mg/MJ) har emissionerna före och efter åtgärderna? (1 p)
- A2. Beskriv principerna för följande värmepumpcykler:
- ekonomizercykeln
 - cykel med genombubblingsmellankylare,
 - kaskadkoppling,
 - seriekoppling
- Och ange för var och en orsakerna till varför den ger en högre värmefaktor (COP) än den enkla cykeln!
- (5 p)
- A3. (Endast K) Bottenuttaget från en destillationskolonn skall transporteras till en högt belägen tank med hjälp av en centrifugalpump. Det hålles en bestämd vätskenivå i kolonnen med hjälp av en reglerkrets. Mellan tanken och kolonnen finns en tryckutjämningsledning. Ledningen är så grov att det i sammanhanget kan bortses från både friktions- och engångsförluster.
- En lämplig pump skall väljas med hjälp av bifogade diagram (se bilaga!). Valet står först mellan två typer i samma serie från en viss pumpleverantör och sedan mellan olika pumphjulsdiametrar och varvtal. Diskutera valet!
- Data: Nivåer (rel marken)
- pump: 0 m
 - vätskeyta i kolonnen: 2 m
 - vätskeyta i tanken: 22 m
- Flöde: $0,028 \text{ m}^3/\text{s}$ (5 p)

- B1. Från en tryckbehållare med olja, leds oljan till en punkt belägen 6,1 m över oljenivån i tanken. Rörledningen är 153 m lång och har en innerdiameter av 0,153 m. Rörledningen, som är av konstruktionsstål, är fastsatt i behållarväggen och mynnar i det fria ovanför en öppen behållare. Hur stort är det erforderliga övertrycket i behållaren, om oljeflödet skall vara 12,7 l/s? Oljans densitet är 840 kg/m^3 och kinematiska viskositet $30 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$? (5 p)
- B2. En kondensor innehåller vertikala tuber av kolstål med ytter- och innerdiameter 56 resp 52 mm. På utsidan av tuberna kondenserar vattenånga vid $50 \text{ }^\circ\text{C}$. I tuberna strömmar kylvatten, som togs från en ledning där temperaturen är $10,7 \text{ }^\circ\text{C}$. Värmeövergångstalet på insidan antas vara $6000 \text{ W/m}^2\text{K}$ vid en hastighet av 2,0 m/s. Hur långa behöver tuberna vara om varje tub skall kondensera $7,0 \cdot 10^{-3} \text{ kg/s}$? (5 p)
- B3. (Endast K) I en panna används eldningsolja (EO1) med effektiva värmevärdet $41,6 \text{ MJ/kg}$. En kontroll visar att CO_2 -halten i rökgaserna är endast 5 %. Genom justering av draget (lufttillförseln) höjs halten till 10 %. Beräkna ökningen i flamtemperatur (approximerad som adiabatisk förbrännings-temperatur)! Lufttemperaturen är $25 \text{ }^\circ\text{C}$. (5 p)
- B3. (Endast Kf) En öppen gasturbin arbetar med tryckförhållandet 1:5. Luftens tillstånd före kompressorn är $20 \text{ }^\circ\text{C}$, 1 bar. Beräkna avgasernas temperatur efter turbinen, om 1 MW värme tillsätts i brännkammaren. Isentropiska verkningsgraden är för kompressorn 0,85 och för turbinen 0,90. Luften och avgaserna kan betraktas som ideala gaser med $c_p = 1,1 \text{ kJ/kgK}$ och $\kappa = 1,40$. Flödet genom processen kan betraktas som konstant och lika med 2,0 kg/s. (5 p)
- B4. (Endast Kf) Naturgas av 8,0 MPa och 300 K tillföres en välisolerad tryckbehållare, som rymmer 30 m^3 , via en rörledning. I ledningen finns en ventil. Behållaren är från början evakuerad. Efter en tids fyllning av behållaren stängs ventilen. Med hjälp av en kylmaskin kyls gasen till 160 K. Efter kylningen innehåller behållaren 50 volym-% kondenserad gas. Hur mycket energi har då kylts bort? Antag att naturgasen kan approximeras med ren metan. Termodynamiska tabeller för metan bifogas. (5p)

Lycka till!

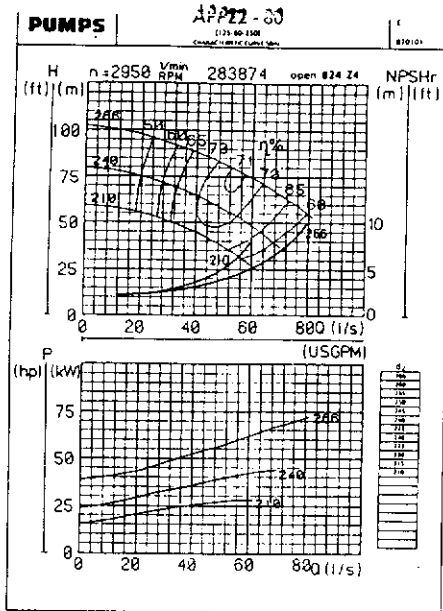
Bilaga till uppgift A3
PUMPDIAGRAM



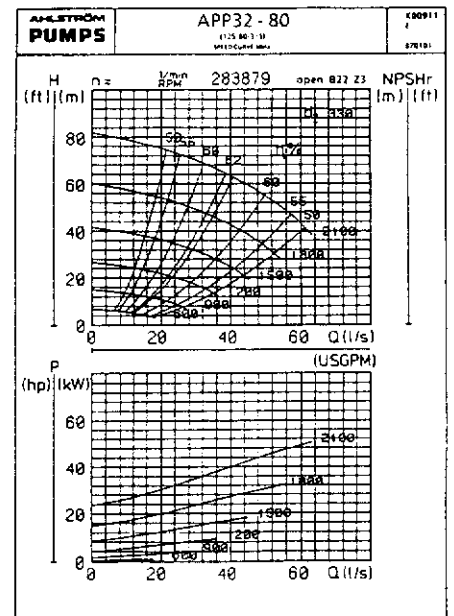
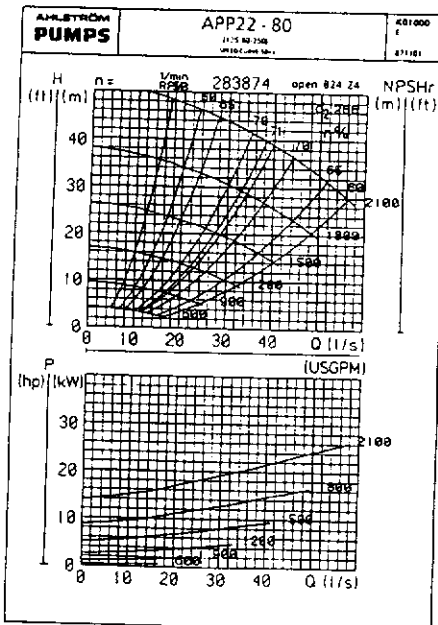
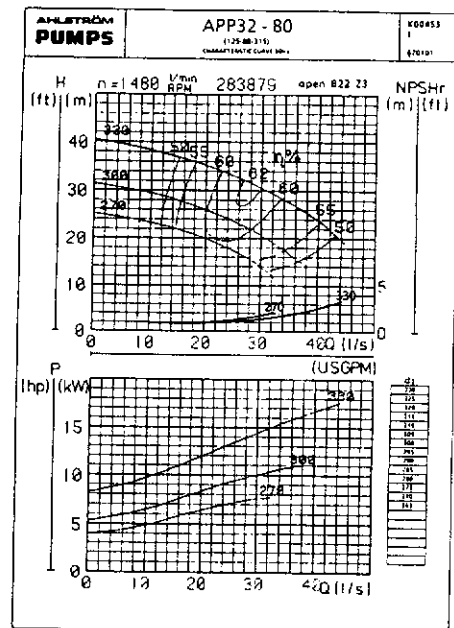
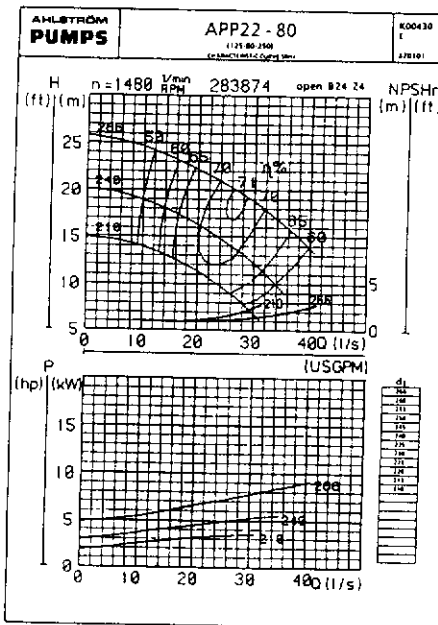
RIGBASE baseplates always provide firm support. Non-flexible design with 3-point support.

Dimensions ISO 2858
 (up to size 44-150)
 Specifications ISO 5199
 Stuffing box ISO 3069
 Flanges ISO 2084
 PN10 or PN16
 (can also be drilled according to ANSI or JIS standards)

Type	Dimensions in mm															
	DN ₁	DN ₂	A	F	H ₁	H ₂	E ₁	E ₂	X	H ₁	B ₂	L ₁	L ₁	L ₂	L ₄ min	Weight kg 2)
APP 21-65	100	65	100	500	180	225	140	165	140	415	610	1705	1555	100	90	250
APP 21-80	125	80	125	500	180	250	150	180	140	415	610	1730	1555	100	90	260
APP 22-50	80	50	125	500	180	225	160	180	140	415	610	1730	1555	100	90	265
APP 22-65	100	65	125	500	200	250	170	190	140	450	700	1815	1755	100	100	270
APP 22-80	125	80	125	500	225	280	180	210	140	490	700	2035	1755	100	115	340
APP 31-100	125	100	140	530	225	280	185	225	140	530	740	2285	2000	125	115	450
APP 31-125	150	125	140	530	250	355	205	260	140	580	740	2390	2000	125	130	510
APP 31-150	200	150	160	530	280	375	220	290	140	580	740	2410	2000	125	130	545
APP 32-65	100	65	125	530	225	280	205	220	140	530	740	2270	2000	125	115	450
APP 32-80	125	80	125	530	250	315	210	235	140	580	740	2375	2000	125	130	510
APP 32-100	125	100	140	530	250	315	210	250	140	580	740	2390	2000	125	130	520
APP 32-125	150	125	140	530	280	355	225	270	140	580	740	2390	2000	125	130	530
APP 33-100	125	100	140	530	280	355	255	280	140	580	740	2390	2000	125	130	560
APP 33-125	150	125	140	530	315	400	260	300	140	470	700	1860	1755	100	100	575



Bilaga till uppgift A3
 PUMPDIAGRAM



BILAGA TILL UPPGIFT B4 (2 sidor)

TABLE A.7SI *Thermodynamic Properties of Methane*
 TABLE A.7.1SI *Saturated Methane (SI Units)*

Temp. K	Abs. Press. MPa <i>P</i>	Specific Volume, m ³ /kg			Enthalpy, kJ/kg			Entropy, kJ/kg K		
		Sat. Liquid v_f	Evap. v_{fg}	Sat. Vapor v_g	Sat. Liquid h_f	Evap. h_{fg}	Sat. Vapor h_g	Sat. Liquid s_f	Evap. s_{fg}	Sat. Vapor s_g
90.685	0.01169	0.00221	3.97955	3.98176	-358.1	543.1	185.1	4.226	5.989	10.216
95	0.01983	0.00224	2.44824	2.45048	-343.7	537.2	193.4	4.381	5.654	10.035
100	0.03441	0.00228	1.47657	1.47885	-326.8	529.8	202.9	4.554	5.298	9.851
105	0.05643	0.00231	0.93791	0.94022	-309.7	521.8	212.2	4.721	4.970	9.691
110	0.08820	0.00235	0.62219	0.62454	-292.3	513.3	221.0	4.882	4.666	9.548
115	0.13232	0.00239	0.42808	0.43048	-274.7	504.1	229.4	5.037	4.384	9.421
120	0.19158	0.00244	0.30371	0.30615	-257.0	494.2	237.2	5.187	4.118	9.305
125	0.26896	0.00249	0.22110	0.22359	-239.0	483.4	244.5	5.332	3.868	9.200
130	0.36760	0.00254	0.16448	0.16702	-220.7	471.7	251.0	5.473	3.629	9.102
135	0.49072	0.00259	0.12457	0.12717	-202.1	458.9	256.8	5.611	3.399	9.011
140	0.64165	0.00265	0.09574	0.09839	-183.2	444.8	261.7	5.746	3.177	8.924
145	0.82379	0.00272	0.07444	0.07716	-163.7	429.4	265.7	5.879	2.961	8.841
150	1.04065	0.00279	0.05838	0.06117	-143.7	412.3	268.5	6.011	2.748	8.759
155	1.29580	0.00288	0.04604	0.04892	-123.1	393.3	270.2	6.141	2.537	8.679
160	1.59296	0.00297	0.03638	0.03935	-101.6	372.0	270.3	6.272	2.325	8.597
165	1.93607	0.00309	0.02868	0.03176	-79.1	347.8	268.7	6.405	2.108	8.512
170	2.32936	0.00322	0.02241	0.02563	-55.2	320.0	264.8	6.540	1.882	8.422
175	2.77762	0.00339	0.01718	0.02058	-29.3	287.2	257.9	6.681	1.641	8.322
180	3.28655	0.00362	0.01266	0.01628	-0.5	246.8	246.2	6.833	1.371	8.204
185	3.86361	0.00398	0.00845	0.01243	33.8	192.1	225.9	7.009	1.038	8.048
190	4.52082	0.00499	0.00298	0.00796	92.2	79.8	172.0	7.305	0.420	7.725
190.551	4.59920	0.00615	0	0.00615	129.7	0	129.7	7.500	0	7.500

