

**TENTAMEN I ENERGITEKNIK OCH MILJÖ (KVM033)  
2011-01-15 8.30-12.30 i M-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.

Jonas Sjöblom (tel. mobil 0735 – 90 78 95) kommer ca kl. 9.00 att vara tillgänglig för frågor i skrivsalen. Ytterligare en gång ca kl 11.00

Lösningar anslås 2011-01-17 på VoM:s anslagstavla. Tentamensresultatet meddelas senast 2011-02-05. Granskning av rättning får ske 2011-02-07 kl 12.30-13.00 samt 2011-02-10 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) Industrin står för ca 20 % av världens utsläpp av koldioxid. Ange två principiellt olika åtgärder som en processindustri kan vidta i dagsläget för att minska utsläppen av koldioxid.
- b) EU fattade ett principiellt beslut i mars 2007 om EUs framtida klimatpolitik. Beslutet kallas för "20 20 by 2020". Vad innebär detta beslut?
- c) I framtiden kan man komma att avskilja och lagra koldioxid. Ge två exempel på var man tänker sig kunna lagra koldioxid.
- d) En fabrik som genererar sitt värme med en oljepanna har beslutat att ersätta oljepannan med en spillvärmedriven värmepump. Efter installationen av värmepumpen behöver fabriken inte längre köpa in någon olja. Det är inte självklart att denna åtgärd leder till sänkta utsläpp av koldioxid. Motivera!

5 p

A2.

- a) Värmestrålning kan ofta anses ske i en inneslutning och då förekommer begreppet "reciprocitet". Beskriv kortfattat vad reciprocitet innebär och vad man kan använda detta samband till.
- b) Vad är det för likhet och skillnad mellan en adiabatisk, återstrålande yta och en helt blank, reflekterande yta?
- c) Vid beräkningar hos en inneslutning kan två olika uppsättningar randvillkor särskiljas. Vilka är det och hur skiljer sig beräkningarna i princip?

5p

A3.

Sodapannor är en viktig typ av kraftpannor med speciell funktion.

- a) Förklara med hjälp av en enkel skiss hur eldstaden i en modern sodapanna är uppbyggd och fungerar?
- b) I moderna sodapannor används alltid en vanlig typ av överhettare. Vilken typ är det? Visa med en enkel skiss hur den ser ut! Varför används den här?
- c) Ekonomisern i en sodapanna är ofta försedd med ytförstoring. Förklara varför det kan vara lämpligt!

5p

**AVDELNING B**

B1.

En ny mottrycksanläggning skall byggas för att försörja en fabrik med el och lågtrycksånga (25 ton/h ånga vid 0,4 MPa). Ångdata vid turbinens inlopp är 6,0 MPa, 440°C. Turbinens isentropiska verkningsgrad är 0,82, pannverkningsgraden är 0,88, och  $\eta_{m+g}$  är 0,96. Efter användning i fabriken, samlas kondensatet ihop vid 120°C. Pannan eldas med lågsvavlig eldningsolja 5. Referensproduktionen av el antas ske i en naturgaseldad kombicykel med följande parametrar:  $\eta_{el,PP} = 0,55$ ;  $\eta_{distr} = 0,92$ .

Beräkna följande:

- Bränsleflödet som tillförs pannan
- Eleffekten hos generatoren
- Anläggningens elverkningsgrad och totalverkningsgrad
- Specifika utsläpp av koldioxid (per kWh ånga levererad till fabriken) i samband med drift av anläggningen

5p

B2.

En plattvärmeväxlare som arbetar helt i motström är uppbyggd av 67 plattor med en värmeöverförande area på 0,032 m<sup>2</sup>/platta. I värmeväxlaren skall en kall vattenström med temperaturen 5°C värmas av en annan vattenström med temperaturen 45°C. Flödet är 3000 l/h för både varm och kall vattenström. Följande samband råder mellan massflödet av vatten i en kanal och värmeöverföringskoefficienten:

$$h = K * \dot{m}_{kanal}^n [W / m^2 \cdot ^\circ C] \text{ där } K = 18886 \text{ och } n = 0,62, \dot{m}_{kanal} [kg / s]$$

Beräkna uttemperaturen för den kalla strömmen. Specifika värmekapaciteten för vattenströmmarna kan sättas till 4,2 kJ/kg°C och densiteten för dessa till 1000 kg/m<sup>3</sup>. Plattorna i värmeväxlaren är mycket tunna och har mycket god värmeledningsförmåga.

5p

B3.

Eten av 327,4 K och 275 kPa lagras i en behållare. Genom en olyckshändelse uppstår ett, i det närmaste, runt hål med diametern 37,2 mm. Hur stort blir flödet av eten alldeles i början av läckaget?

