

## TENTAMEN I ENERGITEKNIK OCH MILJÖ (KVM033) 2010-08-18 14.00-16.00 för K2 och Kf2 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).  
Föreläsningsanteckningar (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.Chalmers 3012, mobil 0735-907895) kommer ca kl. 14.30 att vara tillgänglig för frågor i skrivsalen. Ytterligare en gång ca kl 16.00

Lösningar finns anslagna 2010-08-19 på VoM:s anslagstavla. Tentamensresultatet meddelas senast 2009-09-08. Granskning av rättning får ske 2010-09-09 kl 12.30-13.00 samt 2010-09-16 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) EU-parlamentet har beslutat om en ny lagstiftning för EU's klimat- och energipolitik. I denna lagstiftning finns de s.k. "20-20-20-målen". Redogör för minst 3 av målen i denna lagstiftning.
- b) Vid förbränning bildas även fasta produkter, däribland stoft. Nämn minst 2 olika metoder för stoftavskiljning.
- c) Efter förbränningen återstår bl.a. aska. Hur hanteras askan efter förbränning i industriella processer? Nämn minst 2 olika sätt. Vilket av dessa är det vanligaste sättet att hantera aska?

5 p

A2. Två vanliga typer av värmeväxlare är tubvärmeväxlare och plattvärmeväxlare.

- a) Ange ungefärliga U värden för de två värmeväxlar-typerna vid värmeväxling av utspädda vattenlösningar.
- b) Vilket fysikaliskt fenomen är den främsta orsaken till att dessa värden skiljer sig åt?
- c) I en motströms tubvärmeväxlare ändras konfigurationen från 1-pass till 2-pass. Hur ändras värmegenomgångstalet U av denna förändring? Motivera ditt svar.
- d) Som så mycket annat kommer en förbättring inte gratis utan har ett "pris". Vid omkonfigurering till 2-pass, vad är det om förändras?

5p

A3. Ångturbiner indelas efter olika grunder. En indelningsgrund är graden av reaktion.

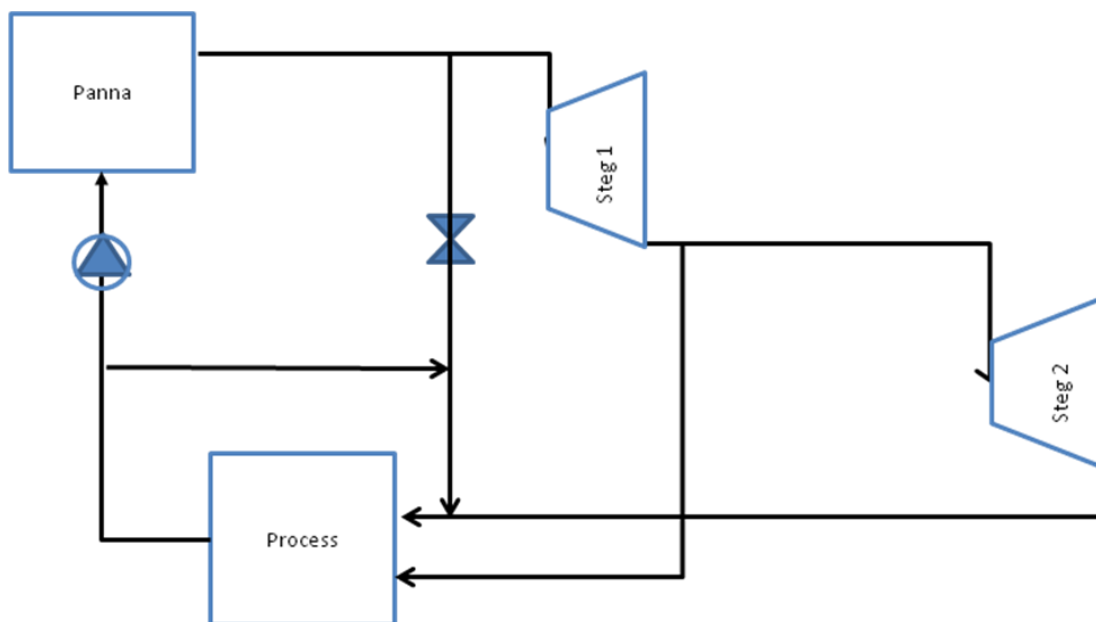
- a) Vad menas med reaktionsgrad för en ångturbin?
- b) Vad består ett turbinsteg av i en axiell ångturbin och visa med en skiss hur ett sådant steg ser ut i en reaktionsturbin.
- c) Visa hur hastighetsvektorerna ser ut i ett steg i en axiell reaktionsturbin och visa grafiskt hur tryck och temperatur förändras i steget.

