

**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 värmeväxlare 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/(m<sup>2</sup>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)

**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 m<sup>3</sup>/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 CO<sub>2</sub>-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 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)

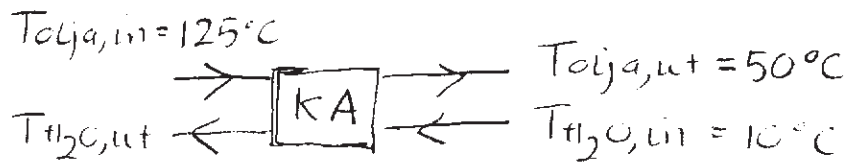
Lycka till!

B 1. Två lika stora värmeväxlare övervägs för en uppgift där  $2,0 \text{ kg/s}$  olja av  $125^\circ\text{C}$  skall kylas med hälften så stort flöde vatten av  $10^\circ\text{C}$ . 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  $50^\circ\text{C}$ . Till vilken temperatur kan oljan kylas i korsströmsvärmeväxlaren?  $c_p$  för oljan är  $1880 \text{ (J/kgK)}$ .

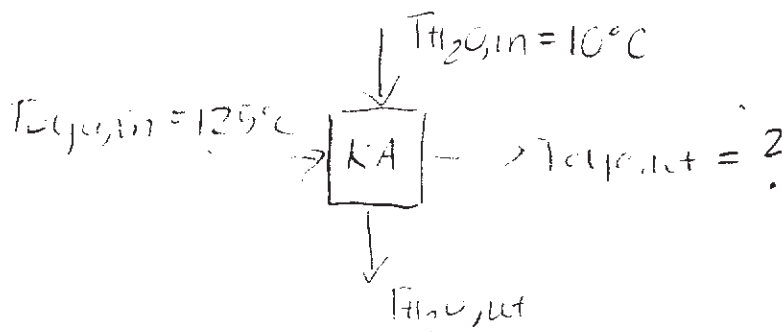
(5p)

Givet:

Alternativ A: Motströmsvärmeväxlare



Alternativ B: Korsströmsvärmeväxlare

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

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

$$\dot{W}_{H_2O} = \dot{m}_{H_2O} \cdot c_{p,H_2O} = \left\{ c_{p,H_2O} \approx 4,19 \text{ kJ}/(\text{kg},\text{K}) \right\} =$$

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

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

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

För båda Alt  
gäller:

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

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

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

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

$$A_A = A_B$$

Alternativ BSöker  $T_{1,ut}$ 

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

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

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

$\eta_1$  kan fås ur diagram (fig. 11.31) om  $\Sigma$  och  $\gamma$  är kända

$$\gamma = 0,897$$

$$\Sigma = \frac{kA}{L_1} \quad A \text{ är okänd men } \Sigma_{A11A} = \Sigma_{A11B}$$

$\Sigma$  kan fås från A11.A

Alternativ A

$$\gamma = 0,897$$

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

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

$$\theta = 125 - 10 = 115^\circ\text{C} \quad \left. \vphantom{\theta} \right\} (3) \Rightarrow \eta_1 = 0,652$$

$\Sigma$  kan nu fås ur eku. 11.25 eller fig. 11.25 då  $\eta_1$  och  $\gamma$  är kända  
eku. 11.25  $\Rightarrow \Sigma = 1,713$