5p

**Lycka till!**

B1. En ny mottrycksanläggning skall byggas för att försörja en fabrik med el och lågtrycksånga (25 ton/h ånga vid 0,4 MPa). Ångdata vid turbinens inlopp är 6,0 MPa, 440°C. Turbinens isentropiska verkningsgrad är 0,82, pannverkningsgraden är 0,88, och  $\eta_{m+g}$  är 0,96. Efter användning i fabriken, samlas kondensatet ihop vid 120°C. Pannan eldas med lågsvavlig eldningsolja 5. Referensproduktionen av el antas ske i en naturgaseldad kombicykel med följande parametrar:  $\eta_{el,PP}=0,55$ ;  $\eta_{distr}=0,92$ .

Beräkna följande:

- Bränsleflödet som tillförs pannan
- Eleffekten hos generatoren
- Anläggningens el- och totalverkningsgrader
- Specifika utsläpp av koldioxid (per kWh ånga levererad till fabriken) i samband med drift av anläggningen

(5p)

**Givet:**

$$P_1 = 6.0 \text{ MPa} = 60 \text{ bar}$$

$$T_1 = 440^\circ\text{C}$$

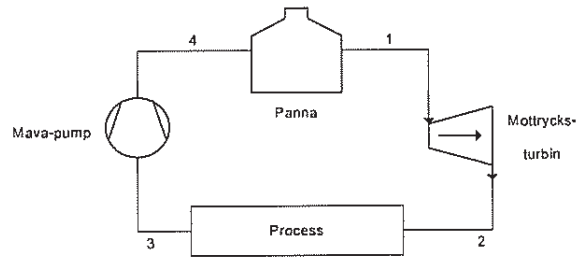
$$P_2 = 0.4 \text{ MPa} = 4 \text{ bar}$$

$$\eta_p = 0.88$$

$$\eta_{is,turbin} = 0.82$$

$$\eta_{m+g} = 0.96$$

$$\dot{m}_{\text{ånga}} = 25 \text{ ton/h}$$



kondensatretur vid  $T_3 = 120^\circ\text{C}$

Beräkning av bränsleflödet till pannan

I pannan värms och förångas vattnet efter att ha passerat en matarvattenpump där trycket byggts upp till 60 bar. Pannverkningsgraden är given 88 %.

$$\dot{q}_{\text{ånga}} = \dot{m}_{\text{ånga}} \cdot (h_1 - h_4)$$

$$\dot{q}_{\text{ånga}} = \dot{q}_{\text{bränsle}} \cdot \eta_p$$

$$\dot{q}_{\text{bränsle}} = H_i \cdot \dot{m}_{\text{bränsle}}$$

$$h_1 = \{60 \text{ bar}, 440^\circ\text{C}\} = 3277 \text{ kJ/kg} \quad (\text{D\&D s. 52})$$

$$h_4 \approx h_3 \quad (\text{försummar pumparbetet i mava-pumpen})$$

$$h_3 \approx h_{\text{mättad vätska } 120^\circ\text{C}} = 503.8 \text{ kJ/kg} \quad (\text{D\&D s. 40})$$

(försummar underkyllningen, eftersom entalpin är bara svagt tryckberoende)

$$H_i = 41.0 \text{ MJ/kg} \quad (\text{D\&D s. 23})$$

$$\dot{q}_{\text{ånga}} = \frac{25 \cdot 10^3 (3277 - 503.8)}{3600} = 19.26 \text{ MW}$$

$$\dot{q}_{\text{bränsle}} = \frac{\dot{q}_{\text{ånga}}}{\eta_p} = \frac{19.26}{0.88} = 21.88 \text{ MW}$$

$$\dot{m}_{br\u00e4nsle} = \frac{\dot{q}_{br\u00e4nsle}}{H_i} = \frac{21.88}{41} = 0.53 \text{ kg/s}$$

Ber\u00e4knar hur mycket el vi f\u00e5r ut i expansionen genom turbinen.

$$|P_{el}| = \eta_{m+g} \cdot \dot{m}_{anga} \cdot (h_1 - h_2) \quad (1)$$

Ber\u00e4kning av entalpin  $h_2$

$$\eta_{is} = \frac{h_1 - h_2}{h_1 - h_{2,is}} \quad (2)$$

beh\u00f6ver entalpin efter isentrop expansion.

$$h_1 = \{60 \text{ bar}, 440^\circ\text{C}\} = 3277 \text{ kJ/kg} \quad (\text{D\&D s. 52})$$

$$s_1 = \{60 \text{ bar}, 440^\circ\text{C}\} = 6.685 \text{ kJ/kg} \quad (\text{D\&D s. 52})$$

$h_{2,is} = \{s = 6.685, P = 4 \text{ bar ur Mollierdiagram alternativt med f\u00f6ljande metod}\}$