5p

## AVDELNING B

B1.

Ett pappersmassabruk har ökat sin massaproduktion så att en del av högtrycksångan från sodapannan inte kan passera genom turbinen eftersom den är för liten, se figur



Följande data gäller:

Ångflöde från pannan: 85,5kg/s (85bar, 500°C)

Direktexpansion till lågtrycksnätet: 10,5kg/s

Ångans tillstånd efter 1:a turbinsteget: 12bar, 240°C

Avtappning till mellantrycksnätet: 20 kg/s (12bar, 240°C)

Ångans tillstånd efter 2:a turbinsteget: 5bar, 160°C

Kondensatets tillstånd efter processen: 5bar, 140°C

Generators verkningsgrad ( $\eta_{m+g}$ ): 95%

Pannverkningsgrad ( $\eta_{panna}$ ): 90%

För att inte få en alltför överhettad lågtrycksånga efter direktexpansionen (antag isentalp expansion) blandas den expanderade ångan med en liten del av kondensatströmmen så att samma tillstånd som lågtrycksångan erhålls.

- Beräkna den isentropiska verkningsgraden för de två stegen
- För hela processen, beräkna alfa ( $\alpha$ ) och totalverkningsgraden ( $\eta_{tot}$ ). (Försumma pumparbetet i mava-pumpen.)

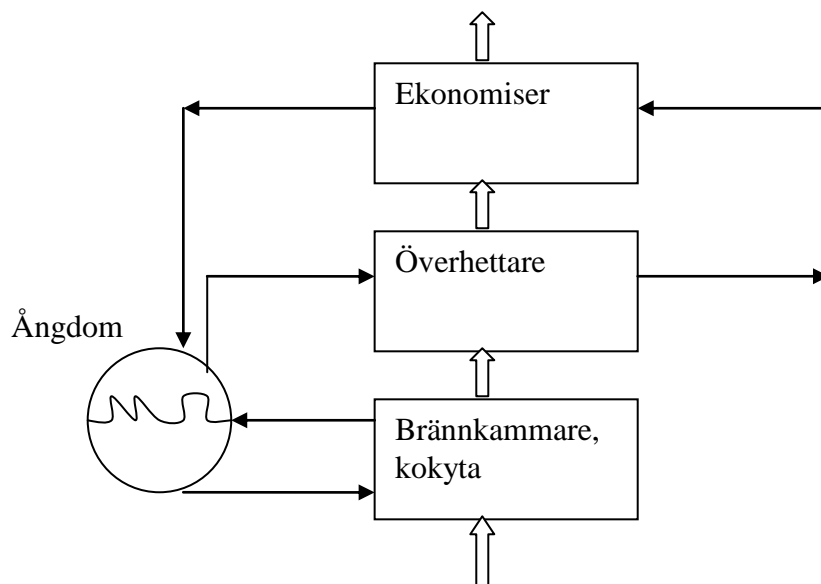
B2.