TABLE A.7.2S1 *Superheated Methane (SI Units)*

Abs. Press. MPa		Temperature, K									
		150	175	200	225	250	275	300	350	400	450
0.05	v	1.5433	1.8054	2.0665	2.3270	2.5872	2.8472	3.1069	3.6262	4.1451	—
	h	308.5	360.8	413.2	465.8	518.9	572.9	628.1	742.9	865.4	—
	s	10.5170	10.8399	11.1196	11.3674	11.5914	11.7972	11.9891	12.3429	12.6697	—
0.10	v	0.7659	0.8984	1.0299	1.1609	1.2915	1.4219	1.5521	1.8123	2.0721	—
	h	306.8	359.6	412.2	465.0	518.3	572.4	627.6	742.6	865.1	—
	s	10.1504	10.4759	10.7570	11.0058	11.2303	11.4365	11.6286	11.9829	12.3099	—
0.50	v	0.1433	0.1726	0.2006	0.2280	0.2550	0.2817	0.3083	0.3611	0.4137	—
	h	292.3	349.1	404.1	458.5	512.9	567.8	623.7	739.6	862.8	—
	s	9.2515	9.6021	9.8959	10.1520	10.3812	10.5906	10.7850	11.1422	11.4710	—
1.00	v	0.0643	0.0815	0.0968	0.1113	0.1254	0.1392	0.1528	0.1798	0.2064	—
	h	270.6	334.9	393.5	450.1	506.0	562.0	618.8	735.9	860.0	—
	s	8.7902	9.1871	9.5006	9.7672	10.0028	10.2164	10.4138	10.7748	11.1059	—
1.50	v	—	0.0508	0.0621	0.0724	0.0822	0.0917	0.1010	0.1193	0.1373	—
	h	—	318.8	382.3	441.4	499.0	556.2	613.8	732.3	857.2	—
	s	—	8.9121	9.2514	9.5303	9.7730	9.9911	10.1916	10.5565	10.8899	—
2.00	v	—	0.0350	0.0446	0.0529	0.0606	0.0680	0.0751	0.0891	0.1027	—
	h	—	300.0	370.2	432.4	491.8	550.3	608.9	728.6	854.3	—
	s	—	8.6839	9.0596	9.3532	9.6036	9.8266	10.0303	10.3992	10.7349	—

TABLE A.7.2S1 (Continued) *Superheated Methane (SI Units)*

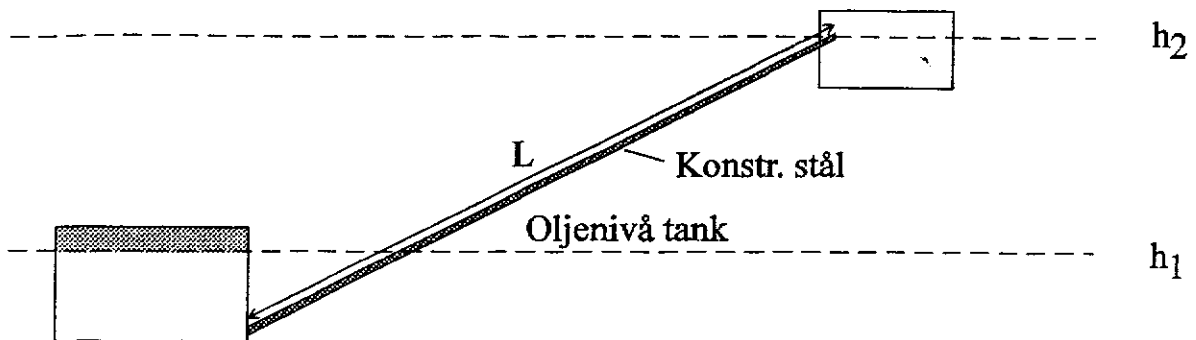
Abs. Press. MPa		Temperature, K									
		100	125	200	225	250	275	300	350	400	450
3.00	v	—	—	0.0269	0.0333	0.0390	0.0442	0.0492	0.0589	0.0682	0.0774
	h	—	—	342.7	413.3	477.1	538.3	598.8	721.2	848.8	983.5
	s	—	—	8.7492	9.0823	9.3512	9.5848	9.7954	10.1726	10.5130	10.8303
4.00	v	—	—	0.0176	0.0235	0.0281	0.0324	0.0363	0.0438	0.0510	0.0580
	h	—	—	308.2	392.4	461.6	526.1	588.7	713.9	843.2	979.2
	s	—	—	8.4675	8.8653	9.1574	9.4031	9.6212	10.0071	10.3523	10.6725
5.00	v	—	—	0.0114	0.0175	0.0216	0.0252	0.0286	0.0348	0.0406	0.0463
	h	—	—	258.3	369.3	445.6	513.6	578.6	706.7	837.8	975.0
	s	—	—	8.1459	8.6728	8.9945	9.2540	9.4802	9.8751	10.2251	10.5483
6.00	v	—	—	0.0061	0.0135	0.0173	0.0205	0.0234	0.0288	0.0338	0.0386
	h	—	—	160.3	343.7	428.8	500.9	568.4	699.5	832.4	970.9
	s	—	—	7.6125	8.4907	8.8502	9.1253	9.3601	9.7643	10.1192	10.4453
8.00	v	—	—	0.0041	0.0085	0.0120	0.0147	0.0171	0.0213	0.0252	0.0289
	h	—	—	88.5	285.0	393.9	475.4	548.1	685.4	822.0	962.9
	s	—	—	7.2069	8.1344	8.5954	8.9064	9.1598	9.5831	9.9477	10.2796
10.00	v	—	—	0.0038	0.0059	0.0089	0.0113	0.0133	0.0169	0.0201	0.0231
	h	—	—	72.2	229.3	358.6	450.1	528.4	671.8	811.9	955.3
	s	—	—	7.0862	7.8245	8.3716	8.7210	8.9936	9.4362	9.8104	10.1480

ET 95-08-28

B7: 10²

- B1. Från en tryckbehållare med olja, leds oljan till en punkt belägen 6,1 m över oljenivån i tanken. Rörledningen är 153 m lång och har en innerdiameter av 0,153 m. Rörledningen, som är av konstruktionsstål, är fastsatt i behållarväggen och mynnar i det fria ovanför en öppen behållare. Hur stort är det erforderliga övertrycket i behållaren, om oljeflödet skall vara 12,7 l/s? Oljans densitet är 840 kg/m^3 och kinematiska viskositet $30 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$?

(5 p)

**Data:**

$$h_2 = 6.1 \text{ m}$$

$$L = 153 \text{ m}$$

$$d = 0.153 \text{ m}$$

$$v = 12.7 \text{ l/s} = 0.0127 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$\rho_{\text{olja}} = 840 \text{ kg/m}^3$$

$$\nu_{\text{olja}} = 30 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$$

Sökt: p_1

BE:

$$p_1 + \rho g h_1 + \frac{\rho w_1^2}{2} = p_2 + \rho g h_2 + \frac{\rho w_2^2}{2} + \Delta p_f$$

$$h_1 = 0 \text{ m}$$

$$w_1 = w_2 \approx 0 \text{ m/s}$$

$$p_2 = 1 \text{ atm}$$

$$p_1 = p_2 + \rho g h_2 + \Delta p_f$$

$$\Delta p_f = f_1 \rho w_{\text{ledn}}^2 \frac{L}{d} + \sum \zeta \frac{\rho w_{\text{ledn}}^2}{2}$$

Engångsmotstånd: $\zeta_{\text{in}} = 0.5$ $\zeta_{\text{ut}} = 1.0$

Friktionskoeff.: $f_1 = f(\text{Re}, y_s, d)$

$$w_{\text{ledn}} = \frac{4v}{\pi d^2} = \dots = 0.691 \text{ m/s}$$

$$\text{Re} = \frac{w_{\text{ledn}} d}{\nu} = \dots = 3523$$

$$y_s = 0.3 \text{ mm} \quad y_s/d = 0.002 \quad f_1 = 0.02$$

Insättn. ger $p_1 = 58.6 \text{ kPa}$ ö

- B2. En kondensör innehåller vertikala tuber av kolstål med ytter- och innerdiametern 56 resp 52 mm. På utsidan av tuberna kondenserar vattenånga vid 50 °C. I tuberna strömmar kylvatten, som tages från en ledning där temperaturen är 10,7 °C. Värmeövergångstalet på insidan antas vara 6000 W/m²K vid en hastighet av 2,0 m/s. Hur långa behöver tuberna vara om varje tub skall kondensera 7,0 · 10⁻³ kg/s?

(5 p)

Givet: vertikal tub av kolstål

$$d_i = 52 \text{ mm} \quad d_y = 56 \text{ mm}$$

$$t_1 = 50 \text{ °C} = t_{\text{cond}}$$

$$\alpha_2 = 6000 \text{ W/m}^2\text{K}$$

$$w_2 = 2,0 \text{ m/s}$$

$$\dot{m}_{\text{kond}} = 7,0 \cdot 10^{-3} \text{ kg/s}$$

$$t_{2,\text{in}} = 10,7 \text{ °C}$$

Sökt: H

Lösning: Räkna på en tub!

$$(1) \quad \dot{Q} = k A \nu_m = \dot{Q} \quad (11.21) \quad 377$$

$$(2) \quad \dot{Q} = \dot{m}_{\text{kond}} r$$

$$(3) \quad A = \pi d_y H$$

$$(4) \quad \dot{Q} = \Delta \alpha \cdot \dot{W}_2 = (t_{2,\text{ut}} - t_{2,\text{in}}) \dot{W}_2 \quad (11.2) \quad 377$$

$$(5) \quad \dot{W}_2 = \dot{m}_2 \cdot c_p = w_2 \pi d_i^2 c_p \rho / 4 \quad 377$$

$$(6) \quad \nu_m = \frac{t_{2,\text{ut}} - t_{2,\text{in}}}{\ln \frac{t_1 - t_{2,\text{in}}}{t_1 - t_{2,\text{ut}}}} \quad (11.33) \quad 377$$

$$(7) \quad \frac{1}{k} = \frac{1}{\alpha_1} + \frac{d_o - d_i}{2 \lambda_{\text{väss}}} + \frac{1}{\alpha_2} \quad (11.13) \quad 377$$

$$(8) \alpha_1 = \frac{k}{(\Delta L H)^{1/4}} \quad (11.87) 418$$

$$(9) \Delta t = \nu_1$$

$$(10) \dot{Q} = \alpha_1 A \nu_1 = k A \nu_m \quad (11.12) 37$$

Vid 50°C gäller för vatten/ånga

$$r = 2383 \text{ kJ/kg}$$

$$K = 9,6 \cdot 10^3$$

$$\dot{Q} = 7,0 \cdot 10^{-3} \cdot 2383 \cdot 10^3 = 16681 \text{ W} \quad (2)$$

Vid 15°C gäller för vatten

$$c_p = 4,19 \cdot 10^3 \text{ J/kg K} \quad \rho = 999 \text{ kg/m}^3$$

$$\begin{aligned} \dot{W}_a &= 2,0 \pi \cdot 0,055^2 \cdot 4,19 \cdot 10^3 \cdot 999/4 = \\ &= 17779 \text{ W/K} \quad (5) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} t_{2,ut} &= t_{2,in} + \dot{Q} / \dot{W}_a = 10,7 + 0,94 = \\ &= 11,64 \text{ }^\circ\text{C} \quad (4) \end{aligned}$$

$$\nu_m = \frac{0,94}{\ln \frac{50-10,7}{50-11,64}} = 38,83 \text{ K} \quad (6)$$

α_2 kan inte beräknas om
inte ν_1 är känt (8), men
 ν_1 kan inte beräknas utan α_1 (7) & (3)

$$\text{Gissa } \alpha_1 = 5000 \text{ W/m}^2\text{K}$$

För ledetäl gäller

$$\lambda = 35 - 55 \text{ W/mK} \quad (\text{BEG})$$

Tab 11.09

$$\text{Antag } \lambda_{\text{väss}} = 45 \text{ W/mK}$$

$$k = \left(\frac{1}{5000} + \frac{2,11 \cdot 10^{-4}}{0,056 - 0,052} + \frac{1}{6000} \right)^{-1} =$$

$$= 2432 \text{ W/m}^2\text{K} \quad (7)$$

$$v_1 = \frac{k}{\alpha_1} v_m = 18,89 \text{ K} \quad (10)$$

$$H = \frac{\dot{Q}}{\pi d_y k v_m} = \frac{16681}{\pi \cdot 0,056 \cdot 2432 \cdot 38,83} =$$

$$= 1,00 \text{ m} \quad (1)(3)$$

$$\alpha_1 = \frac{9,6 \cdot 10^3}{(18,89 \cdot 1,00)^{1/4}} = 4605 \text{ W/m}^2\text{K} \quad (8)$$

Delta blir ny gissning

$$k = 2335 \text{ W/m}^2\text{K}$$

$$v_1 = 19,69 \text{ K}$$

$$H = 1,04 \text{ m}$$

$$\alpha_1 = 4511 \text{ W/m}^2\text{K} \quad \text{duger!}$$

Svar: Tublängden är 1,04 m

- B3. (Endast K) I en panna används eldningsolja (EO1) med effektiva värmevärdet 41,6 MJ/kg. En kontroll visar att CO_2 -halten i rökgaserna är endast 5 %. Genom justering av draget (lufttillförseln) höjs halten till 10 %. Beräkna ökningen i flamtemperatur (approximerad som adiabatisk förbrännings-temperatur)! Lufttemperaturen är 25 °C.