Ser att denna punkt kommer att befinna sig i det fuktiga området eftersom  $s' < s < s''$

\u00c5nthalten  $x$  \u00e4r d\u00e5 ur

$$s = x \cdot s'' + (1 - x) \cdot s' \quad (3)$$

$$h = x \cdot h'' + (1 - x) \cdot h'$$

ur (3) f\u00e5s d\u00e5

$$x = \frac{s - s'}{s'' - s'}$$

$$s' = (\text{D\&D s. 43}) = 1.7765$$

$$s'' = (\text{D\&D s. 43}) = 6.8965$$

vilket ger  $x = 0.959$

$$\text{och med } h' = 604.72 \text{ kJ/kg och } h'' = 2738.66 \text{ kJ/kg} \quad (\text{D\&D s. 43})$$

$$h_{2,is} = 2650.51 \text{ kJ/kg}$$

med givet  $\eta_{is} = 0.82$  och  $h_{2,is}$  insatt i (2) ger:

$$h_2 = 2763.28 \text{ kJ/kg}$$

insatt i (1) ger

$$|P_{el}| = \frac{0.96 \cdot 25 \cdot 10^3 \cdot (3277 - 2763.28)}{3600} = 3.42 \text{ MW}$$

### Beräkning av tillvaratagen värme

Kondensatet återkommer med 4 bar, 120°C.

Men enligt tidigare försummas underkylningen.

$$h_3 = 503.8 \text{ kJ/kg}$$

$$h_2 = 2763.28 \text{ kJ/kg}$$

vilket ger tillvaratagen värme:

$$|\dot{q}_{process}| = \dot{m}_{anga} \cdot (h_2 - h_3) = \frac{25 \cdot 10^3}{3600} \cdot (2763.28 - 503.8) = 15.69 \text{ MW}$$

### Beräkning av elverkningsgrad och totalverkningsgrad

$$\eta_{el} = \frac{|P_{el}|}{\dot{q}_{bränsle}} = \frac{3.42}{21.88} = 0.16$$

$$\eta_{tot} = \frac{|P_{el}| + |\dot{q}_{process}|}{\dot{q}_{bränsle}} = \frac{3.42 + 15.69}{21.88} = 0.87$$

### Beräkning av specifika utsläpp av koldioxid

Bränsle: Lågsvavlig eldningsolja 5, EO5  $\Rightarrow$

$$c_{EO5} = 274 \text{ kg/MWh}_{bränsle}$$

$$\left. \begin{aligned} \eta_{tot} &= 0,87 \\ \alpha &= \frac{\eta_{el}}{\eta_{tot} - \eta_{el}} = \frac{0,16}{0,87 - 0,16} = 0,22 \end{aligned} \right\}$$

*Referensproduktion:*

$$\text{Bränsle: Naturgas} \quad \Rightarrow \quad c_{naturgas,pp} = 203 \text{ kg/MWh}_{bränsle}$$

$$\eta_{el,pp} = 0,55 \quad \eta_{distr} = 0,92$$

$$c_{CHP} = c_{EO5} \frac{1 + \alpha}{\eta_{tot}} - \alpha \frac{c_{naturgas,pp}}{\eta_{distr} \cdot \eta_{el,pp}} = 274 \frac{1 + 0,22}{0,87} - 0,22 \frac{203}{0,92 \cdot 0,55} = 294.59 \text{ kg/MWh}_{anga} = 0.29 \text{ kg/kWh}_{anga}$$

Svar:

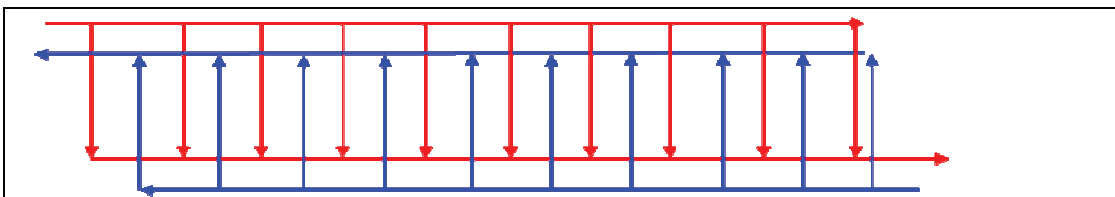
- Bränsleflödet till pannan är 0.53 kg/s
- Eleffekten hos generatoren är 3.42 MW
- Anläggningens el- och totalverkningsgrader är 0.16 resp. 0.87
- De specifika utsläppen av koldioxid är 0.29 kg/kWh<sub>anga</sub>

**B2.**

Givet: volymflöde=3000l/h (både för kall och varm ström), 67plattor à 0.032m<sup>2</sup>, plattvärmväxlare som arbetar helt i motström.

