

TENTAMEN I ENERGITEKNIK OCH MILJÖ (KVM033) 2012-01-12 08.30-12.30 i V-huset.

Tentamen omfattar:

Avdelning A: Teori och beskrivande moment
Inga hjälpmedel

Avdelning B: Problem
Tillåtna hjälpmedel:
Valfri kalkylator med tömt minne (kontrolleras med stickprov).
Föreläsningssanteckningar (ä. "Handouts") i Energiteknik,
kursmaterial i Energiteknik och miljö, Termodynamik och
Transportprocesser (ej exempelsamlingar), handböcker.

OBS! Till tentamen får ej medföras lösta exempel eller lösningsgång (sekvens av information i syfte att kunna klara ett räknetal), som inte ingår i tillåtet kursmaterial. Sådana skall, om de medförs, överlämnas till tjänstgörande tentamensvakter omedelbart efter det att du tagit del av detta papper.

När ekvationer används utan härledningar bör källa anges.

Använda symboler skall definieras om dessa inte är de samma som i kursmaterialet.

För godkänt krävs minst 15 poäng. För betyg 4 krävs minst 20 poäng och för betyg 5 minst 25 poäng.

Lennart Vamling (ankn. 3021) kommer ca kl. 09.00 att vara tillgänglig för frågor i skrivsalen. Ytterligare en gång ca kl 10.00

Lösningar anslås 2012-01-13 på VoM:s anslagstavla. Tentamensresultatet meddelas via LADOK senast 2012-02-02. Granskning av rättning får ske 2012-02-07 kl 11.45-12.25 och 2012-02-09 kl 12.30-13.00 i VoM:s bibliotek

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

AVDELNING A

A1.

- a) Två metoder under utveckling för storskalig avskiljning av CO₂ i samband med förbränning är "Oxyfuel" och "CLC – Chemical Looping Combustion". Beskriv var och en av dessa med hjälp av en principskiss (ange vad som flödar till/från de olika enheterna) och kortfattat vad som sker i de olika enheterna. (4 p)
- b) Beskriv kortfattat ytterligare en metod för CO₂ – avskiljning (1 p)

5 p

A2.

Två vanligt förekommande typer av värmeväxlare är tubvärmeväxlare och plattvärmeväxlare.

- a) Jämför dessa med avseende på
- Vilka typer/kombinationer av flöden de är lämpade för (gas/vätska/..., flödes hastigheter mm)
 - Lämplighet för höga tryck
 - Värmeöverföringseffektivitet
 - Rengöringsmöjligheter
 - Lämplighet för "aggressiva" fluider (korrosion mm) (4 p)
- b) I tubvärmeväxlare använder man sig ibland av ytförstoring. Ange under vilka förutsättningar det är lämpligt och beskriv utseendet hos en vanligt förekommande typ. (1 p)

5 p

A3.

Gasturbinkraftvärme kan användas för att uppnå högt α -värde i industriella processanläggningar som behöver både el och ånga. Den vanligaste utformningen av en sådan anläggning är att gasturbinen kompletteras med en avgaspanna för produktion av processånga.

- a) Rita ett processchema för en sådan kraftvärmeanläggning och förklara funktionen för all utrustning som ingår
- b) Diskutera hur anläggningens prestanda (η_{el} , η_{tot} , och α) påverkas av val av ångtryck i processens ångnät. Illustrera ditt svar genom att rita temperaturprofiler i ett (T,Q) diagram för de tillhörande termiska processerna i avgaspannan

5p

AVDELNING B

B1.

En högeffektiv gasturbin har nedanstående konstruktions- och driftdata vid lufttemperaturen 15°C:

Tryckförhållande:	25
Isentropverkningsgrad (turbin och kompressor):	0,90
Bränsleeffekt:	124 MW
Mekanisk friktions- och generatorverkningsgrad:	0,95
Avgasflöde:	156,1 kg/s

En tillhörande avgaspanna skall producera 30 K överhettad ånga av 2,0 MPa ur mättat kondensat av samma tryck.