(5 p)

Lösning:

Adiabatiska förbrännings-temp.
er hålles ur (12.7) med

$$|\dot{q}| = 0 \quad \text{dvs}$$

$$(\dot{H}_i)_{25^\circ\text{C}} + \dot{L}_v (h_c - h_{v,25^\circ\text{C}}) = \dot{G}_v (h_s - h_{s,25^\circ\text{C}})$$

\dot{L}_v och \dot{G}_v måste beräknas

$$\dot{G}_v = \dot{G}_0 + (m-1)\dot{I}_0 \quad (12.4)$$

$$\dot{L}_v = m \dot{I}_0 \quad (12.3)$$

$$m = \frac{(\text{CO}_2)_{ot}}{(\text{CO}_2)_t} \quad (12.5b)$$

För EO1 gäller (T&D) 75,77

$$\dot{I}_0 = \dot{I}_{ot} = 11,09 \text{ Nm}^3/\text{kg}$$

$$\dot{G}_0 = 11,78 \quad \text{---}$$

$$(\text{CO}_2)_{ot} = 0,156$$

$$(CO_2)_t = 0,05$$

$$m = \frac{0,156}{0,05} = 3,12$$

$$g_v = 11,28 + (3,12 - 1) \cdot 11,09 = 35,29 \text{ Nm}^3/\text{kg}$$

$$(L_v = 3,12 \cdot 11,09 = 34,60 \text{ Nm}^3/\text{kg})$$

$$(CO_2)_t = 0,10$$

$$m = \frac{0,156}{0,10} = 1,56$$

$$g_v = 11,28 + (1,56 - 1) \cdot 11,09 = 17,99 \text{ Nm}^3/\text{kg}$$

$$(L_v = 1,56 \cdot 11,09 = 17,30 \text{ Nm}^3/\text{kg})$$

$$(h_{f,i})_{25^\circ\text{C}} = h_{f,i} = 41,6 \text{ kJ/kg}$$

$$h_L = h_{L,25^\circ\text{C}}$$

$$h_{g,25^\circ\text{C}} = 30 \text{ kJ/Nm}^3 \text{ (Fig 4)}$$

$$h_g = 30 + \frac{41,6 \cdot 10^3}{35,29} = 1209 \text{ kJ/Nm}^3$$

$$t_g = 840^\circ\text{C} \text{ (Fig 4)}$$

$$h_{g,25^\circ\text{C}} = 30 \text{ kJ/Nm}^3 \text{ (Fig 4)}$$

$$h_g = 30 + \frac{41,6 \cdot 10^3}{17,99} = 2342 \text{ kJ/Nm}^3$$

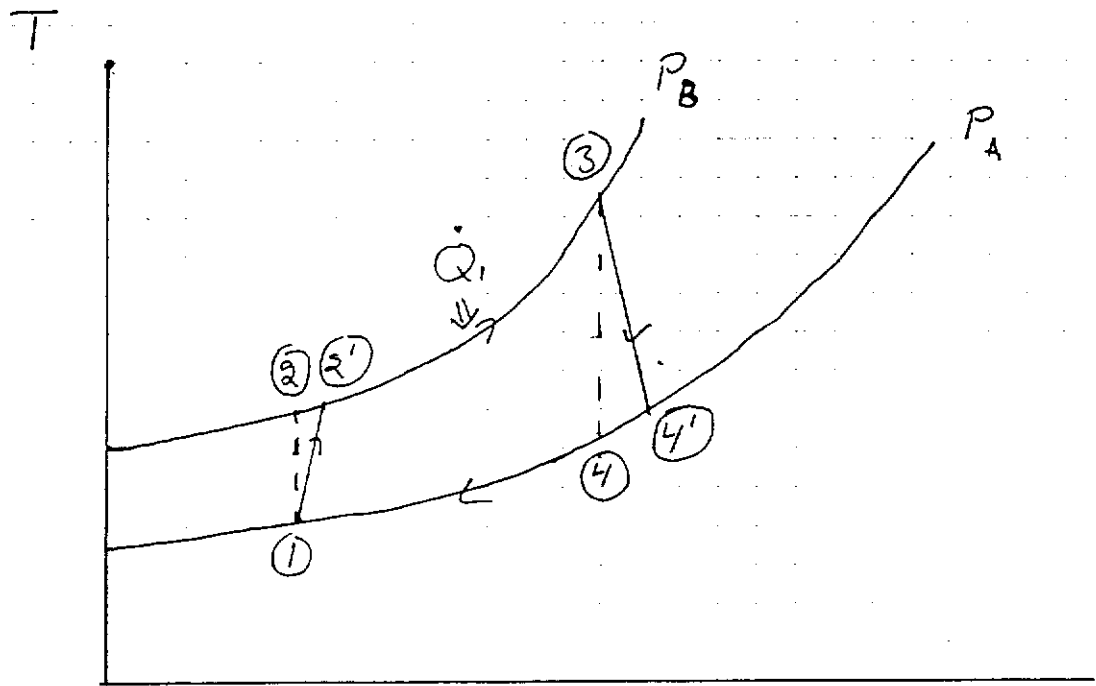
$$t_g = 1510^\circ\text{C} \text{ (Fig 4)}$$

$$\Delta t_0 = 1510 - 840 = 670 \text{ K}$$

Svar: Temperaturen ökar 670 K

B3. (Endast Kf) En öppen gasturbin arbetar med tryckförhållandet 1:5. Luftens tillstånd före kompressorn är 20 °C, 1 bar. Beräkna avgasernas temperatur efter turbinen, om 1 MW värme tillsätts i brännkammaren. Isentropiska verkningsgraden är för kompressorn 0,85 och för turbinen 0,90. Luften och avgaserna kan betraktas som ideala gaser med $c_p = 1,1 \text{ kJ/kgK}$ och $\kappa = 1,40$. Flödet genom processen kan betraktas som konstant och lika med 2,0 kg/s.

(5 p)



Givet: $P_B / P_A = 5$ $\dot{Q}_i = 1 \text{ MW}$

$t_1 = 20^\circ\text{C}$ $P_1 = P_A = 1$ $\dot{m} = 2.0 \text{ kg/s}$

$(\eta_{tdi})_k = 0.85$ $(\eta_{tdi})_t = 0.90$

$c_p = 1.1 \text{ kJ/kg}^\circ\text{C}$ $\kappa = 1.40$

Beräkna t_{41} !

150.2(15)

Beräkningssång: $T_2 \rightarrow T_{2'} \rightarrow T_3 \rightarrow T_4$

Med $T_1 = 273.15 + 20 = 293.15$ erhålles T

$$\text{ur } \left(\frac{T_2}{T_1} \right) = \left(\frac{P_2}{P_1} \right)^{\frac{\gamma-1}{\gamma}}$$

$$\therefore T_2 = T_1 \cdot 5^{\frac{1.4-1}{1.4}} = 464.3$$

$T_{2'}$ erhålles ur

$$\frac{T_2 - T_1}{T_{2'} - T_1} = (\eta)_{\text{tdi}} \eta_c$$

$$\therefore T_{2'} = T_1 - \frac{T_2 - T_1}{(\eta)_{\text{tdi}} \eta_c} = 293.15 - \frac{171.15}{0.85} = 293.15 - 201.35 = 91.8$$

T_3 erhålles ur

$$\dot{m} (T_3 - T_{2'}) c_p = \dot{Q}_1$$

$$\therefore T_3 = \frac{\dot{Q}_1}{c_p \cdot \dot{m}} + T_{2'} = \frac{1 \cdot 10^3}{1.1 \cdot 2.0} + 91.8 = 494.5 + 91.8 = 586.3$$

T_4 erhålles ur

$$\left(\frac{T_4}{T_3} \right) = \left(\frac{P_4}{P_3} \right)^{\frac{\gamma-1}{\gamma}}$$

$$\therefore T_4 = \frac{1}{5^{\frac{1.4-1}{1.4}}} \cdot T_3 = \frac{577.2}{577.9} \quad B3:305$$

$T_{4'}$ erhalles ut

$$\frac{T_3 - T_{4'}}{T_3 - T_4} = (\eta_{tdi})_t$$

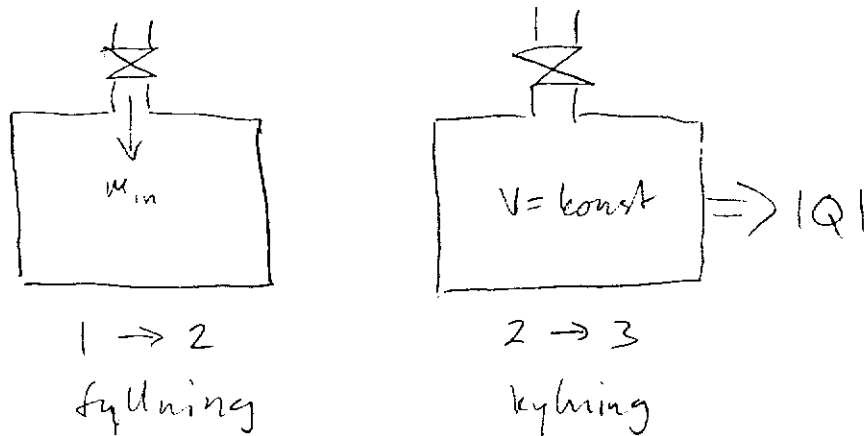
$$\begin{aligned} \therefore T_{4'} &= T_3 - (\eta_{tdi})_t (T_3 - T_4) = \\ &= \frac{949.0}{915.2} - 0.90 \left(\frac{949.0}{915.2} - \frac{599.2}{577.9} \right) = \\ &= \frac{634.2}{611.6} \end{aligned}$$

$$t_4 = \frac{634.2}{611.6} - 273.15 = \frac{361}{338.5}$$

Svar: $\frac{361}{338.5} \text{ } ^\circ\text{C}$

- B4. (Endast Kf) Naturgas av 8,0 MPa och 300 K tillföres en välisolerad tryck-behållare, som rymmer 30 m³, via en rörledning. I ledningen finns en ventil. Behållaren är från början evakuerad. Efter en tids fyllning av behållaren stängs ventilen. Med hjälp av en kylmaskin kyls gasen till 160 K. Efter kylningen innehåller behållaren 50 volym-% kondenserad gas. Hur mycket energi har då kylts bort? Antag att naturgasen kan approximeras med ren metan. Termodynamiska tabeller för metan bifogas.

(5p)



$1 \rightarrow 2$

$$IN: \underbrace{Q}_{=0} + m_{in} \left(h_{in} + \underbrace{\frac{w_{in}^2}{2} + gz_{in}}_{smit} \right)$$

$$UT: 0$$

$$ACK: \Delta U = m_2 u_2 - \underbrace{m_1 u_1}_{=0}$$

$$IN - UT = ACK \Rightarrow m_{in} h_{in} = m_2 u_2 \quad m_{in} = m_2 \Rightarrow h_{in} = u_2$$

$2 \rightarrow 3$

$$IN: Q$$

$$UT: 0$$

$$ACK: \Delta U = m_{in} (u_3 - u_2)$$

$$IN - UT = ACK \Rightarrow Q = m_{in} (u_3 - u_2) \quad (2)$$

Tillståndsen gas av:

$$P_{in}, T_{in} \Rightarrow h_{in} \Rightarrow u_2$$

$$x_3, T_3 \Rightarrow m_3 = m_{in}, u_3$$

TABLE A.7SI *Thermodynamic Properties of Methane*
 TABLE A.7.1SI *Saturated Methane (SI Units)*

Temp. K	Abs. Press. MPa <i>P</i>	Specific Volume, m ³ /kg			Enthalpy, kJ/kg			Entropy, kJ/kg K	
		Sat. Liquid <i>v_f</i>	Evap. <i>v_{fg}</i>	Sat. Vapor <i>v_g</i>	Sat. Liquid <i>h_f</i>	Evap. <i>h_{fg}</i>	Sat. Vapor <i>h_g</i>	Sat. Liquid <i>s_f</i>	Evap. <i>s_{fg}</i>
90.685	0.01169	0.00221	3.97955	3.98176	-358.1	543.1	185.1	4.226	5.989
95	0.01983	0.00224	2.44824	2.45048	-343.7	537.2	193.4	4.381	5.654
100	0.03441	0.00228	1.47657	1.47885	-326.8	529.8	202.9	4.554	5.298
105	0.05643	0.00231	0.93791	0.94022	-309.7	521.8	212.2	4.721	4.970
110	0.08820	0.00235	0.62219	0.62454	-292.3	513.3	221.0	4.882	4.666
115	0.13232	0.00239	0.42808	0.43048	-274.7	504.1	229.4	5.037	4.384
120	0.19158	0.00244	0.30371	0.30615	-257.0	494.2	237.2	5.187	4.118
125	0.26896	0.00249	0.22110	0.22359	-239.0	483.4	244.5	5.332	3.868
130	0.36760	0.00254	0.16448	0.16702	-220.7	471.7	251.0	5.473	3.629
135	0.49072	0.00259	0.12457	0.12717	-202.1	458.9	256.8	5.611	3.399
140	0.64165	0.00265	0.09574	0.09839	-183.2	444.8	261.7	5.746	3.177
145	0.82379	0.00272	0.07444	0.07716	-163.7	429.4	265.7	5.879	2.961
150	1.04065	0.00279	0.05838	0.06117	-143.7	412.3	268.5	6.011	2.748
155	1.29580	0.00288	0.04604	0.04892	-123.1	393.3	270.2	6.141	2.537
160	1.59296	0.00297	0.03638	0.03935	-101.6	372.0	270.3	6.272	2.325
165	1.93607	0.00309	0.02868	0.03176	-79.1	347.8	268.7	6.405	2.108
170	2.32936	0.00322	0.02241	0.02563	-55.2	320.0	264.8	6.540	1.882
175	2.77762	0.00339	0.01718	0.02058	-29.3	287.2	257.9	6.681	1.641
180	3.28655	0.00362	0.01266	0.01628	-0.5	246.8	246.2	6.833	1.371
185	3.86361	0.00398	0.00845	0.01243	33.8	192.1	225.9	7.009	1.038
190	4.52082	0.00499	0.00298	0.00796	92.2	79.8	172.0	7.305	0.420
190.551	4.59920	0.00615	0	0.00615	129.7	0	129.7	7.500	0

**TENTAMEN I ENERGITEKNIK K för K3 och KF3,
1995-04-19 kl 08.45-12.45**

Tentamen omfattar:

Avdelning A: Teori och beskrivande moment

Inga hjälpmedel

Avdelning B: Problem

Tillåtna hjälpmedel:

De av Sektionsstyrelsen för kemi och Grundutbildningskommittén K godkända räknedosorna HP42S, Casio fx 8700G och Texas Galaxy 67 samt de typgodkända räknedosorna Casio fx 82, Texas Ti30 och Sharp EL 531.

Föreläsninganteckningar (eller veckoblad) i Energiteknik, kursmaterial i Energiteknik och Transportprocesser (ej exempelsamlingar), handböcker.

OBS! Till tentamen får icke medföras lösta exempel. Sådana skall, om de medförs, överlämnas till tjänstgörande skrivningsvakter omedelbart efter det att du tagit del av detta papper. Innehav av lösta exempel under skrivningen medför ovillkorligen att du avvisas från densamma.

När ekvationer används utan härledningar bör källa anges.

Använda symboler skall definieras om dessa inte är lika kursmaterialets. Institutionen förbehåller sig rätten att värdera lösning innehållande odefinierade symboler med 0 poäng.

Lennart Persson, tel CTH: 7723015, kommer från ca kl 09.15 att vara tillgänglig för frågor på skrivsalen.