$c_p=4.2$  kJ/kgK(för båda strömmarna), densiteten=1000 kg/m<sup>3</sup>. Givet var även korrelationen för värmeöverföringskoefficienten:

$$h = K * \dot{m}_{kanal}^n \quad [W / m^2 \cdot ^\circ C] \quad \text{där } K = 18886 \quad \text{och } n = 0,62, \quad \dot{m}_{kanal} \quad [kg / s]$$



Eftersom vi har totalt 66 kanaler som skall delas mellan kall och varm ström blir varje flöde uppdelat i 33 kanaler.

$$\dot{m}_{kanal} = \frac{\dot{m}_{tot}}{33} = \frac{\dot{V}_{tot} * \rho}{3600 * 1000 * 33} = \frac{3000 * 1000}{3600 * 1000 * 33} = \frac{0.833}{33} = 0.025 kg / s$$

Detta insätts i ekvationen och  $h = 1930$  W/m<sup>2</sup>K.

$\frac{1}{U} = \frac{1}{h_{kall}} + \frac{1}{h_{varm}}$ , eftersom väggarna är tunna och värmeledningsmotståndet kan försummas.  $h$  är samma på båda sidor (eftersom hastigheterna är samma och fluiderna samma)

$$U = h/2 = 0.965 \text{ kW/m}^2\text{K}$$

Eftersom  $C_{kall}=C_{varm}$  ( $C=mprick*c_p$ ) blir den drivande temperaturgradienten ( $\Delta T$ ) samma i hela värmväxlaren (och kan tex tecknas som  $\Delta T=T_{varm,in}-T_{kall,ut}$ ). En värmebalans ger nu:

$$q = \dot{m}_{tot} * c_p * (T_{kall,ut} - T_{kall,in}) = UA\Delta T = UA(T_{varm,in} - T_{kall,ut})$$

Där  $A$  är den värmeöverförande ytan, som är alla plattor utom de 2 yttersta, dvs

$$A = A_{platta} * 65 = 2.08 \text{ m}^2.$$

$$T_{kall,ut} = \frac{\dot{m}_{tot} * c_p * T_{kall,in} + U * A * T_{varm,in}}{\dot{m}_{tot} * c_p + UA} = \frac{0.833 * 4.2 * 5 + 0.965 * 2.08 * 45}{0.833 * 4.2 + 0.965 * 2.08} = 19.6^\circ C$$

**Svar: Den kalla strömmen temperatur ut blir 19.6°C**

B3. Eten av 327,4 K och 275 kPa lagras i en behållare. Genom en olyckshändelse uppstår ett, i det närmaste, runt hål med diametern 37,2 mm. Hur stort blir flödet av eten alldeles i början av läckaget?

(5p)

**Lösning:**

Givet:

$$p_0 = 0,275 \cdot 10^6 \text{ Pa}$$

$$p_2 = 0,1013 \cdot 10^6 \text{ Pa}$$

$$T_0 = 327,4 \text{ K}$$

$$A^* = (37,2 \cdot 10^{-3})^2 / 4 = 1,087 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2$$

Idealgasförhållanden ger:

$$R = R_0 / M = 8,3145 \cdot 10^3 / 28 = 296,9 \text{ J / (kg} \cdot \text{K)}$$

För eten är  $\kappa = 1,24$  (D&D s.75).

**Kontroll av kritisk strömning**

$$\frac{p^*}{p_0} = \left( \frac{2}{\kappa+1} \right)^{\frac{\kappa}{\kappa-1}} \quad (16.38)$$

Insättning ger

$$\frac{p^*}{p_0} = 0,555 \quad \Rightarrow \quad p^* = 0,153 \cdot 10^6 \text{ Pa}$$

$$\frac{p_2}{p_0} = 0,367 < 0,555$$

Det är alltså kritisk strömning genom ”munstycket”

**Massflöde genom munstycket:**

$$\dot{m} = A^* \frac{p_0}{\sqrt{T_0}} \sqrt{\frac{\kappa}{R}} \frac{1}{\left( \frac{\kappa+1}{2} \right)^{\frac{\kappa-1}{2(\kappa-1)}}} \quad (16.42)$$

Insättning ger  $\dot{m} = 0,628 \text{ kg / s}$

**Svar:** Massflödet är 0,63 kg/s

Alternativt kan användas



$$\dot{m} = \rho^* A^* c \quad \text{ur (16.32)}$$

där

$$\rho^* = \frac{p^*}{RT^*}$$

$$c = \sqrt{\kappa RT^*} \quad (16.28)$$

$$T^* = T_0 \frac{2}{\kappa+1} \quad (16.37)$$