En värmebehandlingsugn, för att reducera spänningar i metalliska konstruktioner, har formen av en rektangulär låda med längden 2,0 m, bredden 1,5 m och höjden 1,0 m. Ugnsväggarna, som är elektriskt uppvärmda, är av tegel och håller normalt en temperatur av  $1000^{\circ}\text{C}$ . Vid det aktuella tillfället placeras en stålcylder med diametern 300 mm och längden 1,0 m fritt upphängd i ugnen. Yttemperaturen hos stålcyldern är vid en viss tidpunkt av värmebehandlingen  $50^{\circ}\text{C}$ . Hur stor eleffekt måste tillföras vid denna tidpunkt för att ugnsväggarna skall förbli vid  $1000^{\circ}\text{C}$ ? Stålets emissivitet kan sättas till 0,78.

5p

B3.

I en oljepanna produceras 100 t/h ånga av 60 bar,  $450^{\circ}\text{C}$ . Oljepannan är uppbyggd så att väggarna i eldstaden är klädda med kokartuber. Vattnet från ekonomisern till domen har en temperatur på  $260^{\circ}\text{C}$ . Hur stor bränsleeffekt tillförs pannan? Rökgaserna in till överhettaren har en temperatur på  $950^{\circ}\text{C}$ . Koldioxidhalten i rökgaserna är 13% (sett per torr mängd). Förbränningsluften har en temperatur på  $40^{\circ}\text{C}$ .



5p

**Lycka till!**

## AVDELNING A

A1.

- a) EU-parlamentet har beslutat om en ny lagstiftning för EU's klimat- och energipolitik. I denna lagstiftning finns de s.k. "20-20-20-målen". Redogör för minst 3 av målen i denna lagstiftning.
- År 2020 skall 20% av energitillförseln komma från förnybara källor (Sverige 49%)
    - Minst 10% av energianvändningen i transportsektorn måste vara från förnybart ursprung 2020
      - Utsläpp för personbil skall vara i genomsnitt 130gCO<sub>2</sub>/km
      - Ökan inblandning av förnybara drivmedel i bensin o diesel samt minska utsläpp under omvandlingskedjan med 6%
  - Utsläppen (av växthusgaser) från förbränningsanläggningar och stora industrier skall vara 21% lägre år 2020 (jfr 2005)
    - För utsläpp som inte omfattas av EU ETS skall utsläppen vara 10% lägre (Sverige 17%)
  - Genom energieffektivisering skall energianvändningen minska med 20% till 2020 (står ej i klartext i "energiläget", men finns från EU-källor)
  - Främja teknik för CCS
- b) Vid förbränning bildas även fasta produkter, däribland stoft. Nämn minst 2 olika metoder för stoftavskiljning.
- Cyklon
  - Skrubber
  - Elektrofilter
  - Spärrfilter
- c) Efter förbränningen återstår bl.a. aska. Hur hanteras askan efter förbränning i industriella processer? Nämn minst 2 olika sätt. Vilket av dessa är det vanligaste sättet att hantera aska?
- Deponier (vanligast)
  - Återförs till skogen
  - Återanvänds i processen
  - Vägbyggen
  - Konstruktionsmaterial
  - Tätskikt på deponier???

A2. 2 vanliga typer av värmeväxlare är tubvärmeväxlare och plattvärmeväxlare.