Använd följande data och antaganden:

- Minsta temperaturdifferens i avgaspannan: 10 K
- Bränslet är biogas (som kan approximeras med naturgas eller 100 % metan)
- Specifikt värme för avgaserna och i gasturbincykeln (antas konstant): 1,0 kJ/kg/K
- I cykelberäkningen får antas att arbetsmedieflödet är konstant (och lika med avgasflödet), samt att $C_p/C_v = 1,4$ (konstant)

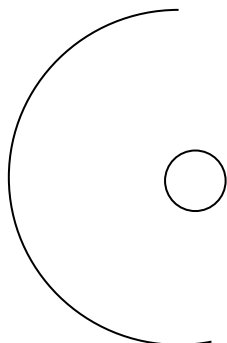
Beräkna följande:

- a) Eleffekten hos generatorn
- b) Värmeeffekten i avgaspannan
- c) Anläggningens specifika utsläpp av koldioxid (dvs kg/MWh av värme som levereras till processen)

För koldioxidberäkningar gäller följande:

- Referensproduktionen är naturgaskombicykel med en elverkningsgrad på 57 %.
- Distributionsförlusterna i elnätet är 4 %..

B2.



Ett långt rör med radien 25 mm värms elektriskt så att ytan håller temperaturen 1400 K. Rör ytans emissivitet är 0,8. Röret omges av en reflektor i form av en koncentrisk halvcirkel med radien 225 mm. Reflektorns utsida antas isolerad. Omgivningens temperatur är 294 K. Röret är så långt att ändeffekter kan försummas. I litteraturen kan man finna följande samband för siktfactorer för ovanstående geometri. (1=rörets ytteryta, 2=reflektorns inneryta, r betyder radie):

$$F_{12} = 0,5$$

$$F_{22} = 1 - \frac{2}{\pi} \left(\frac{r_1}{r_2} \arcsin\left(\frac{r_1}{r_2}\right) + \sqrt{1 - \left(\frac{r_1}{r_2}\right)^2} \right)$$

- Vilken temperatur får reflektorns yta?
- Vilken effekt behöver tillföras röret per meter? Jämför med vad som behövs om reflektorn tas bort!

Ledning: Omgivningens yta kan betraktas som "oändligt" stor, vilket innebär att "omgivningen bara ser sig själv", dvs $F_{33}=1$.

5p

B3.

En koleldad panna skall eventuellt byggas om för att minska avgasförlusterna. Det använda kolet (inkl. fukt) har ett kalorimetriskt värmevärde av 35,3 MJ/kg. Vätehalten och fukthalten är 5,5 respektive 4,0 %. Avgastemperaturen är för närvarande 192°C, lufttemperaturen 40°C och CO₂-halten 14 %. C_p för luft får antas vara 1,30 kJ/(Nm³ K) och för avgas 1,37 kJ/(Nm³ K).

- Hur stor är avgasförlusten för dessa förhållanden?
- Hur förändras avgasförlusten av en ombyggnad som resulterar i att avgastemperaturen sänks till 160 °C och lufttemperaturen till 35 °C? Du får anta att CO₂-halten och c_p-värden är oförändrade.

(5 p)

Lycka till!

$$\text{kJ} := 1000\text{J} \quad \text{MJ} := 1000\text{kJ} \quad \text{MWh} := \text{MW} \cdot 3600\text{s}$$

Lösningförslag till Energiteknik och miljö 2012-01-12

Uppgift B1 - Gasturbin med avgaspanna

Vi börjar med gasturbincykeln, givet är

$$T1 := (273.15 + 15) \cdot \text{K} \quad P1 := 100\text{kPa} \quad P2 := 25 \cdot P1 \quad \eta_{is} := 0.9 \quad \eta_{mg} := 0.95$$

$$\text{Bränsleeffekt} \quad Q_{23} := 124\text{MW} \quad m_{\text{avgas}} := 156.1 \cdot \frac{\text{kg}}{\text{s}}$$

$$\text{Vi approximerar egenskaperna med lufts} \quad \kappa := 1.4 \quad C_p := 1 \cdot \frac{\text{kJ}}{\text{kg} \cdot \text{K}}$$