Alternativ B igen

$$\Sigma = 1,713$$

$$\gamma = 0,897$$

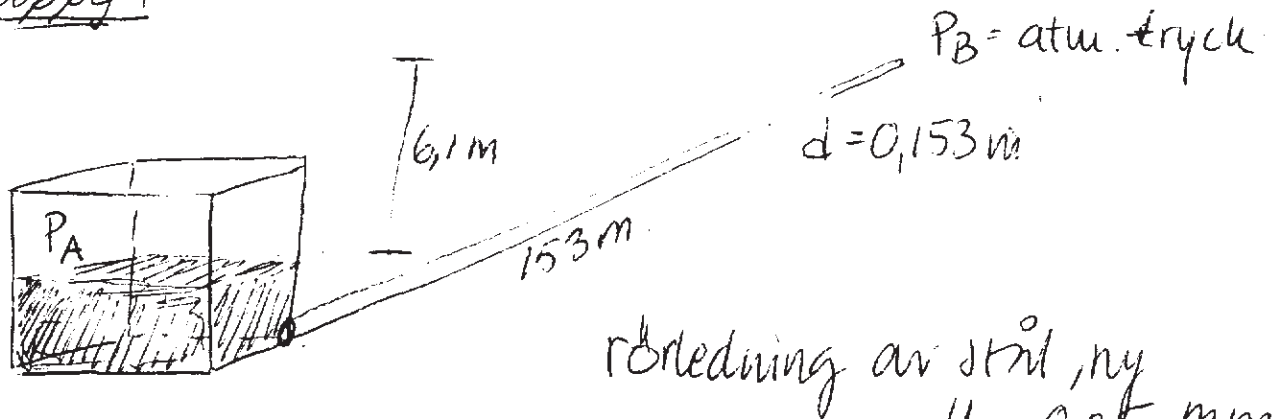
$$\left. \vphantom{\Sigma} \right\} \Rightarrow \eta_1 = 0,60 \text{ ur fig. 11.31}$$

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

Svar: Oljan kan kylas till  $56^\circ\text{C}$

**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 rörtutloppet 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

$$\dot{V} = 0,127 \text{ m}^3/\text{sek} \quad \gamma_s = 0,05 \text{ mm}$$

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

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

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

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

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

$$\sum_{\omega} = 0,5 \text{ (skarpkantat)}$$

$$\sum_{\text{ut}} = 1$$

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

# fruktionskoefficient

152 = 363

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

den dynamiska viskositeten  $\mu$  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) för

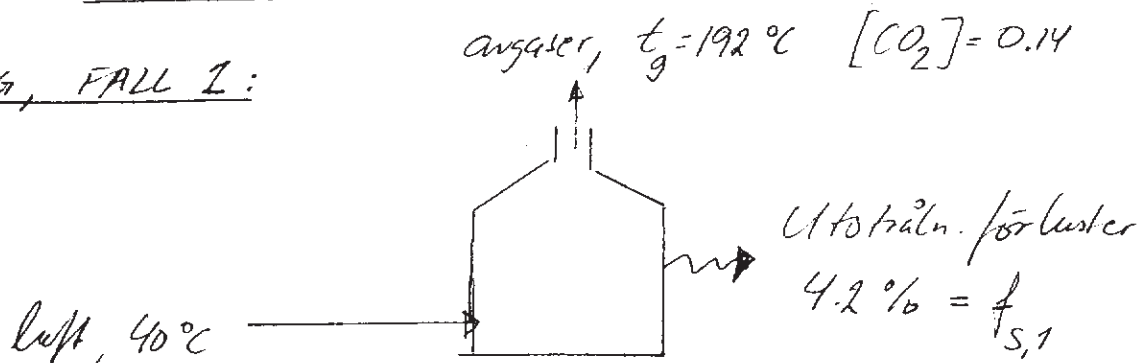
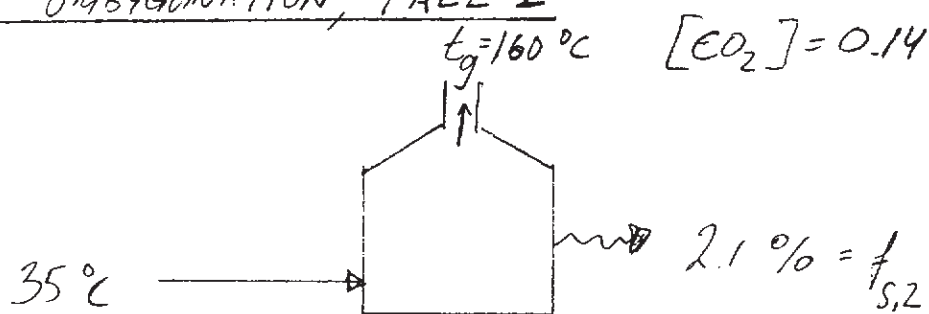
$$\Delta p = 840 \cdot 9,81(6,1) + \left( 0,009 \cdot \frac{153 \cdot 2}{0,153} + 0,5 + 1 \right) \frac{840 \cdot 6,91^2}{2} = 4,41 \cdot 10^5 \text{ Pa}$$