- a) Ange ungefärliga  $U$  värden för de två värmeväxlartyperna vid värmeväxling av utspädda vattenlösningar.
- *Tubv<sub>v</sub>x: 1,5-2,0 kW/m<sup>2</sup>K, Plattv<sub>v</sub>x: 3,5-5,5 kW/m<sup>2</sup>K ger 1p*
  - *Även  $U \sim \text{kW/m}^2\text{K}$  samt  $U_{\text{plattv}_v\text{x}} > U_{\text{tubv}_v\text{x}}$  ger 1p-*
  - *$U \sim \text{kW/m}^2\text{K}$  samt  $U_{\text{plattv}_v\text{x}} \sim 2 * U_{\text{tubv}_v\text{x}}$  ger 1p*
- b) Vilket fysikaliskt fenomen är den främsta orsaken till att dessa värden skiljer sig åt? (1p)
- *Tubulens*
  - *Även att plattvärmeväxlare har tunnare väggar*
- c) I en motströms tubvärmeväxlare ändras konfigurationen från 1-pass till 2-pass. Hur ändras värmegenomgångstalet  $U$  av denna förändring? Motivera ditt svar.
- *Vid 2pass halveras tvärsnittsarean och hastigheten i tuberna ökar. Då hastigheten ökar så ökar värmeöverföringskoefficienten och därmed även  $U$ . (värmeeöverföringskoefficienten på mantelsidan påverkas inte)*
- d) Som så mycket annat kommer en förbättring inte gratis utan har ett pris. Vid re-konfigurering till 2-pass, vad är det mer som förändras?
- *Tryckfallet*
  - *Även så erhålls en blandning av med och motström vilket gör  $\Delta T_{LM}$  lägre.*

5p

A3. Ångturbiner indelas efter olika grunder. En indelningsgrund är graden av reaktion.

a) Vad menas med reaktionsgrad för en ångturbin?

*"Hur mycket som händer i hjulet jämfört med totalt" (formler behövs ej)*  
(1p)

Specifika energiomvandlingen  $Y = \text{rörelseenergi} + \text{statisk tryckenergi}$

$$Y = 1/2 [c_1^2 - c_2^2] + 1/2 [u_1^2 - u_2^2 + w_2^2 - w_1^2] \quad (J/kg)$$

Reaktionsgrad  $R$ :

$$R = 1/2 [u_1^2 - u_2^2 + w_2^2 - w_1^2] / Y \quad \text{där } 0 > R \leq 1 (?)$$

b) Vad består ett turbinsteg av i en axiell ångturbin och visa med en skiss hur ett sådant steg ser ut i en reaktionsturbin.

*Består av lefskovelkrans samt löpskovelkrans*

*Skiss:*

c) Visa hur hastighetsvektorerna ser ut i ett steg i en axiell reaktionsturbin och visa grafiskt hur tryck och temperatur förändras i steget.

*Använd ideal gaslag:  $PV = nRT$ , dvs när trycket ändras så ändras även temperaturen*

*5p*

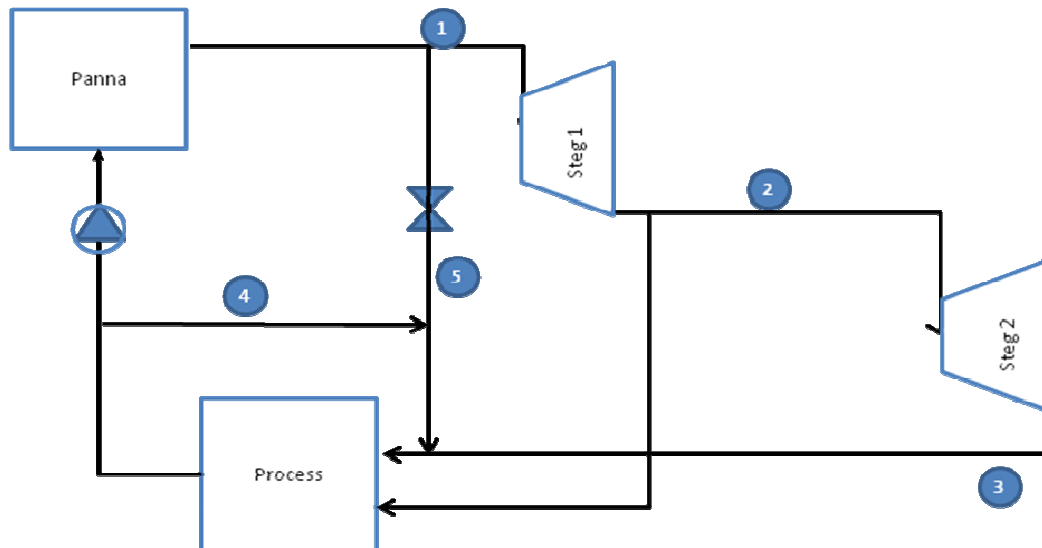
*både tryck och temperatur sjunker över ett steg.*

*(obs! absolut hastigheterna minskar i rotorn (c) men relativ hastigheterna (w) ökar i rotorn.)*

## AVDELNING B

B1.