Lösningar finns anslagna tentamensdagen kl 10.00 på VoMs anslagstavla på institutionen.

Betygslistan anslås senast fredag 95-05-05.

Granskning av rättning får ske måndag 95-05-08 kl 11.00-12.00 i VoMs bibliotek.

Avdelning A måste lämnas in innan avdelning B (med hjälpmedel) får påbörjas!

OBS! Vissa tentamensuppgifter är avsedda endast för K och vissa endast för KF!

Skrivtid: 4 tim

För godkänt krävs minst 15 poäng.

AVDELNING A

- A1. En mindre destillationskolonn på ett raffinaderi, för effektiv separation av propan och n-butan, måste förses med återkokare och kondensor. Trycket i kolonnen är ca 1 MPa, vilket motsvarar ca 27°C och 79°C i toppen resp botten av kolonnen.
- a) Diskutera val av värmeväxlartyp för återkokaren (2 p)
 - b) Diskutera val av värmeväxlartyp för kondensorn (2p)
 - c) Diskutera materialval (1p)
- (5 p)
- A2. a) Beskriv noggrant principen för: Absorptionsvärmepump, värmetransformator och en ångkompressionscykel! (3 p)
- b) Beskriv användningsområden för en värmetransformator, definiera COP för den samt ange, med motivering, ungefärligt värde på COP! (2 p)
- (5 p)
- A3. (Endast K) Beskriv vattnet/vattenångans väg från matarvattentanken genom pannsystemets olika delar (värmeväxlare, pumpar etc) och tillbaka till matarvattentanken i en normal panna för kraftproduktion. Pannan är utrustad med överhettare, ekonomiser, luftförvärmare etc, dock ej med separat konvektionsdel. Ange också vattnets tillstånd (mättad vätska vid lågt tryck etc) i pannsystemets olika delar!
- (5 p)

AVDELNING B

- B1. Vatten av 10°C hämtas med en tvärt avhuggen rörledning inne i en reservoar i en punkt 33,4 m under vattenytan. Det passerar först en pump ($\eta_p = 0,68$) och sedan vidare genom rörledningen (inre diameter 85,0 cm, total längd 4,28 km). Ledningen stiger till en punkt 164 m över och 2,64 km från pumpen, faller sedan 47,2 m den återstående sträckan, och omedelbart före utloppet i det fria finns en halvöppen reglerventil ($\zeta = 10$). Beräkna pumpeffekten för ett flöde av 1600 kg/s, om ledningens relativa ytojämnhet är $6,0 \cdot 10^{-4}$!

(5 p)

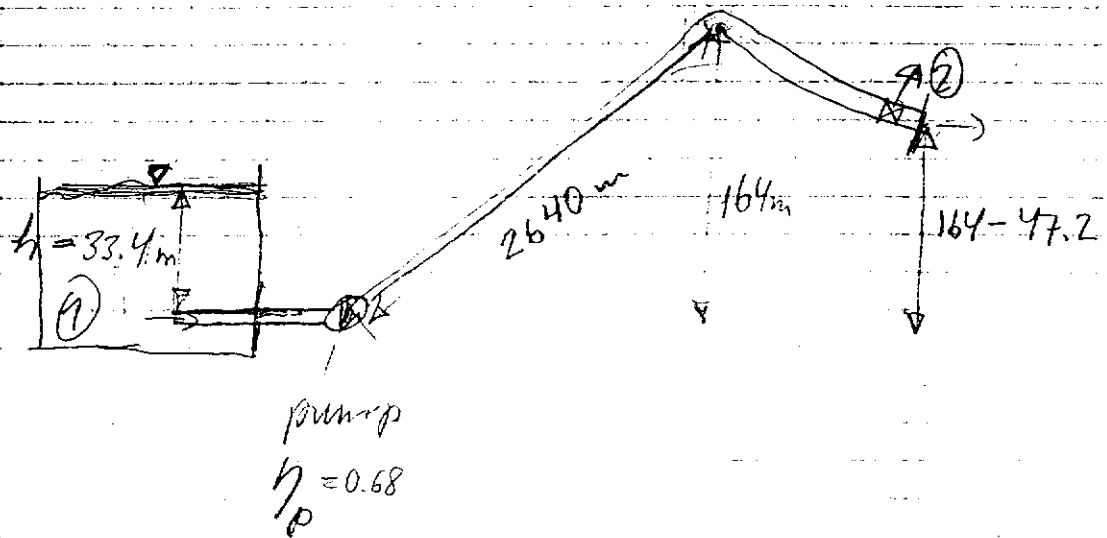
V g vänd!

- B2. **(Endast Kf)** Ammoniak lagras ofta i en oisolerad, sfärisk behållare under tryck. Av någon orsak måste vätskeformig ammoniak snabbt tappas ur behållaren, som rymmer 1000 m^3 . I behållaren finns det ursprungligen $45,4 \text{ ton}$ ammoniak av 10°C . Beräkna hur mycket trycket i behållaren har sjunkit, när den återstående mängden ammoniak i behållaren är $14,7 \text{ ton}$!
- (5 p)
- B2. **(Endast K)** Ammoniak lagras ofta i en oisolerad, sfärisk behållare under tryck. Genom en olyckshändelse slits en högt belägen röranslutning bort. Röret har en innerdiameter av 120 mm . I behållaren, som rymmer 1000 m^3 , finns det ursprungligen $45,4 \text{ ton}$ ammoniak av 10°C . Beräkna hur snabbt ammoniak initialt strömmar ut ur behållaren!
- (5 p)
- B3. I en bombkalorimeter invägs $2,0 \text{ g}$ torrt trädbränsle, som kan antas ha en vätehalt av $6,0\%$ och vara askfritt. Vid kalorimeterprovet frigjordes $41,0 \text{ kJ}$. Beräkna avgasförlusten i en panna där detta bränsle eldas, nu med en fukthalt av 40% ! CO_2 -halt och temperatur i avgaserna blir då 16% respektive 180°C vid en lufttemperatur av 30°C . Antag att avgasmängd och luftbehov kan beräknas som om bränslet vore ved!
- (5 p)
- B4. **(Endast Kf)** Vid en kemisk industri finns en mottrycksturbin med avtappning av mellantrycksånga ($10,0 \text{ bar}$). I normalfallet avtappas 20% av flödet. Hur mycket förändras el-verkningsgraden för kraftanläggningen om maximalt tillåtna 40% avtappas vid oförändrat totalflöde? η_T för hög- och lågtrycksdel är $0,80$ respektive $0,75$, oberoende av avtappningsändringen. Ångans tillstånd före turbinen är 60 bar , 500°C , och mottrycket $4,0 \text{ bar}$. Lågtrycks- och mellantryckskondensaten återvänder till pannhuset vid mättnings temperatur för respektive tryck.
- $\eta_{\text{mek+g}} = 0,95$ $\eta_p = 0,90$ (5 p)

Lycka till!

- B1. Vatten av 10°C hämtas med en tvärt avhuggen rörledning inne i en reservoar i en punkt 33,4 m under vattenytan. Det passerar först en pump ($\eta_p = 0,68$) och sedan vidare genom rörledningen (inre diameter 85,0 cm, total längd 4,28 km). Ledningen stiger till en punkt 164 m över och 2,64 km från pumpen, faller sedan 47,2 m den återstående sträckan, och omedelbart före utloppet i det fria finns en halvöppen reglerventil ($\zeta = 10$). Beräkna pumpeffekten för ett flöde av 1600 kg/s, om ledningens relativa ytojämnhet är $6,0 \cdot 10^{-4}$!

(5 p)



$$\dot{m} = 1600 \text{ kg/s}$$

$$L = \text{total r rkl ngd} = 2640 \text{ m}$$

$$d = \text{r rdiameter} = 0.85 \text{ m}$$

Vatten av 10°C

(isentropa) tryckf r ring  ver pumpen = Δp_p

$$\Delta p_p = \text{inlopp} + \text{utlopp} + \text{filtration i r r} + \text{fotloss i v nkt} + \text{kr jdfallnad}$$

$$\text{effektbehovet} = \dot{E} = \dot{m} \cdot \Delta h_{\text{pump}} = \dot{m} \frac{v \cdot \Delta p_{\text{pump}}}{\eta_p} \quad (1)$$

Bernoullis uttryckande, Δp def. som positivt, alla

$$\textcircled{1} \text{ inr  med pumpen} \quad w_1 = 0 \quad z = 0$$

$$\textcircled{2} \text{ precis i utloppet} \quad w_2 = w \quad z = 164 - 47.2 = 116.8$$

$$P_2 = P_1 - \sum P_f - \rho g \cdot (z_2 - z_1) + \Delta P_p - \frac{\rho w_2^2}{2}$$

utloppförlust.

$$\Rightarrow \Delta P_{\text{pump}} = P_2 - P_1 + \sum P_f + \rho g (z_2 - z_1) + \frac{\rho w_2^2}{2}$$

$$P_2 - P_1 = -\rho g h$$

$$\Delta P_{\text{pump}} = \sum \Delta P_f + \rho g (z_2 - z_1 - h) + \frac{\rho w_2^2}{2} \quad (2)$$

Om återstående förlusterna samt rörelse antas vt
fyllt hela rören: $f_{\text{ro}} = 10.70$

$$\sum P_f = \frac{1}{4} \rho \cdot w^2 \cdot \frac{L}{d} + \left(\xi_{\text{inlopp}} + \xi_{\text{ventil}} \right) \cdot \frac{\rho w^2}{2} \quad (3)$$

Ämnesdata:

$$\rho = 998 \text{ kg/m}^3$$

$$\nu = 1.31 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$$

$$w = \frac{\dot{V}}{A_s} = \frac{\text{m}^3/\text{s}}{\rho \cdot \pi d^2} = \frac{1600 \cdot 4}{998 \cdot \pi \cdot 0.25^2} = 2.825 \text{ m/s}$$

$$Re = \frac{w \cdot d}{\nu} = \frac{2.825 \cdot 0.25}{1.31 \cdot 10^{-6}} = 1.833 \cdot 10^6$$

$$f_1 \cdot \frac{y_s}{d} = 0.0006 \rightarrow y_s = 0.5 \text{ mm (litet gäst) i en vänt station}$$

$$\text{Fig 10.33} \Rightarrow f_1 \approx 0.009$$

$$\text{Enk D80} \cdot \lambda = 0.0175 \Rightarrow f_1 = 0.0087$$

$$\xi_{\text{inlopp}} = 1 \quad (\text{inne i en reservoar})$$

$\xi_{ventil} = 10$

3982

$$\Delta p_f = 0.009 \cdot 998 \cdot \frac{2.88^2 \cdot 4280}{0.85} + 11 \cdot \frac{998 \cdot 2.88^2}{2} =$$

$$= 361 \cdot 10^3 + 43.8 \cdot 10^3 = 404.7 \cdot 10^3 \text{ Pa}$$

$$p_{pump} = 404.7 \cdot 10^3 + 998 \cdot 9.81 \cdot (116.8 - 33.4) + 3982 =$$

$$= 404.7 \cdot 10^3 + 816.5 \cdot 10^3 + 4.0 \cdot 10^3 = 1225 \cdot 10^3 \text{ Pa}$$

filtration + frøjd + utløp
 ventil +

12 bar

frøjd + fraktion, ~~utløp~~: $\frac{116.8 + 33.4}{1225} = 9.5\%$ av del totale trykdel

$w = 2.8 \text{ m/s}$

$$\dot{E} = \dot{m} \left(\frac{1}{\rho} \right) \cdot \Delta p_p \left(\frac{1}{\rho} \right) = 1650 \frac{\text{kg}}{\text{s}} \cdot \frac{1}{998} \cdot 1225 \cdot 10^3 \cdot \frac{1}{0.68} =$$

$$= 2.988 \cdot 10^6 \text{ W}$$

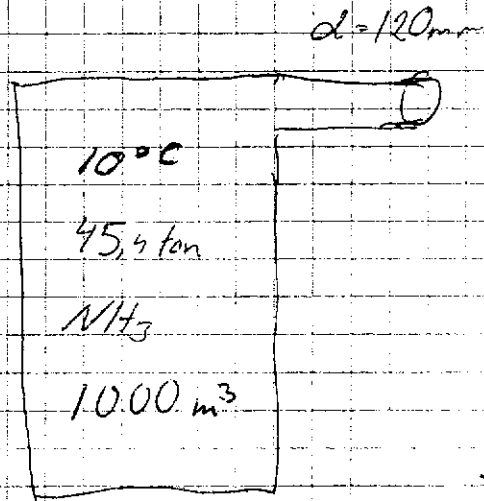
Svar: Effekten blir 2.9 MW

B2 = 7 (2)

B2. (Endast K) Ammoniak lagras ofta i en oisolerad, sfärisk behållare under tryck. Genom en olyckshändelse slits en högt belägen röranslutning bort. Röret har en innerdiameter av 120 mm. I behållaren, som rymmer 1000 m^3 , finns det ursprungligen 45,4 ton ammoniak av 10°C . Beräkna hur snabbt ammoniak initialt strömmar ut ur behållaren!

(5 p)

Lösning:



$$V = m_{\text{före}} \left[\frac{v'_{10^\circ\text{C}} + x_{\text{före}}}{\rho_{10^\circ\text{C}}} \right]$$

$$v'_{10^\circ\text{C}} = 0,0016 \text{ m}^3/\text{kg}$$

$$v''_{10^\circ\text{C}} = 0,2057 \text{ m}^3/\text{kg}$$

$$V = 1000 \text{ m}^3$$

$$m_{\text{före}} = 45,4 \cdot 10^3 \text{ kg}$$

Insättning av $x_{\text{före}} = 0,100$

Vi behöver veta trycket i behållaren

Vi ~~för~~ vet att vi har en ång-sättad ång i behållaren $\Rightarrow P_{10^\circ\text{C}} = 6,149 \text{ bar}$ (T.o.D. 5.2.2)

Körändningarna sitter högt \Rightarrow ånga kommer att blåsa ut

det kritiska trycket är

$$\frac{P^*}{P^\circ} = \left(\frac{2}{Z} \right) \left(\frac{Z}{Z+1} \right) = 0,5435$$

$$\text{dä} \quad Z = 1,312 \quad (\text{D.o.D. 7.8})$$

Tryckförhållandet är större än det kritiska.

$$10,72 \text{ bar} \Rightarrow \psi^* = \sqrt{Z \left(\frac{2}{Z+1} \right) \left(\frac{Z+1}{Z-1} \right)} = 0,6694$$

$$B_2 = 2(2)$$

$$10.726 \Rightarrow \text{med } A_{\min} = \frac{\pi d_1^2}{4} = 0,0113 \text{ m}^2$$

$$m_{\max} = A_{\min} \psi \frac{p_0}{\sqrt{R T_0}}$$

$$\text{med } R = 488,4$$

$$\Rightarrow m_{\max} = 12,52 \text{ kg/s}$$

Så: Inloppskvant kommer 12,5 kg/s N_2 åt ett blåst ut genom röret.