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 CO<sub>2</sub>-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 =  $\dot{Q}_{\text{nyttig}}$

Def. av pannverkningsgrad:

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

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

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

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

$f_s$  är kända, båda fallen  $\rightarrow$  bestämt  $f_a$

Givet om bränslet: Kol

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

$$\text{Vätehalt} = 5.5\%$$

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

Enl "Förbränningslära" sid 22:

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

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

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

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

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

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

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

$$h_g - h_{g,20} \approx \bar{c}_{p,g} (\text{medelvärde mellan } t_g \text{ och } 20^\circ\text{C}) \cdot (t_g - 20) \quad (4)$$

$$h_l - h_{l,20} \approx \bar{c}_{p,l} (\text{medelvärde mellan } t_l \text{ och } 20^\circ\text{C}) \cdot (t_l - 20) \quad (5)$$

Fig 5 i "Förbr. lära" ger

B.3: 5(3)

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

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

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

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

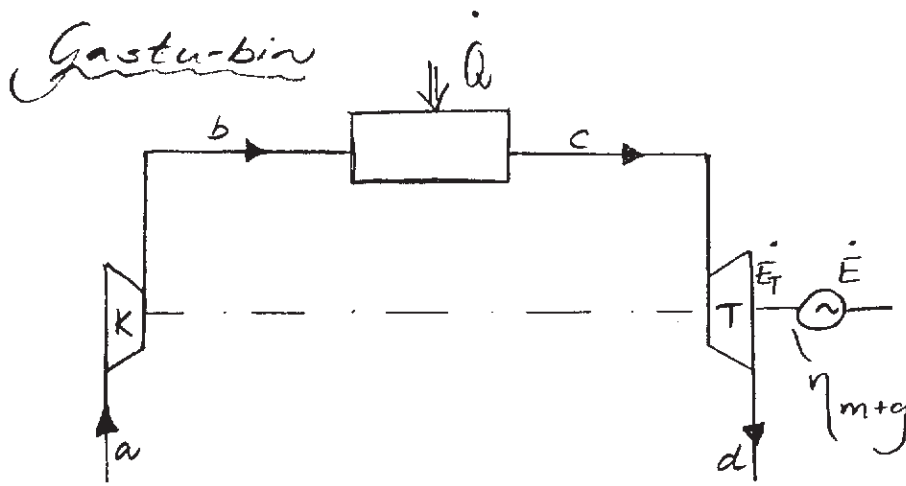
ins. i (1) ger nu:

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

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

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

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

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

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

$$\eta_{m+g} = 1 - 0,05 = 0,95$$

$$t_a = 20^\circ$$

SOKT :  $\eta_K = \eta_T = ?$

LÖSNUNG :

$$\dot{E} = (\dot{E}_T - |\dot{E}_K|) \cdot \eta_{m+g} \quad (1)$$

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

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

(2) o (3) i (1) o, multiplication med  $\eta_T$  o  $\eta_K$

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

$$T_{bis} = ?$$

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

$$T_{bis} = 30 \left(\frac{14}{11,4}\right) \cdot 293,15 = 774,68 \text{ K}$$

$$T_{dis} = ?$$

$$\begin{aligned} \text{Isentrop } c \rightarrow d \Rightarrow T_{dis} &= \left(\frac{p_d}{p_c}\right)^{\frac{\kappa-1}{\kappa}} \cdot T_c = \left(\frac{1}{30}\right)^{\left(\frac{14-1}{11,4}\right)} \cdot 1493,15 = \\ &= 565,03 \text{ K} \end{aligned}$$

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

Isobar  
b → c

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

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

$$\eta_{\kappa} = \eta_T \quad \text{ocw s\u00e4tt in i (4):}$$

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

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

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

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

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