Ett pappersmassabruk har ökat sin massaproduktion så att en del av högtrycksången från sodapannan inte kan passera genom turbinen eftersom den är för liten, se figur



Följande data gäller:

Ångflöde från pannan: 85,5kg/s (85bar, 500°C)

Direktexpansion till lågtrycksnätet: 10,5kg/s

Ångans tillstånd efter 1:a turbinsteget: 12bar, 240°C

Avtappning till mellantrycksnätet: 20 kg/s (12bar, 240°C)

Ångans tillstånd efter 2:a turbinsteget: 5bar, 160°C

Kondensatets tillstånd efter processen: 5bar, 140°C

Generatorns verkningsgrad ( $\eta_{m+g}$ ): 95%

Pannverkningsgrad ( $\eta_{panna}$ ): 90%

För att inte få en alltför överhettad lågtrycksånga efter direktexpansionen (antag isentalp expansion) blandas den expanderade ången med kondensatströmmen så att samma tillstånd som lågtrycksången erhålls.

- Beräkna den isentropiska verkningsgraden för de 2 stegen
- För hela processen, beräkna alfa ( $\alpha$ ) och totalverkningsgraden ( $\eta_{tot}$ ). (Försumma pumparbetet i mava-pumpen.)



## Lösning B1

Inför punkterna 1-5 enl ovan

a) Isentropverkningsgraderna:

Entalpier och entropier hämtas från:

$$h_1=3392\text{kJ/kg}, s_1=6,69\text{kJ/kgK} \text{ (D\&D53, interpolera)}$$

$$h_2=2913\text{kJ/kg}, s_2=6,786\text{kJ/kgK}, h_{2is}(@p_2, s_1)=2866\text{kJ/kg} \text{ (DD50),}$$

$$h_3=2767\text{kJ/kg}, s_3=6,865\text{kJ/kgK}, \text{ (DD49)}$$

$h_{3is}(@p_3, s_2)$ : befinner sig denna punkt i det fuktiga området?

Ja,  $s_{sat}5\text{bar}=6,8219 > 6,786$  dvs blandning. (DD43)

Om  $x$ =ånghalt:  $S_{3,is}=s_2=xs''+(1-x)s' \Rightarrow x = (s_2-s') / (s''-s') = 99,3\%$

$$h_{3is} = 0,993 * 2748,79 + 0,007 * 640,16 = 2734\text{kJ/kg} \text{ (DD43)}$$

$$\eta_{is1} = (h_1 - h_2) / (h_1 - h_{2is}) = (3392 - 2913) / (3392 - 2866) = \mathbf{0,91}$$

$$\eta_{is2} = (h_2 - h_3) / (h_2 - h_{3is}) = (2913 - 2767) / (2913 - 2734) = \mathbf{0,81}$$

b) Beräkna  $\alpha$  och  $\eta_{tot}$ :

Alfa = el-effekt/processvärme

El-effekt=ångans entalpiändring \* generatorns verkningsgrad

$$P_{el} = \eta_{gen} * [m_1 * (h_1 - h_2) + m_2 * (h_2 - h_3)] = 0,95 * [75 * (3392 - 2913) + 55 * (2913 - 2767)] = 0,95 * (35925 + 8030) = 41757\text{kW} = 41,8\text{MW}$$