B2. (Endast Kf) Ammoniak lagras ofta i en oisolerad, sfärisk behållare under tryck. Av någon orsak måste vätskeformig ammoniak snabbt tappas ur behållaren, som rymmer 1000 m^3 . I behållaren finns det ursprungligen $45,4 \text{ ton}$ ammoniak av 10°C . Beräkna hur mycket trycket i behållaren har sjunkit, när den återstående mängden ammoniak i behållaren är $14,7 \text{ ton}$!

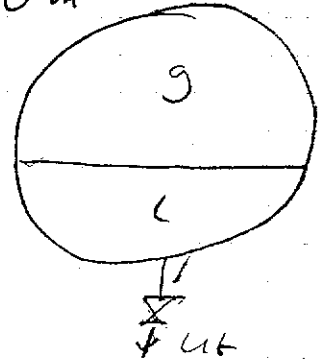
(5 p)

Lösning:

För tömning av en behållare (oteta väggar) gäller 1:a H:s enligt (2.56a)

$$V = 1000 \text{ m}^3$$

$$m_{\text{börj}} = 45,4 \cdot 10^3 \text{ kg}$$



$$m_{\text{slut}} = 14,7 \cdot 10^3 \text{ kg}$$

$$Q = \int_{\text{börj}}^{\text{slut}} \left(h_{\text{ut}} + w_{\text{ut}} \frac{v_{\text{ut}}^2}{2} \right) dm_{\text{ut}} + U_{\text{slut}} - U_{\text{börj}}$$

Antag $Q \approx 0$ (snabbt) och $w_{\text{ut}} \frac{v_{\text{ut}}^2}{2} \approx 0$

Approximera integralen enligt (2.56b)

$$(1) 0 = \left(m_{\text{börj}} - m_{\text{slut}} \right) \frac{(h_{\text{ut}})_{\text{börj}} + (h_{\text{ut}})_{\text{slut}}}{2} + U_{\text{slut}} - U_{\text{börj}}$$

För innehållet i behållaren gäller

$$(2) V = m_{\text{börj}} \left(v' + x (v'' - v') \right)_{\text{börj}}$$

$$(3) V = m_{\text{slut}} \left(v' + x (v'' - v') \right)_{\text{slut}}$$

$$(4) U_{\text{börj}} = m_{\text{börj}} \left(u' + x (u'' - u') \right)_{\text{börj}}$$

$$(5) U_{\text{slut}} = m_{\text{slut}} \left(u' + x (u'' - u') \right)_{\text{slut}}$$

$$P_{\text{börj}} = t'(10^\circ) = 0,615 \text{ MPa} \quad B2 = 204$$

Sökes: P_{slut}

$x_{\text{börj}}$ erhålles (2) och sedan $U_{\text{börj}}$ (4)

Vid 10°C och mättning gäller
(TET) 43-44

$$v' = 1,60 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3/\text{kg}$$

$$v'' = 0,2057 \text{ "}$$

$$u' \approx h' = 246,6 \text{ kJ/kg}$$

$$u'' = h'' - p v'' = 1473 - 0,615 \cdot 10^3 \cdot 0,2057 \\ = 1347 \text{ kJ/kg}$$

$$1000 = 45,4 \cdot 10^3 \left(1,6 \cdot 10^{-3} + x_{\text{börj}} (0,2057 - 1,60 \cdot 10^{-3}) \right)$$

$$x_{\text{börj}} = 0,100$$

$$U_{\text{börj}} = 45,4 \cdot 10^3 \left(246,6 + 0,100 (1347 - 24) \right) \\ = 16,19 \cdot 10^6 \text{ kJ}$$

P_{slut} - erhålles med ett
iterativt förfarande.

$$\text{Gissa } P_{\text{slutr}} = P_{\text{börj}} - 0,02 = 1 \\ = 0,615 - 0,02 = 0,595 \text{ MPa}$$

$$t'(0,595 \text{ MPa}) = 9,0^\circ\text{C}$$

B2 = 3(4)

$x_{\text{slut}} = \text{erhålles (3)}$ och sedan
 $U_{\text{slut}} = (5)$

Vid $t = 9^\circ\text{C}$ och mättnings
gäller (T&T) 43-44

$$v' = 1,60 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3/\text{kg}$$

$$v'' = 0,2126 \text{ "}$$

$$h' \approx h'' = 241,9 \text{ kJ/kg}$$

$$h'' = h'' - p v'' = 1472 - 0,595 \cdot 10^3 \cdot 0,2126 \\ = 1346 \text{ kJ/kg}$$

$$1000 = 14,7 \cdot 10^3 (1,60 \cdot 10^{-3} + \\ x_{\text{slut}} - (0,2126 - 1,60 \cdot 10^{-3}))$$

$$x_{\text{slut}} = 0,313$$

$$U_{\text{slut}} = 14,7 \cdot 10^3 (241,9 + 0,313 (1346 - 241,9)) \\ = 8,64 \cdot 10^6 \text{ kJ}$$

$$(h_{\text{ut}})_{\text{börj}} = h'(10^\circ) = 246,9 \text{ kJ/kg}$$

$$(h_{\text{ut}})_{\text{slut}} = h'(9^\circ) = 241,9 \text{ kJ/kg}$$

$$\frac{(h_{\text{ut}})_{\text{börj}} + (h_{\text{ut}})_{\text{slut}}}{2} = 244,3 \text{ kJ/kg}$$

Insättning i H.L av (1) ger

$$\begin{aligned}
 & (45,4 - 14,7) \cdot 10^3 \cdot 244,3 + \\
 & + (8,64 - 16,19) \cdot 10^6 = \\
 & = 7,50 \cdot 10^{-6} - 7,55 \cdot 10^{-6} = 0,05 \cdot 10^{-6} \\
 & \approx 0 \text{ kJ}
 \end{aligned}$$

∴ Gissningen är 0 kJ

Trycket har sjunkit $0,02 \text{ MPa} =$
 $= 20 \text{ kPa}$

Svar: Trycket i behållaren har
 sjunkit 20 kPa .

- B3. I en bombkalorimeter invägs 2,0 g torrt träbränsle, som kan antas ha en vätehalt av 6,0% och vara askfritt. Vid kalorimeterprovet frigjordes 41,0 kJ. Beräkna avgasförlusten i en panna där detta bränsle eldas, nu med en fukthalt av 40%! CO_2 -halt och temperatur i avgaserna blir då 16% respektive 180°C vid en lufttemperatur av 30°C . Antag att avgasmängd och luftbehov kan beräknas som om bränslet vore ved!

(5 p)

Lösning!

$$(H_s)_{\text{prov}} = 41,0 / 0,002 = 20,5 \text{ MJ/kg}$$

$$H_s = (H_s)_{\text{prov}} \cdot (1 - R) = 20,5 \cdot (1 - 0,4) = 12,3 \text{ MJ/kg}$$

$$H_i = H_s - 2,5 (8,94 H + F) \quad (12.1a)$$

$$R = 0,4 \text{ (torrt)} \quad H = 0,06 \cdot (1 - 0,40) = 0,036$$

$$\begin{aligned} H_i &= 12,3 - 2,5 (8,94 \cdot 0,036 + 0,4) = \\ &= 10,5 \text{ MJ/kg} \end{aligned}$$

Avgasförlusten erhålles ur

$$f_a = \frac{g_v (h_g - h_{g,250}) + l_v (h_l - h_{l,350})}{H_i} \cdot 100$$

$$\begin{cases} g_v = g_0 + (m-1) l_0 & (12.4) \end{cases}$$

$$\begin{cases} m = \frac{(\text{CO}_2)_{\text{ot}}}{(\text{CO}_2)_t} & (12.5) \end{cases}$$

$$l_0 = l_{0t} = 2,75 \text{ m}^3/\text{kg} \quad (\text{T&D}) 76$$

$$g_0 = 3,70 \text{ m}^3/\text{kg} \quad \text{---}$$

$$(\text{CO}_2)_{\text{ot}} = 20,44 \% \quad (\text{T&D}) 77$$

$$(CO_2)_t = 16,0 \% \quad (\text{given})$$

B3: 2(2)

Entalpierna erhålles i diagram (Figur 2)

$$h_{g,250} = 30 \text{ kJ/kg}$$

$$h_{g,180} = 250 \text{ kJ/kg}$$

$$h_{l,250} = 30 \text{ kJ/kg}$$

$$h_{l,300} = 36 \text{ kJ/kg}$$

$$m = \frac{20,47}{16,0} = 1,278$$

$$g_v = 3,70 + (1,278 - 1) 2,75 = 4,46 \text{ m}^3/\text{kg}$$

$$l_v = 1,278 \cdot 2,75 = 3,51 \text{ m}^3/\text{kg}$$

$$\begin{aligned} \therefore f_a &= \frac{4,46 (250 - 30) - 3,51 (36 - 30)}{10,5 \cdot 10^3} \cdot 100 \\ &= 9,14 \% \end{aligned}$$

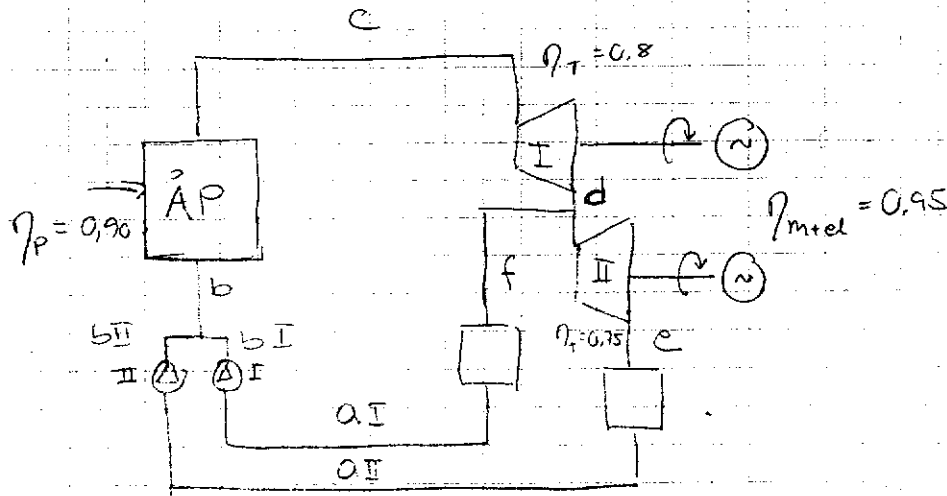
Svar: Avgas för bränslet är 9,14 %

B4. (Endast Kf) Vid en kemisk industri finns en mottrycksturbin med avtappning av mellantrycksång (10,0 bar). I normalfallet avtappas 20 % av flödet. Hur mycket förändras el-verkningsgraden för kraftanläggningen om maximalt tillåtna 40 % avtapp vid oförändrat totalflöde? η_T för hög- och lågtrycksdel är 0,80 respektive 0,75, oberoende av avtappningsändringen. Ångans tillstånd före turbinen är 60 bar, 500 °C, och mottrycket 4,0 bar. Lågtrycks- och mellantryckskondensaten återvänder till pannhuset vid mätningstemperatur för respektive tryck.

$\eta_{mek+g} = 0,95 \quad \eta_p = 0,90$

(5)

Lösning:



- $p_d = 10 \text{ bar}$
- $p_c = 60 \text{ bar}$
- $t_c = 500^\circ\text{C}$
- $h_{aI} = h'_{10 \text{ bar}}$
- $h_{aII} = h'_{4 \text{ bar}}$
- $p_e = 4 \text{ bar}$

Fall (A) $x = \frac{\dot{m}_f}{\dot{m}_{tot}} = 0.2$

Fall (B) $x = \frac{\dot{m}_f}{\dot{m}_{tot}} = 0.4$

Sölet: $\eta_{tot(B)} / \eta_{tot(A)}$

$\eta_{tot} = \eta_p \cdot \eta_t \cdot \eta_{mek+g}$

$\Rightarrow \frac{\eta_{tot(A)}}{\eta_{tot(B)}} = \frac{\eta_t(A)}{\eta_t(B)}$

$\eta_t = \frac{\epsilon_{T I} + (1-x)\epsilon_{T II} - x \cdot |\epsilon_{p I}| - (1-x) \cdot |\epsilon_{p II}|}{\eta_T}$

$$E_{T I} = h_c - h_{dv}$$

$$E_{T II} = h_{dv} - h_{ev}$$

$$|E_{p I}| = h_{b I} - h_{a I} = v \Delta p I$$

$$|E_{p II}| = h_{b II} - h_{a II} = v \Delta p II$$

$$q_1 = h_c - h_b$$

Söker alltså ett gäng entalpi'er.

h_c , h_{dv} , h_{ev} är oberoende av x

$$h_c (60 \text{ bar}, 500^\circ\text{C}) = 3421 \text{ kJ/kg}$$

$$h_{dv} \text{ fäs mha } \eta_{T I} = \frac{h_c - h_{dv}}{h_c - h_{dis}}$$

h_{dis} fäs mha $s \ \& \ p$

$$p_{dis} = 10 \text{ bar} \quad s_{dis} = s_c (500^\circ\text{C}, 60 \text{ bar}) = 6.878 \text{ kJ/kg}$$

$$s''_{10 \text{ bar}} = 6.5867 \text{ kJ/kg}^\circ\text{C} \Rightarrow \text{'dis' är överhettad.}$$

$$p \ \& \ s \Rightarrow h_{dis} = 2920 \text{ kJ/kg} \quad \text{D\&D s. 58}$$

$$h_{dv} = 3020,2 \text{ kJ/kg}$$

$$h_{ev} \text{ fäs mha } \eta_{T II} = \frac{h_{dv} - h_{ev}}{h_{dv} - h_{eis}}$$

h_{eis} fäs mha $p \ \& \ s$

$$p_{eis} = 4 \text{ bar} \quad s_{eis} = s_{dv} (10 \text{ bar}, h = 3020) = 7.11 \text{ kJ/kg} \quad (\text{s. 56})$$

$$s''_{4 \text{ bar}} = 6.8965 \Rightarrow \text{'eis' är överhettad}$$

$$p \ \& \ s \Rightarrow h_{eis} = 2835 \text{ kJ/kg} \quad \text{D\&D s. 58}$$

$$h_{ev} = 2881,3 \text{ kJ/kg}$$

h_b fås genom att h_{bI} & h_{bII} viktas ihop med x .