1 till 2: Adiabatisk kompression

$$T_{2is} := T1 \cdot \left(\frac{P2}{P1} \right)^{\frac{\kappa-1}{\kappa}} = 722.82\text{K} \quad T2 := T1 + \frac{(T_{2is} - T1)}{\eta_{is}} = 771.116\text{K}$$

2 till 3 Isobar värmning

$$P3 := P2 \quad T3 := T2 + \frac{Q_{23}}{m_{\text{avgas}} \cdot C_p} = 1.565 \times 10^3 \text{K}$$

3 till 4: Adiabatisk expansion

4 till 1: Isobar kylning

$$P4 := P1$$

$$T_{4is} := T3 \cdot \left(\frac{P4}{P3} \right)^{\frac{\kappa-1}{\kappa}} \quad T4 := T3 + (T_{4is} - T3) \cdot \eta_{is} \quad T4 = 718.214\text{K}$$

$$Q_{el} := m_{\text{avgas}} \cdot C_p \cdot [(T3 - T4) - (T2 - T1)] \cdot \eta_{mg} = 54.024\text{MW}$$

Vi går nu över till avgaspannan

$$\text{Vad är kraven från avgaspannan? Givet är} \quad \Delta T_{\text{min}} := 10\text{K}$$

$$\Delta T_{\text{sup}} := 30\text{K}$$

$$\text{Ur tabell för 2 MPa} \quad T_{\text{sat}} := (212.42 + 273.15) \cdot \text{K} = 485.57\text{K}$$

Avgaspannan är "motströms" och inloppet är mättad vätska, varför

$$T_{\text{ut_avgas}} := T_{\text{sat}} + \Delta T_{\text{min}} = 495.57\text{K}$$

$$Q_{\text{avgas}} := m_{\text{avgas}} \cdot (T4 - T_{\text{ut_avgas}}) \cdot C_p = 34.755\text{MW}$$

CO₂utsläpp? Vi har dels det som orsakas av förbränningen i vår gasturbin, dels så får vi räkna oss till godo skillnaden gentemot referensproduktionen

$$\text{Givet} \quad \eta_{el_ref} := 0.57 \quad \eta_{\text{distr}} := 1 - 0.04$$

$$\text{Tabell 1 i komp. kap. 6 ger för naturgas} \quad c_{\text{fuel}} := 203 \cdot \frac{\text{kg}}{\text{MWh}}$$

Vi väljer att approximera vårt bränsle med naturgas

Ur ovanstående beräkningar

$$\eta_{\text{tot_CHP}} := \frac{Q_{\text{el}} + Q_{\text{avgas}}}{Q_{23}} = 0.716$$

$$\alpha_{\text{CHP}} := \frac{Q_{\text{el}}}{Q_{\text{avgas}}} = 1.554$$

$$\text{Vi får då } c_{\text{CHP}} := c_{\text{fuel}} \cdot \left(\frac{1 + \alpha_{\text{CHP}}}{\eta_{\text{tot_CHP}}} - \frac{\alpha_{\text{CHP}}}{\eta_{\text{distr}} \cdot \eta_{\text{el_ref}}} \right) = 147.615 \cdot \frac{\text{kg}}{\text{MWh}}$$