Processvärme:

$$P_{sat140^\circ} = 3,6136\text{bar}, h_{sat140^\circ} = 589,2\text{kJ/kg}, v_{sat140^\circ} = 0,0010798\text{m}^3/\text{kg}$$

$$h_4 = h'(140^\circ\text{C}) + v(P_4 - P_{sat,140^\circ}) = 589,2 + 0,0010798(5e5 - 3,613e5) / 1000 = 589,35\text{kJ/kg}$$

beräkna hur mycket återcirkulation som behövs: Blandningen av ström 4 och 5 skall ha samma temperatur(entalpi) som lågtrycksångan ( $h_3$ )

$$h_4 * m_4 + h_1 * m_5 = (m_4 + m_5) * h_3, \text{ lös ut } m_4$$

$$m_4 = m_5 * (h_3 - h_1) / (h_4 - h_3) = 10,5 * (2767 - 3390,5) / (589,35 - 2767) = 3,01\text{kg/s}$$

$$Q_{process} = (m_4 + m_5 + m_3) * (h_3 - h_4) + m_{avtappn} * (h_2 - h_4) = (3,01 + 10,5 + 55) * (2767 - 589,35) + 20 * (2913 - 589,35) = 149199 + 46473 = 195672\text{kW} = 195,7\text{MW}$$

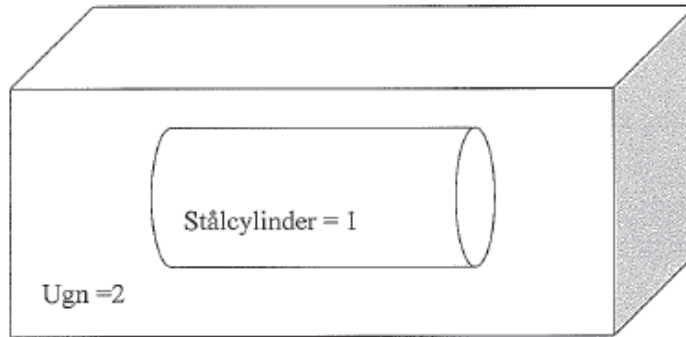
$$\text{Alfa} = \mathbf{0,21}$$

Totalverkningsgraden: är el-effekt och Processvärme genom mängden bränsle, pumparbetet kunde försummas

$$\text{Bränslemänd: } Q_{bränsle} = 1 / \eta_{panna} * m_{tot} * (h_1 - h_4) = 1 / 0,90 * 85,5 * (3392 - 589,35) = 1 / 0,90 * 239627 = 266252\text{kW} = 266,3\text{MW}$$

$$\eta_{tot} = (P_{el} + Q_{process}) / Q_{bränsle} = (41,8 + 195,7) / 266,3 = \mathbf{0,89}$$

B2. En värmebehandlingsugn, för att reducera spänningar i metalliska konstruktioner, har formen av en rektangulär låda med längden 2,0 m, bredden 1,5 m och höjden 1,0 m. Ugnsväggarna, som är elektriskt uppvärmda, är av tegel och håller normalt en temperatur av 1000°C. Vid det aktuella tillfället placeras en stålcylinder med diametern 300 mm och längden 1,0 m fritt upphängd i ugnen. Yttemperaturen hos stålcylindern är vid en viss tidpunkt av värmebehandlingen 50°C. Hur stor eleffekt måste tillföras vid denna tidpunkt för att ugnsväggarna skall förbli vid 1000°C? Stålets emissivitet kan sättas till 0,78.



**Sökt:** Tillsatt eleffekt för att hålla ugnsväggarna vid 1000°C

**Lösningförslag:**

Betrakta systemet som strålning mellan två ytor, där:

Yta 1 = cylindern

Yta 2 = ugnen

**Cylindern**

Längd = 1,0 m

Diameter = 0,30 m

$$\rightarrow A_1 = 0,30 \cdot \pi \cdot 1,0 + 2 \cdot \pi \cdot (0,30/2)^2 = 1,084 \text{ m}^2$$

$$T_1 = 50 + 273,15 = 323,15 \text{ K}$$

$$\epsilon_1 = 0,78$$

$$\rightarrow \rho_1 = 0,22$$

**Ugnen**

Längd = 2,0 m

Bredd = 1,5 m

Höjd = 1,0 m

$$\rightarrow A_2 = 2 \cdot (2,0 \cdot 1,0 + 1,5 \cdot 1,0 + 2,0 \cdot 1,5) = 13 \text{ m}^2$$

$$T_2 = 1000 + 273,15 = 1273,15 \text{ K}$$

För tegel i ugnsväggarna gäller

$$\varepsilon_1 = 0,93 \quad (\text{WWW sid. 393, eller D\&D sid. 19}) \\ \rightarrow \rho_1 = 0,07$$

För given temperatur gäller ekv 23-38 i WWW

$$J_i \left( 1 - F_{ii} + \frac{\varepsilon_i}{\rho_i} \right) - \sum_{\substack{j=1 \\ j \neq i}}^n F_{ij} \cdot J_j = \frac{\varepsilon_i}{\rho_i} \cdot E_{bi}$$

$$\begin{bmatrix} 1 - F_{11} + \frac{\varepsilon_1}{\rho_1} & -F_{12} \\ -F_{21} & 1 - F_{22} + \frac{\varepsilon_2}{\rho_2} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} J_1 \\ J_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{\varepsilon_1}{\rho_1} \cdot E_{b1} \\ \frac{\varepsilon_2}{\rho_2} \cdot E_{b2} \end{bmatrix}$$

$$E_{bi} = \sigma \cdot T_i^4 \quad (\text{WWW ekv 23-12}) \text{ där } \sigma = 5,676 \cdot 10^{-8}$$

**Måste bestämma siktfaktorerna:**

Cylindern ser inte sig själv  $\Rightarrow F_{11} = 0$ ,  
 utan endast ugnen  $\rightarrow F_{12} = 1$

Ugnen ser både cylindern och sig själv

$$F_{21} \text{ fås m.h.a. reciprosambandet: } F_{21} = F_{12} \cdot A_1 / A_2 = 1 \cdot 1,084 / 13 = 0,08337 \\ \Rightarrow F_{22} = 1 - F_{21} = 0,91663$$

$$\begin{bmatrix} 1 + \frac{0,78}{0,22} & -1 \\ -0,08337 & 1 - 0,91663 + \frac{0,93}{0,07} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} J_1 \\ J_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{0,78}{0,22} \cdot \sigma \cdot (323,15)^4 \\ \frac{0,93}{0,07} \cdot \sigma \cdot (1273,15)^4 \end{bmatrix}$$

Löser ut [J]:

$$[J] = [A]^{-1} [B]$$

Kan lösa genom stegvis lösning av J eller med matrisinvertering.

$$\begin{bmatrix} J_1 \\ J_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 33100 \\ 148250 \end{bmatrix}$$

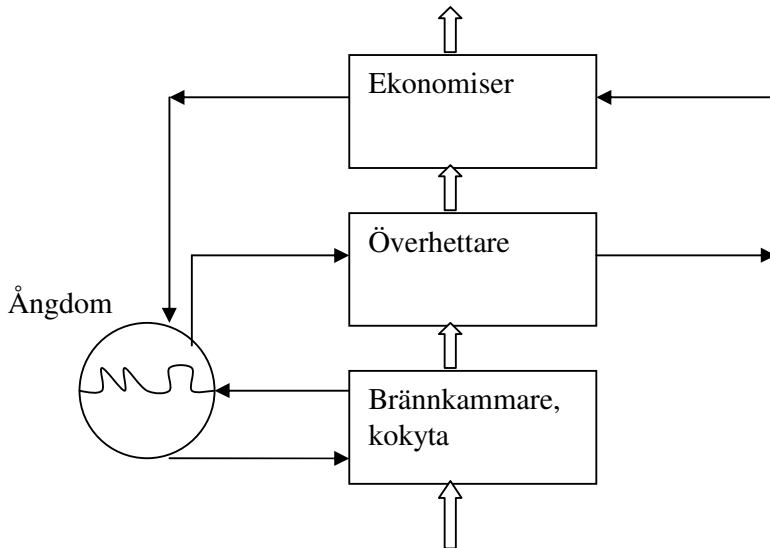
WWW 23-35:

$$q = A_2 \cdot (J_2 - F_{21} \cdot J_1 - F_{22} \cdot J_2) = 13 \cdot (148250 - 0,08337 \cdot 33100 - 0,91667 \cdot 148250) = 124,7 \text{ kW}$$

**Svar:** 125 kW eleffekt behöver tillsättas för att hålla ugnens väggar vid 1000°C

B3.

I en oljepanna produceras 100 t/h ånga av 60 bar, 450°C. Oljepannan är uppbyggd så att väggarna i eldstaden är klädda med kokartuber. Vattnet från ekonomisern till domen har en temperatur på 260°C. Hur stor bränsleeffekt tillförs pannan? Rökgaserna in till överhettaren har en temperatur på 950°C. Koldioxidhalten i rökgaserna är 13% (sett per torr mängd). Förbränningsluften har en temperatur på 40°C.



B3.

Givet:

Pånga = 60 bar  $(CO_2)_t = 13\%$   
tånga = 450°C  
tekant = 260°C  
tråkgången = 950°C  
luft = 40°C  
mängd = 100 t/h

Sökt:  $q_{bränsle}$ , bränsleeffekten

Lösning:

Balans över brännkammare/kokytan, in = ut

$$m_b \cdot l_v (h_i - h_{i,25^\circ}) + m_b \cdot H_i + m_{\text{vatten}} \cdot h_v = m_b \cdot g_v (h_g - h_{g,25^\circ}) + m_{\text{ånga}} \cdot h_i$$

$$l_v = m \cdot l_0 \quad \text{ekv. 3 i TFL}$$

$$m \approx \frac{(CO_2)_{ot}}{(CO_2)_t} \quad \text{ekv. 5b i TFL}$$

$$(CO_2)_{ot} = 15,7\% \quad \text{D\&D s.25} \Rightarrow m = 1,21$$

$$l_0 = 11,03 \text{ m}^3/\text{kg} \quad \text{" -} \Rightarrow l_v = 13,3 \text{ m}^3/\text{kg}$$

$$h_i = 50 \text{ kJ/m}^3 \quad \text{D\&D s.33}$$

$$h_{i,25^\circ} = h_{g,25^\circ} = 30 \text{ kJ/m}^3 \quad \text{D\&D s.33}$$

$$H_i = 41,6 \text{ MJ/kg} \quad \text{D\&D s.25}$$

$$g_v = g_0 + (m-1) l_0 \quad \text{ekv. 4 i TFL}$$

$$g_0 = 11,72 \text{ m}^3/\text{kg} \quad \text{D\&D s.25} \Rightarrow g_v = 14,0 \text{ m}^3/\text{kg}$$

$$h_g = 1420 \text{ kJ/m}^3 \quad \text{D\&D s.33}$$

Effekten som ska överses till vattentretsen vid kokytan motsvaras av entalpskillnaden över ångdomen gånger ångflödet

$$\Rightarrow h_a = h_{60\text{bar}} = 2784,36 \text{ kJ/kg} \quad h_v = h_{60\text{bar},260^\circ} = h_{260^\circ} + v_{260^\circ} \cdot (P - P')$$
$$= 1135 + 0,0012755 \cdot (60 - 46,941) \cdot 10^2 = 1136,7 \text{ kJ/kg} \quad \text{D\&D s.40,45}$$

$$\Rightarrow m_b = 2,04 \text{ kg/s} \Rightarrow q_{bränsle} = m_b \cdot H_i = 85,0 \text{ MW}$$

SVAR: 85 MW bränsle tillförs pannan.