$$h_{bI} = h_{aI} + V_{aI} (P_{bI} - P_{aI}) =$$

$$= 762,63 + 0,0011 (60 - 10) \cdot \frac{10^5}{10^3} = 768,13 \frac{kJ}{kg}$$

$$h_{bII} = h_{aII} + V_{aII} (P_{bII} - P_{aII}) =$$

$$= 604,72 + 0,00108 (60 - 4) \cdot \frac{10^5}{10^3} = 610,77 \frac{kJ}{kg}$$

$$h_b = x h_{bI} + (1-x) h_{bII}$$

Fall (A) $h_{b(A)} = 642,24 \frac{kJ}{kg}$

Fall (B) $h_{b(B)} = 673,71 \frac{kJ}{kg}$

$$|E_{pI}| = 5,5 \frac{kJ}{kg}$$

$$|E_{pII}| = 6,05 \frac{kJ}{kg}$$

$$E_{TI} = 400,8 \frac{kJ}{kg} \quad E_{TII} = 138,9 \frac{kJ}{kg}$$

$$q_{1(A)} = 2778,76 \frac{kJ}{kg} \quad q_{1(B)} = 2747,29 \frac{kJ}{kg}$$

$$q_{t(A)} = 0,1821$$

$$q_{t(B)} = 0,1741$$

$$\frac{q_{t(B)}}{q_{t(A)}} = 0,956 \Rightarrow 4,4\% \text{ minskning}$$

Svar: minskar 4,4 %

TENTAMEN I ENERGITEKNIK K för K3 och KF3, 1995-01-21

Tentamen omfattar:

Avdelning A: Teori och beskrivande moment

Inga hjälpmedel

Avdelning B: Problem

Tillåtna hjälpmedel:

De av Sektionsstyrelsen för kemi och Grundutbildningskommittén K godkända räknedosorna HP42S, Casio fx 8700G och Texas Galaxy 67 samt de typgodkända räknedosorna Casio fx 82, Texas Ti30 och Sharp EL 531.

Föreläsninganteckningar (eller veckoblad) i Energiteknik, kursmaterial i Energiteknik och Transportprocesser (ej exempelsamlingar), handböcker.

OBS! Till tentamen får icke medföras lösta exempel. Sådana skall, om de medförs, överlämnas till tjänstgörande skrivningsvakter omedelbart efter det att du tagit del av detta papper. Innehav av lösta exempel under skrivningen medför ovillkorligen att du avvisas från densamma.

När ekvationer används utan härledningar bör källa anges.

Använda symboler skall definieras om dessa inte är lika kursmaterialets. Institutionen förbehåller sig rätten att värdera lösning innehållande odefinierade symboler med 0 poäng.

Lösningar finns anslagna måndagen 95-01-23 kl 10.00 på VoMs anslagstavla på institutionen.

Avdelning A måste lämnas in innan avdelning B (med hjälpmedel) får påbörjas!

OBS! Vissa tentamensuppgifter är avsedda endast för K och vissa endast för Kf!

Skrivtid: 4 tim

För godkänt krävs minst 15 poäng.

Lennart Persson tel CTH: 7723015, (hem 031-230674) kommer från ca kl 09.30 att vara tillgänglig för frågor på skrivsalen. Sådana bör därför vara förberedda till denna tid.

Betygslistan anslås senast onsdag 95-02-08. Granskning av rättning får ske torsdag 95-02-09 kl 11.00-12.00 i HC4 i samband med kursuppföljning.

V g vänd!

AVDELNING A

- A1 a) Ange ungefärlig fördelning av Sveriges totala energiförbrukning mellan byggnadsuppvärmning, industri och transporter! (1 p)
- b) Förhållandet mellan el- och bränsleanvändning i svensk industri har successivt förändrats under senare år. Ange i vilken riktning och ange också orsakerna till detta! (2 p)
- c) Ange ungefärlig storleksordning på den andel av Sveriges totala elproduktion, som kommer från kraftvärme (dvs både kommunalt och industriellt)! (1 p)
- d) Ange det i särklass största användningsområdet för den elenergi, som förbrukas i svensk industri! (1 p)
- A2 a) Beskriv principerna för gaskombicykeln! (1 p)
- b) Diskutera denna cykels för- och nackdelar som ren kraftproducent jämfört med alternativa cykler! (2p)
- c) Vid användning av gaskombicykeln för kraftvärme måste en avvägning mellan hög elverkningsgrad och hög totalverkningsgrad göras. Beskriv orsakerna till detta och visa hur cykeln kan utformas för en hög totalverkningsgrad på bekostnad av elverkningsgraden! (2 p)
- A3 a) (Endast K) Det finns två typer av ångturbiner med avseende på strömningsförhållandena kring löphjulet. Den ena typen kallas liktryck. Vad kallas den andra typen? Vari består den principiella skillnaden mellan dessa typer? Ange också skillnader i användningsområden och reglermöjligheter! (3 p)
- b) (Endast K) Visa att specifika arbetet l_t för ett axialsteg beror av anströmningsvinkeln, α_1 , anströmningshastigheten c_1 , tangentialhastigheten u och skovelvinklarna β_1 och β_2 enligt

$$l_t = u(c_1 \cos \alpha_1 - u) \left(1 + \frac{\cos \beta_2}{\cos \beta_1} \right)$$

(2 p)

AVDELNING B

- B1 (Endast Kf) En ballong med från början försumbar volym skall blåsas upp till volymen 10 l. Ballongen är uppträdd på en rörände. Innanför röränden finns en strypventil, som medger en långsam påfyllning av luft från röret. Temperaturen är hela tiden och överallt (även i röret) 10,0 °C. På grund av ballongmaterialets elasticitet är absoluttrycket i ballongen en funktion av volymen, $p = p_0 (1 + 0,46 V^{1/3})$, där p_0 är omgivningens tryck.

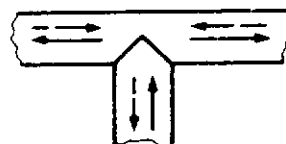
Beräkna den värmemängd som har avgetts till omgivningen under påfyllningen!

(5p)

- B1 (Endast K) En pump med pumpkurva enligt figur levererar vatten till en öppen bassäng, belägen 10,0 m över nedre vattenytan. Pumpen ger då vattenflödet 0,016 m³/s. Av strömningsförlusterna i rörsystemet är 50 % engångsförluster. En likadan pump parallellkopplas nu med den ursprungliga pumpen. Hur stort blir vattenflödet, om parallellkopplingen innebär att två T-rör tillkommer, samt att två 90° rörkrökar (krökningsradien = 160 mm) tillkommer i vardera rörgrenen?

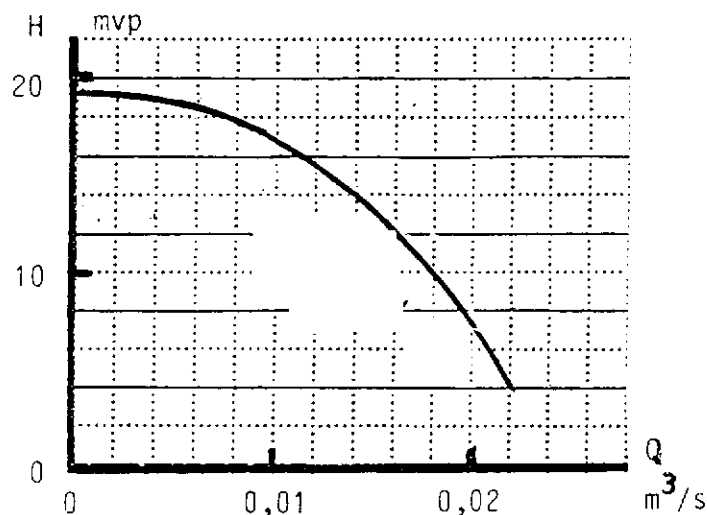
Rördiametern både i den ursprungliga ledningen och de nya rörgrenarna är 80 mm.

För ett T-rör av den typ som förutsätts här gäller



— $\zeta = 2,0$ - - - $\zeta = 0,75$

där motståndstalet ζ baseras på hastigheten efter passage (nedströms).



(5 p)

V g vänd!

- B2 En oljeeldad processugn är försedd med en avgaspanna. I eldstaden överföres 62 MW (inklusive utstrålningsförluster). Luftöverskottet är 10 %. Rökgaserna lämnar eldstaden vid 800 °C. Till vilken temperatur kyles rökgaserna i avgaspannan, om den tillverkar mättad ånga av 1,2 MPa, och har en värmeyta av 980 m² och ett k-värde av 40 W/(m²K)? Matarvattnet har mättningsstillstånd. Oljans effektiva värmevärde är 41,0 MJ/kg. (5p)
- B3 Beräkna totala värmeförlusterna för ett fritt upphängt, horisontellt glasrör, som är 10 m långt. Rörets ytterdiameter är 15 cm, och det håller en temperatur av 37 °C på utsidan. Väggarna och luften i rummet har temperaturen 20 °C. (5 p)
- B4 **(Endast Kf)** Beräkna nettoeffekten för en öppen gasturbin! Temperaturen och trycket i kompressorinloppet är 20 °C respektive 98 kPa. Motsvarande för kompressorutloppet är 200 °C respektive 425 kPa. Temperaturen i turbininloppet är 750 °C. Luftflödet genom kompressorn är 60,0 kg/s och isentropverkningsgraden för turbinen är 0,86. Antag att förbränningsgaserna till mängd och egenskaper är desamma som luften! (5p)

Lycka till!

B1 (Endast K) En pump med pumpkurva enligt figur levererar vatten till en öppen bassäng, belägen 10,0 m över nedre vattenytan. Pumpen ger då vattenflödet $0,016 \text{ m}^3/\text{s}$. Av strömningsförlusterna i rörsystemet är 50 % engångsförluster. En likadan pump parallellkopplas nu med den ursprungliga pumpen. Hur stort blir vattenflödet, om parallellkopplingen innebär att två T-rör tillkommer, samt att två 90° rörkrökar (krökningsradien = 160 mm) tillkommer i vardera rörgrenen?

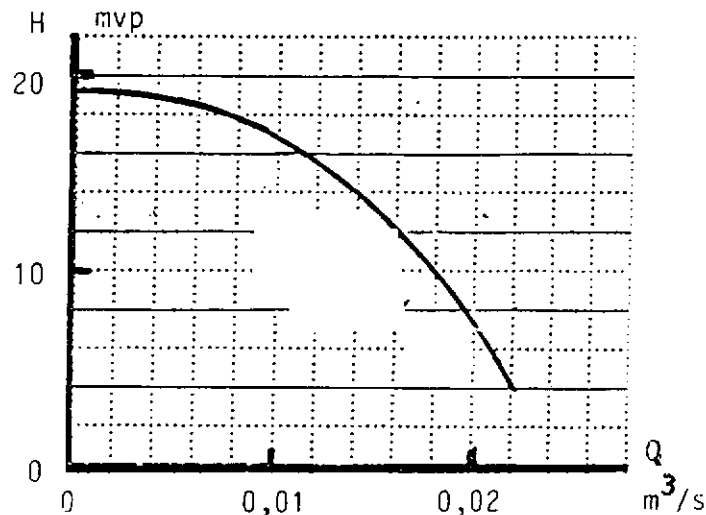
Rördiametern både i den ursprungliga ledningen och de nya rörgrenarna är 80 mm.

För ett T-rör av den typ som förutsätts här gäller



— $\zeta = 2,0$ - - - $\zeta = 0,75$

där motståndstalet ζ baseras på hastigheten efter passage (nedströms).



(5 p)

V g vänd!

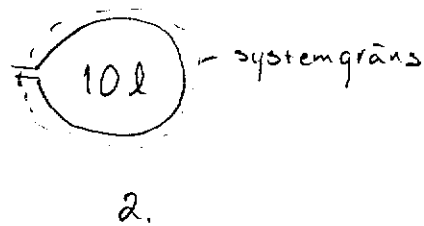
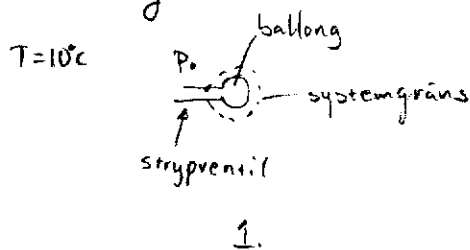
B1 (Endast Kf) En ballong med från början försumbar volym skall blåsas upp till volymen 10 l. Ballongen är uppträdd på en rörände. Innanför röränden finns en strypventil, som medger en långsam påfyllning av luft från röret. Temperaturen är hela tiden och överallt (även i röret) 10,0 °C. På grund av ballongmaterialets elasticitet är absoluttrycket i ballongen en funktion av volymen, $p = p_0 (1 + 0,46 V^{1/3})$, där p_0 är omgivningens tryck.

Beräkna den värmemängd som har avgetts till omgivningen under påfyllningen!