Svar: a) Generatorns eleffekt är 54 MW

b) Värmeeffekten i avgaspannan är 34,8 MW

c) Det specifika utsläppet av CO₂ är 148 kg/MWh

Uppgift B2 - strålning

Låt innercylindern vara yta 1, reflektorn yta 2 och omgivning yta 3

Givet:

$$\epsilon_1 := 0.8 \quad \text{vilket ger} \quad \rho_1 := 1 - \epsilon_1 = 0.2$$

$$\epsilon_2 := 1.0 \quad (\text{osäkert}) \quad \rho_2 := 1 - \epsilon_2 = 0$$

$$T_3 := 300 \cdot \text{K} \quad T_1 := 1400 \cdot \text{K}$$

$$R_1 := 25 \cdot \text{mm} \quad R_2 := 9 \cdot 25 \cdot \text{mm} = 225 \cdot \text{mm}$$

Längden på rör/reflektor är inte känd (men lång), så vi räknar per m rör (genom att låta längden vara 1 m)

$$L := 1 \cdot \text{m}$$

Det ger

$$A_1 := 2 \cdot \pi \cdot R_1 \cdot L = 0.157 \text{ m}^2$$

$$A_2 := \pi \cdot R_2 \cdot L = 0.707 \text{ m}^2$$

Siktfaktorer:

Yta 1 ser inte sig själv, och yta 2 tar upp halva synfältet, medan yta 2 ser både 1 och sig själv.

$$RR := \frac{R_1}{R_2} = 0.111$$

$$F_{11} := 0 \quad F_{12} := 0.5 \quad \text{Reciprocitet ger} \quad F_{21} := \frac{A_1}{A_2} \cdot F_{12} = 0.111$$

$$F_{22} := 1 - \frac{2}{\pi} \cdot \left(\sqrt{1 - RR^2} + RR \cdot \text{asin}(RR) \right) = 0.359$$

$$F_{13} := 1 - F_{11} - F_{12} = 0.5 \quad F_{23} := 1 - F_{21} - F_{22} = 0.529$$

$$F_{31} := 0 \quad F_{32} := 0 \quad F_{33} := 1$$

eftersom andra ytor är försumbara ("Inga ändeffekter")

$$\text{Bolzmans konstant är } \sigma := 5.676 \cdot 10^{-8} \cdot \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \cdot \text{K}^4}$$

$$E_{b1} := \sigma \cdot T_1^4 = 2.18 \times 10^5 \cdot \frac{\text{W}}{\text{m}^2} \quad q_2 := 0 \quad E_{b3} := \sigma \cdot T_3^4$$

Vi har nu situationen att vi känner temperaturen för yta 1 och 3, men inte för yta 2. För att bestämma J väljer vi därför ekv 23-37 för i=1 och 3 samt 23-38 för i=2. Det resulterar i

$J_3 := E_{b3}$ detta fås direkt ur 23-37 för i=3, vilket då kan sättas in i ekvationerna för de övriga

$$\underline{A} := \begin{pmatrix} 1 - F_{11} + \frac{\epsilon_1}{\rho_1} & -F_{12} \\ -F_{21} & 1 - F_{22} \end{pmatrix} \quad \underline{B} := \begin{pmatrix} \frac{\epsilon_1}{\rho_1} \cdot E_{b1} + F_{13} \cdot J_3 \\ F_{23} \cdot J_3 \end{pmatrix}$$

$$\underline{A} = \begin{pmatrix} 5 & -0.5 \\ -0.111 & 0.641 \end{pmatrix} \quad \underline{B} = \begin{pmatrix} 872.427 \\ 0.243 \end{pmatrix} \cdot \frac{\text{kW}}{\text{m}^2} \quad \underline{J} := \underline{A}^{-1} \cdot \underline{B} = \begin{pmatrix} 177.604 \\ 31.187 \end{pmatrix} \cdot \frac{\text{kW}}{\text{m}^2}$$

$$E_{b2} := J_2 = 3.119 \times 10^4 \frac{\text{kg}}{\text{s}^3} \quad \underline{T}_2 := \sqrt[4]{\frac{E_{b2}}{\sigma}} \quad T_2 = 860.962 \text{ K}$$

$$q_1 := A_1 \cdot (J_1 - F_{12} \cdot J_2 - F_{13} \cdot J_3) = 25.412 \cdot \text{kW}$$