(5p)

(5p)

Lösning:



$$p_{\text{ballong}} = p_0 (1 + 0,46 \cdot V^{1/3})$$

Energiekvationen för ett öppet stillastående system

$$dQ = dE_t + \underbrace{\sum dm_i (h_i + w_i^2/2 + gz_i)}_{\text{stryks ty inget utflöde}} - \underbrace{\sum dm_i (h_i + w_i^2/2 + gz_i)}_{\text{stryks ty långsam påfyllning, ingen höjdskillnad}} + dU$$

$$dQ = dE_t - dm_{\text{in}} h_{\text{in}} + dU$$

E_t är volymändringsarbetet $dE_t = p dV$ och $h_{\text{in}} = p_{\text{in}} v_{\text{in}} + u_{\text{in}}$

$$Q = \int_1^2 p dV - \int_1^2 p_{\text{in}} v_{\text{in}} dm_{\text{in}} - \int_1^2 u_{\text{in}} dm_{\text{in}} + U_2 - U_1$$

= 0 ty tom från början
= 0 ty $-\int_1^2 u_{\text{in}} dm_{\text{in}} = -U_2$
vi har samma temperatur

$p_{\text{in}} \cdot v_{\text{in}} = R \cdot T$ enligt ideala gaslagen (T är konstant) $m_2 = \frac{p_2 \cdot V_2}{R \cdot T}$ och $m_1 = 0$

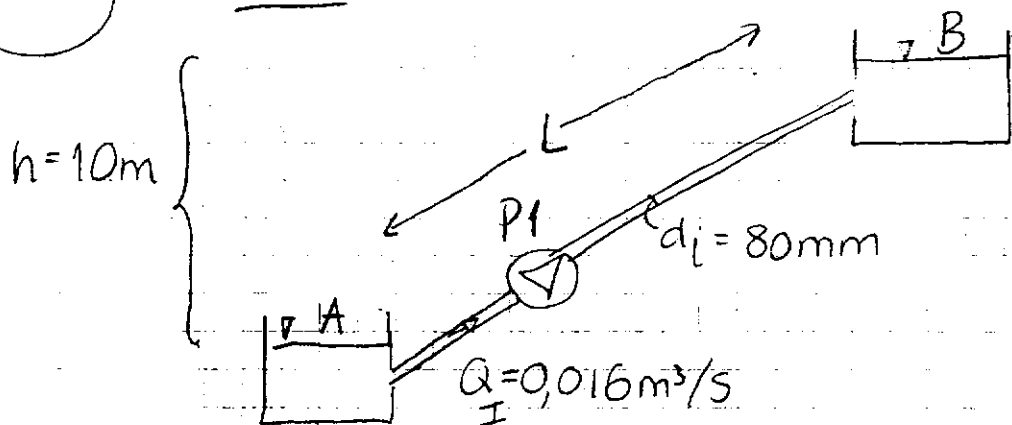
$$\dot{Q} = p_0 \int_0^{0,01} (1 + 0,46 \cdot V^{1/3}) dV - \int_0^{0,01} R \cdot T dm_{\text{in}} = p_0 \left([V]_0^{0,01} + 0,46 \left[\frac{3 \cdot V^{4/3}}{4} \right]_0^{0,01} \right) - R \cdot T \left(\frac{p_2 V_2}{R \cdot T} - 0 \right)$$

$$\dot{Q} = 1,013 \cdot 10^5 \cdot \left(0,010 + \frac{0,46 \cdot 3}{4} \cdot 0,010^{4/3} \right) - 1,013 \cdot 10^5 \cdot (1 + 0,46 \cdot 0,01^{1/3}) \cdot 0,010$$

$$\dot{Q} = 1088,294 - 1113,392 = -25,098$$

SVAR: 25 J avges till rummet

B1.

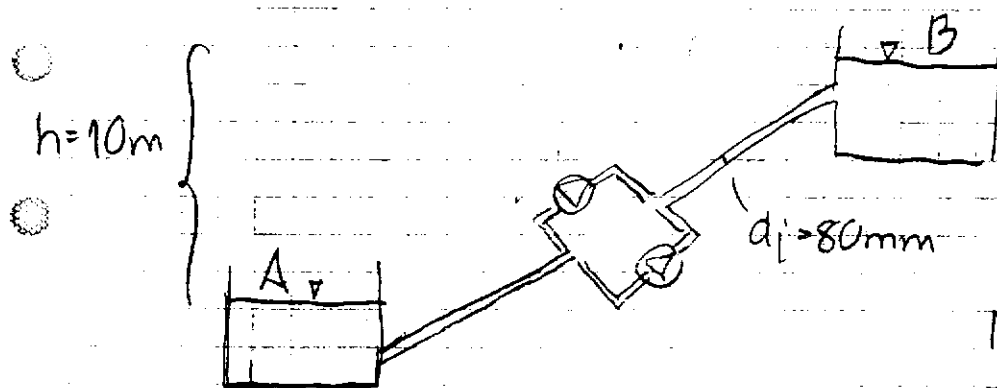
FALL I

$$h_f = h_{f_{\text{funktion}}} + h_{f_{\text{engång}}}$$

($h_{f_{\text{funktion}}} = h_{f_{\text{engång}}$ enligt taltext) onödigt uppgift

FALL II

Parallellkoppling av en likadan pump



Nya engångsförluster:

- T-rör (2st)
- 90° rörkrök, $R = 160\text{mm}$ (2st i varje rörgren)

Sekt: Q_{II}

Lösning:

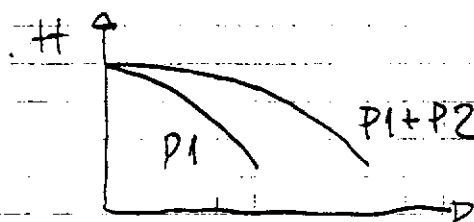
Pumpkurvan för $\Phi 1$ är given

En likadan pump $\Phi 2$ parallellkopplas

Måsk rita upp den resulterande pumpkurvan

(se sid V46)

För varje H i den givna pumpkurvan
adderas Q :na.



OH!

För att få fram Q_{II} måste systemkurvan H_{II} för II
ritas in (skärningspunkten ger driftspunkten).

$$H_{\text{syst}} = H_{\text{stat}} + H_{\text{dyn}}$$

$$H_{\text{stat}} = h + \frac{P_B - P_A}{\rho g} \quad \text{beror ej av } Q$$

$$P_B = P_A \Rightarrow H_{\text{stat}} = h = 10 \text{ m}$$

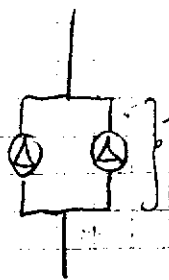
$$H_{\text{dyn}} = h_f + \frac{C_B^2 - C_A^2}{2g} \quad \text{beror av } Q$$

$$C_B = C_A = 0 \Rightarrow H_{\text{dyn}} = h_f$$

$$\Rightarrow H_{\text{syst}} = h + h_f = h + K \cdot Q^2 \quad (1)$$

S. 40-41

h_f för fall II:



försummar denna förlängd $\Rightarrow L_{\text{fall I}} = L_{\text{fall II}}$

$$h_{f_{\text{II}}} = \frac{\Delta P_{f_{\text{II}}}}{\rho g} = \left(f_{1_{\text{II}}} \frac{L}{d} \omega_{\text{ret}}^2 + \left(\sum \xi'_{\text{II}} \cdot \frac{\omega_{\text{ret}}^2}{2} \right) \right) / g \quad (2)$$

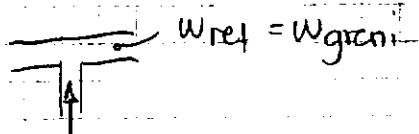
(ω_{ret} = den hastighet som f_1 & ξ ret tar)

OH!

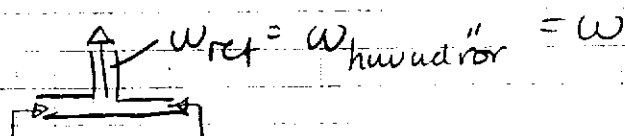
Antag $f_{1_{\text{II}}} = f_{1_{\text{I}}}$ (gäller om Re är stort)

$$\left(\sum \xi' \right)_{\text{II}} = \left(\sum \xi' \right)_{\text{I}} + \left(\sum \xi' \right)_{\text{nya}} \quad (3)$$

Nya ξ i fall II:



$$\xi_{\text{T-rör, m}} = 2,0$$



$$\xi_{\text{T-rör, ut}} = 0,75$$

2 st 90° krök i varje gren-rör, $R/d = \frac{160}{80} = 2$

5.320 ger $\xi_{\text{krök}} = 0,215$ $\omega_{\text{ret}} = \omega_{\text{gren}}$

Med (2) & (3) får:

$$\begin{aligned}
 h_{f_{II}} &= \overbrace{\left(f_1 \frac{L}{d} \right)_I \cdot \frac{\omega^2}{g} + \left(\sum \xi \right)_I \cdot \frac{\omega^2}{2g}} = h_{f_I} \\
 &+ \xi_{T-rör, ut} \cdot \frac{\omega^2}{2g} + \xi_{T-rör, in} \cdot \frac{\omega_{gren}^2}{2g} + \xi_{krök} \cdot 2 \cdot \frac{\omega_{gren}^2}{2g} \quad (4)
 \end{aligned}$$

I fall I ver vi driftspunkten $\Rightarrow h_{f_I}$ som $f(Q)$

$$(1) \Rightarrow H_{syst} = 10 + h_{f_I} = 10 + K_I \cdot Q^2$$

$$h_{f_I} = \left[f(Q) \right] = \underbrace{\left(f_1 \frac{L}{dg} + \frac{\sum \xi}{2g} \right)_I}_{K_I} \cdot \frac{1}{A^2} \cdot Q^2$$

($\omega = \frac{Q}{A}$)

Driftspunkt: $\bullet H_{syst} = 12 \Rightarrow h_{f_I} = 12 - 10 = 2 \text{ mvp}$

$\bullet Q = 0,016 \text{ m}^3/\text{s}$

$$\Rightarrow K_I = \frac{h_{f_I}}{Q^2} = \frac{2}{0,016^2} = 7812,5$$

Tillbaks till fall II:

$$\omega = \frac{Q}{A}$$

$$\omega_{gren} = \frac{Q/2}{A}$$

$$(4) \Rightarrow h_{f,II} = K_I Q^2 + \frac{\xi_{T-rör,ut} Q^2}{2g A^2} + \left(\frac{\xi_{T-rör,in}}{2g} + \frac{2\xi_{K-rör}}{2g} \right) \frac{Q^2}{(2A)^2}$$

$$= 7812,5 Q^2 + \frac{0,75 Q^2}{2 \cdot 9,81 \left(\frac{0,08^2 \cdot \pi}{4} \right)^2} + \frac{2 + 2 \cdot 0,215}{2 \cdot 9,81} \frac{Q^2}{\left(2 \cdot \frac{\pi \cdot 0,08^2}{4} \right)^2} =$$

$$h_f = 10550,9 Q^2$$

$$h_{syst} = 10 + 10550,9 Q^2$$

Rita in och avläs anslagspunkten!

$$\Rightarrow \underline{\underline{Q = 0,024 \text{ m}^3/\text{s}}}$$

Kontrollera Re

FALL I

$$w_{\text{fall I}} = \frac{Q}{A_w} = \frac{0,016 \cdot 4}{0,08^2 \cdot \pi} = 3,2 \text{ m/s}$$

$$Re = \frac{w \cdot d}{\nu}$$

Antag 20° vatten $\nu_{20} = 1,004 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$

$$\Rightarrow Re = 2,5 \cdot 10^5$$

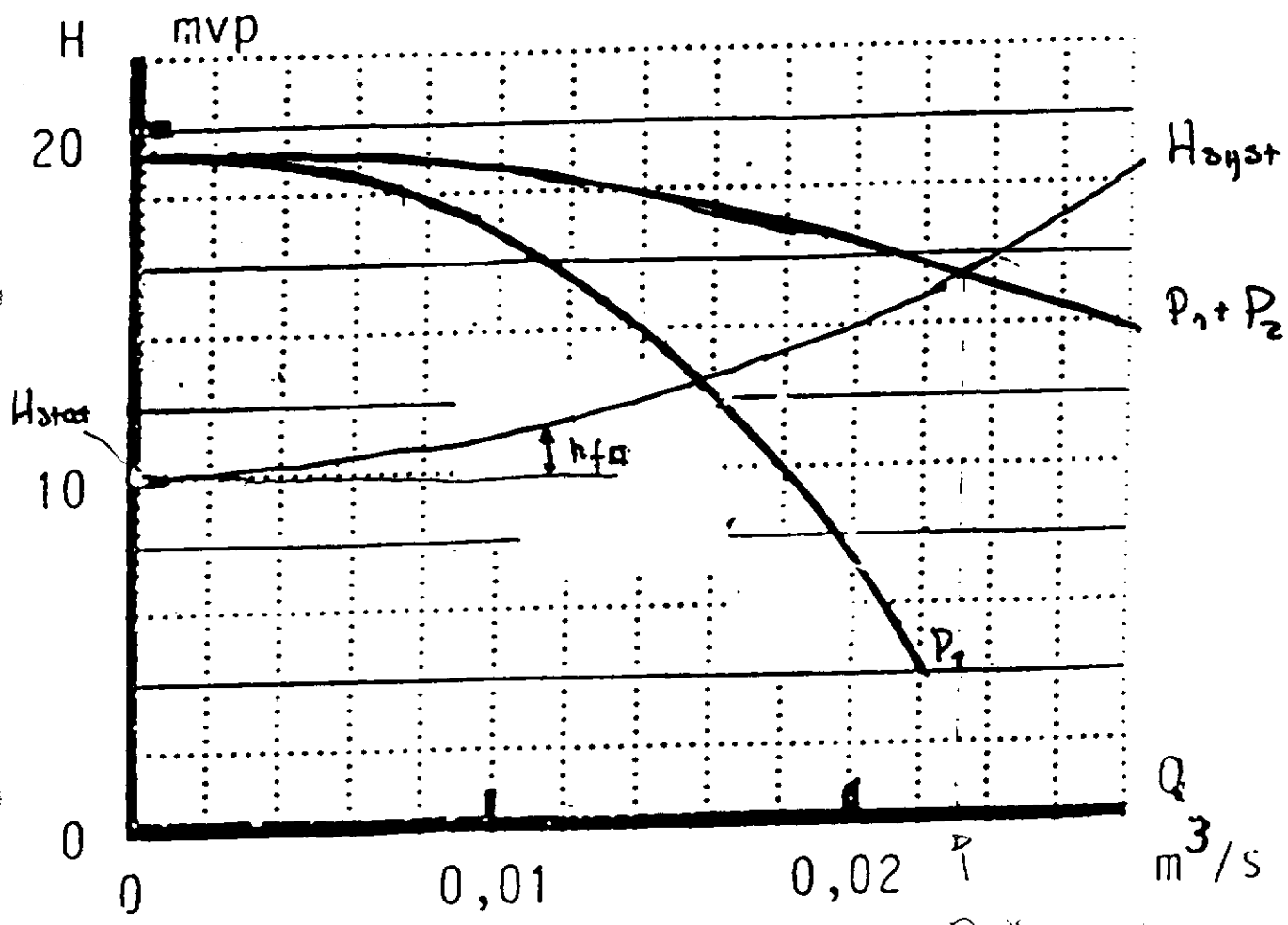
FALL II

$$Q = 0,023 \text{ m}^3/\text{s} \Rightarrow w = 4,58 \text{ m/s} \Rightarrow Re = 3,6 \cdot 10^5$$

Antag $y_s = 0,15 \text{ mm}$ stål rör $\Rightarrow y_s/d = 0,002$

Fig sid 316 $\Rightarrow f_{II} \approx f_{III}$

Antagandet OK!



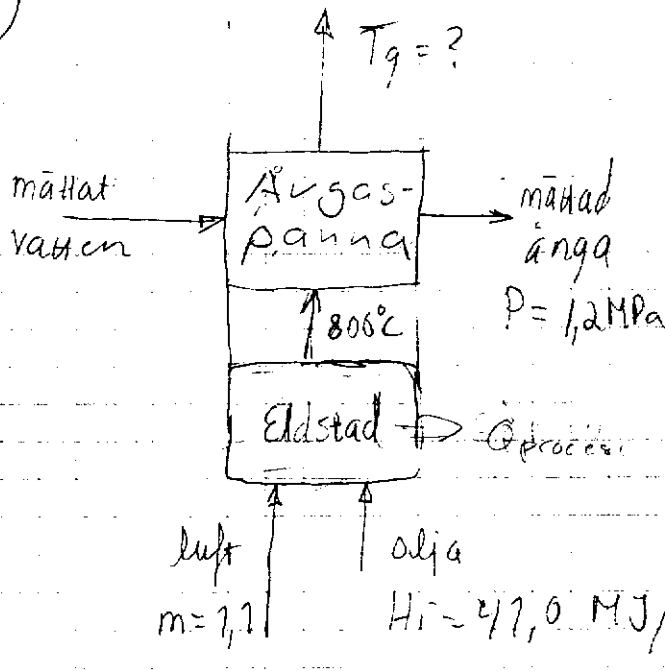
Driftpunkt

- B2 En oljeeldad processugn är försedd med en avgaspanna. I eldstaden överföres 62 MW (inklusive utstrålningsförluster). Luftöverskottet är 10 %. Rökgaserna lämnar eldstaden vid 800 °C. Till vilken temperatur kyles rökgaserna i avgaspannan, om den tillverkar mättad ånga av 1,2 MPa, och har en värmeyta av 980 m² och ett k-värde av 40 W/(m²K)? Matarvattnet har mättningsstillstånd. Oljans effektiva värmevärde är 41,0 MJ/kg.

(5p)

B.2.

950727



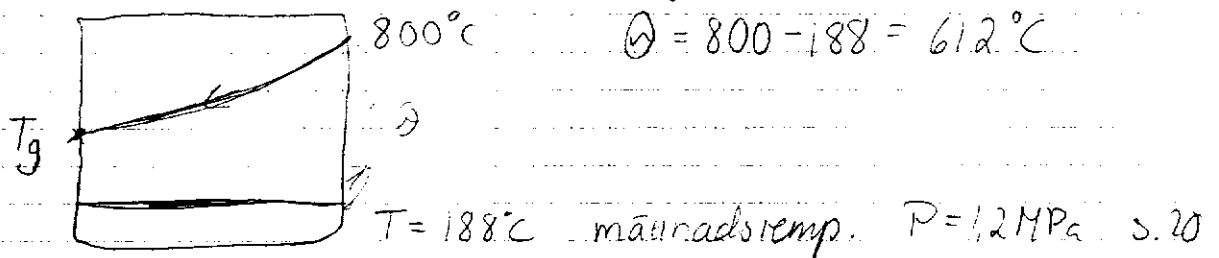
$$\dot{Q}_{eldstad} = 62 \text{ MW}$$

$$\dot{Q}_{eldstad} = \dot{Q}_{process} + \dot{Q}_{förlust}$$

$$A_{ea} = 980 \text{ m}^2$$

$$k_{ea} = 40 \text{ W/(m}^2 \cdot \text{K)}$$

Sökt: T_g rökgasernas temp. då de lämnar årsgaspannan.



Då det sker en förångning eller kondensation av ena mediet så gäller

$$(21.30) \quad \eta_1 = 1 - e^{-X} \quad \text{där } X = kA/\dot{w}_2$$

där \dot{w}_1 gäller för ångorna.

$$\eta_2 = \frac{\Delta_2}{\Theta} \Rightarrow \Delta_1 = T_{800} - T_g = \Theta \cdot \eta_2$$

$$T_g = T_{800} - \Theta \cdot \eta_2$$

→ sök \dot{w}_1

V.B. runt eldstaden.

$$\dot{Q} + G_v(h_g - h_{g,25^\circ}) = B \cdot H_i + L(h_l - h_{l,25^\circ})$$

Ingen uppgift på lufttemp antar lufttemp till 25°C

$$\dot{Q} = B(H_i - G_v(h_{g,800} - h_{g,25^\circ}))$$

$$B = \frac{\dot{Q}}{H_i - G_v(h_{g,800} - h_{g,25^\circ})}$$

$$G_v = G_o + (m-1) \cdot d_o$$

$$G_o = 11,5 \text{ Nm}^3/\text{kg bränsle}$$

Diagram sid 91

$$d_o = 10,2 \text{ Nm}^3/\text{kg bränsle}$$

OBS fel

$$G_v = 11,5 + 0,7 \cdot 10,2 = 12,52 \text{ Nm}^3/\text{kg bränsle}$$

$$h_{g,800^\circ} = 1185 \text{ kJ/Nm}^3$$

Diagram s 88

$$h_{g,25^\circ} = 30 \text{ kJ/Nm}^3$$

$$B = \frac{62 \cdot 10^3}{47 \cdot 10^3 - 12,52(1185 - 30)} = 2,34 \text{ kg/s}$$

$$G_v = B \cdot G_v = 2,34 \cdot 12,52 = 29,25 \text{ Nm}^3/\text{s}$$

$$T = 800^\circ\text{C}$$

$$h = 1185 \text{ kJ/Nm}^3$$

$$c_p = \frac{\Delta h}{\Delta T} = 1,557 \text{ kJ/Nm}^3 \cdot \text{K}$$

$$T = 450^\circ\text{C}$$

$$h = 640 \text{ kJ/Nm}^3$$

$$W_1 = G_v \cdot c_p = 45,546 \text{ kW/K}$$

$$X = \frac{k \cdot A}{W_1} = \frac{40 \cdot 980}{45,546 \cdot 10^3} = 0,8607$$

$$\eta_2 = 1 - e^{-X} = 0,577$$

$$T_g = 800 - 612 \cdot 0,577 = 497^\circ\text{C}$$

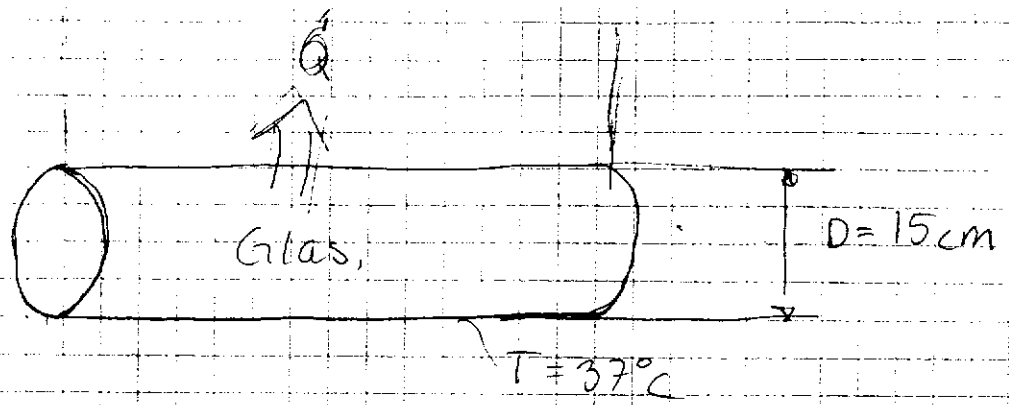
SVAR: $T_g \approx 450^\circ\text{C}$

B3 Beräkna totala värmeförlusterna för ett fritt upphängt, horisontellt glasrör, som är 10 m långt. Rörets ytterdiameter är 15 cm, och det håller en temperatur av 37 °C på utsidan. Väggar och luften i rummet har temperaturen 20 °C.

(5 p)

B.3

Tentamen
950121



$$T_{vägg} = T_{luft} = 20^\circ\text{C}$$

$$L = 10\text{ m}$$

Sökt: Totala värmeförlusterna \dot{Q}

Värmet överförs genom strålning och egen konvektion.

$$\dot{Q}_{tot} = \dot{Q}_{E.K.} + \dot{Q}_{strålning}$$

Strålning

$$\dot{Q}_{strålning} = \epsilon_s \cdot F_{12} \cdot A_1 \cdot \left(\frac{T_1^4}{100} - \frac{T_2^4}{100} \right) \quad (17.97)$$

där $\epsilon_s = 5,67 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K}^4)$

Glas har $\epsilon_1 = 0,94$ enl. t.d. 3.108

Röret helt omslutet av luften och väggarna

$$A_2 \gg A_1 \Rightarrow F_{12} = \epsilon_1$$

$$A_1 = \pi \cdot d_y \cdot L + \frac{2 \cdot d_y^2 \cdot \pi}{4} = 4,745 \text{ m}^2$$

$$\dot{Q}_{strålning} = 5,67 \cdot 4,745 \cdot 0,94 \cdot (3,1015^4 - 2,9315^4) = 472,4 \text{ W}$$

Konvektion

Ingen strömning \Rightarrow vi har egenkonvektion

$$\dot{Q}_{konv} = \alpha_{konv} \cdot A \cdot (T_{vägg} - T_{luft})$$

$$A \equiv A_1 = 4,745 \text{ m}^2$$

Samband för horisontella cylindrar (17.81)

$$T_{film} = \frac{37 + 20}{2} = 28,5 \text{ } ^\circ\text{C}$$

Tabell sid 415 ger egenkonvektionstalet

$$\frac{Gr \cdot Pr}{\Delta t \cdot H^3} = 0,93 \cdot 10^8$$

$$\text{där } \Delta t = T_{yta} - t_m = 37 - 20 = 17 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$H = \text{karaktäristisk höjd} = d_y = 0,15 \text{ m}$$

$$Gr \cdot Pr = 0,15^3 \cdot 17 \cdot 0,93 \cdot 10^8 = 5,336 \cdot 10^6$$

laminär strömning

$$\alpha_{konv} = 0,89 \cdot K_1 \left(\frac{\Delta t}{d} \right)^{1/4} \quad \text{där } K_1 = 1,447 \text{ tabell 11.82}$$

$$\alpha_{konv} = 0,89 \cdot 1,447 \cdot \left(\frac{17}{0,15} \right)^{1/4} = 4,202 \text{ W/m}^2\text{K}$$

$$\dot{Q}_{konv} = 4,202 \cdot 4,745 \cdot (37 - 20) = 338,9 \text{ W}$$

$$\dot{Q}_{tot} = \dot{Q}_{strålning} + \dot{Q}_{konv} = 811,3 \text{ W}$$

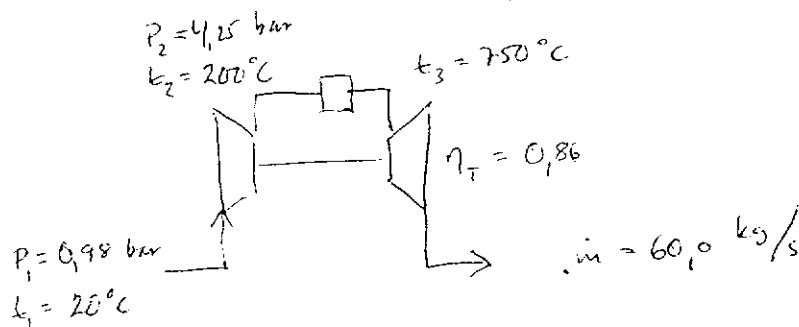
SVAR: Totala värmeförlusten
är 0,81 kW

- B4 (Endast Kf) Beräkna nettoeffekten för en öppen gasturbin! Temperaturen och trycket i kompressorinloppet är 20 °C respektive 98 kPa. Motsvarande för kompressorutloppet är 200 °C respektive 425 kPa. Temperaturen i turbininloppet är 750 °C. Luftflödet genom kompressorn är 60,0 kg/s och isentropverkningsgraden för turbinen är 0,86.

Antag att förbränningsgaserna till mängd och egenskaper är desamma som luften!

(5p)

LÖSNING



$$\text{Nettoarbetet} = E_{\text{netto}} = E_T - |E_K| = \dot{m} (h_3 - h_4 - (h_2 - h_1)) = \begin{cases} \text{ideal gas med} \\ \text{konstanta egenskaper} \end{cases}$$

$$= \dot{m} c_p (T_3 - T_4 - (T_2 - T_1))$$

För turbinverkningsgraden gäller: $\eta_T = \frac{T_3 - T_4}{T_3 - T_4^{is}} \Rightarrow T_3 - T_4 = \eta_T (T_3 - T_4^{is})$

där $\frac{T_4^{is}}{T_3} = \left(\frac{p_4}{p_3}\right)^{\frac{\kappa-1}{\kappa}}$

Insättning: $E_{\text{netto}} = \dot{m} c_p (\eta_T T_3 (1 - \left(\frac{p_4}{p_3}\right)^{\frac{\kappa-1}{\kappa}}) - (T_2 - T_1))$

Med $c_p = 1,00 \text{ kJ/kgK}$ och $\kappa = 1,40$ (TD s. 14) fås:

$$E_{\text{netto}} = 60,0 \cdot 1,00 (0,86 \cdot 1023 (1 - \left(\frac{0,98}{4,25}\right)^{\frac{1,4-1}{1,4}}) - (473 - 293)) = 7275 \text{ [kW]}$$

svaret: Nettoarbetet blir 7,3 MW