Utan reflektor

$$J_{\text{lutan}} := \frac{\frac{\epsilon_1}{\rho_1} \cdot E_{b1} + E_{b3}}{1 + \frac{\epsilon_1}{\rho_1}} = 174.531 \cdot \frac{\text{kW}}{\text{m}^2}$$

$$q_{\text{lutan}} := A_1 \cdot (J_{\text{lutan}} - J_3) = 27.343 \cdot \text{kW}$$

$$\frac{q_{\text{lutan}}}{q_1} = 1.076$$

Svar: Temperaturen på reflektorns yta blir ca 861 K, genererad effekt blir 25,4 kW att jämföra med 27,3 kW (+ 7,6%) om vi inte har någon skärm.

Uppgift B3 - förbränning

Givet $H_0 := 35.3 \cdot \frac{\text{MJ}}{\text{kg}}$ $\underline{H} := 5.5\%$ $\underline{F} := 4\%$ $\text{CO}_{2t} := 14\%$

$$T_{\text{avgas}} := (192 + 273.15) \cdot \text{K} \quad T_{\text{luf}} := (40 + 273.15) \cdot \text{K}$$

$$C_{p_luf} := 1.3 \cdot \frac{\text{kJ}}{\text{m}^3 \cdot \text{K}} \quad C_{p_avgas} := 1.37 \cdot \frac{\text{kJ}}{\text{m}^3 \cdot \text{K}}$$

Sökt är avgasförlust

Den ges av $f_a \equiv \frac{g_v \cdot (h_g - h_{g25C}) - l_v \cdot (h_l - h_{l25c})}{H_i}$ kompendiet ekv 8

Det effektiva värmevärdet $H_i := H_0 - 2.5 \cdot \frac{\text{MJ}}{\text{kg}} \cdot (8.94 \cdot H + F) = 33.971 \cdot \frac{\text{MJ}}{\text{kg}}$

$$T_{\text{ref}} := (25 + 273.15) \cdot \text{K}$$

Figur (för stenkol) i D&D ger för detta värmevärde

$$g_0 := 9.3 \cdot \frac{\text{m}^3}{\text{kg}} \quad l_0 := 8.9 \cdot \frac{\text{m}^3}{\text{kg}} \quad \text{CO2}_{0t} := 18.8\%$$

Luften antas torr $l_0 := l_0$

$$\text{Luftfaktor} \quad m := \frac{\text{CO2}_{0t}}{\text{CO2}_t} = 1.343$$

$$g_v := g_0 + (m - 1) \cdot l_0 = 12.351 \frac{\text{m}^3}{\text{kg}} \quad l_v := m \cdot l_0 = 11.951 \frac{\text{m}^3}{\text{kg}}$$

$$\Delta h_g := C_{p_avgas} \cdot (T_{avgas} - T_{ref}) \quad \Delta h_l := C_{p_luft} \cdot (T_{luft} - T_{ref})$$

$$f_a := \frac{g_v \cdot \Delta h_g - l_v \cdot \Delta h_l}{H_i} = 7.633\%$$

b) ändrade temperaturer, i övrigt lika

$$T_{luft_ny} := T_{luft} - 5 \cdot K \quad T_{avgas_ny} := (160 + 273.15) \cdot K$$

$$\Delta h_{g_ny} := C_{p_avgas} \cdot (T_{avgas_ny} - T_{ref})$$

$$\Delta h_{l_ny} := C_{p_luft} \cdot (T_{luft_ny} - T_{ref})$$

$$f_{a_ny} := \frac{g_v \cdot \Delta h_{g_ny} - l_v \cdot \Delta h_{l_ny}}{H_i} = 6.267\%$$

$$\text{Förlusten har minskat med} \quad \frac{f_{a_ny} - f_a}{f_a} = 17.888\%$$

Svar: a) Avgasförlusten är 7,6%

b) Avgasförlusten minskar med ca 18%

