

## **TENTAMEN I ENERGITEKNIK OCH MILJÖ (KVM034 och KVM033) 2013-01-17 14.00-18.00 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 (även ”Handouts”) i Energiteknik och miljö, 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.

Karin Pettersson (ankn. 8532) kommer ca kl. 14.30 att vara tillgänglig för frågor i skrivsalen. Ytterligare en gång ca kl 16.00.

Lösningar läggs ut på kurshemsidan 2013-01-18. Tentamensresultatet meddelas via LADOK senast 2013-02-07. Granskning av rättning får ske 2012-02-08 kl. 12.30-13.00 eller 2013-02-11 kl. 12.30-13.00 i rum 1219.

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

**AVDELNING A (OBS! 4 frågor)**

A1.

- a) Vilka 2 av följande bränslen släpper ut mest koldioxid per energienhet vid förbränning: biobränsle, eldningsolja, kol eller naturgas?
- b) När är värmeöverföringskoefficienten som högst respektive som lägst: vid överhettning av ånga, vid kondensation av ånga eller vid kylning av vätska?
- c) Vilka av följande benämningar kan avse samma sak: industriellt mottryck, kondenskraftverk, kraftvärme och mottrycksångkraft?
- d) Vad har högst temperatur: mättad vätska av 3 bar eller mättad ånga av 2 bar?
- e) Vad menas med att en vätska är underkyld?
- f) Vad menas med att en ånga är överhettad?

(3p)

A2.

- a) Den slutliga energitillförseln uppdelat på energibärare uppgick till 616 TWh år 2010, medan den slutliga energianvändningen under samma år uppgick till 411 TWh. Nämn de två viktigaste orsakerna till denna skillnad?
- b) Hur stor är Sveriges totala elproduktion och hur stor andel av den kommer från kärnkraft?
- c) Peka på de största skillnaderna mellan den svenska energitillförseln och den globala energitillförseln.
- d) Förklara vad elcertifikatsystemet är.

(4p)

A3.

Efter förbränningen återstår bland annat aska.

- a) Hur hanteras askan efter förbränning i industriella processer? Nämn minst 2 olika sätt. Vilket av dessa är det vanligaste sättet att hantera aska?
- b) Ange minst två faktorer som är viktiga att beakta när man ska återföra bio-aska till skogen.

(4p)

A4.

Konstruktionen av en plattvärmväxlare (som ska överföra en viss värmeeffekt från en ström till en annan) ändras så att flödes hastigheten (för både varm och kall sida) ökar.

a) Hur påverkar detta:

- Värmeöverföringskoefficienten (ökar/minskar)?
- Tryckfallet över värmväxlaren (ökar/minskar)?
- Inköpskostnaden för värmväxlaren (ökar/minskar, motivera!)?
- Inköpskostnaden för pumpen som behövs till värmväxlaren (ökar/minskar, motivera!)?
- Driftskostnaden för pumpen (ökar/minskar, motivera!)?

b) Hur beräknas den årliga kostnaden för värmväxlaren med tillhörande pump? Vilka parametrar kommer styra om förändringen av konstruktion blir till det sämre eller bättre ur kostnadssynpunkt?

(4p)

## AVDELNING B

B1.

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

Tryckförhållande	25
Isentropverkningsgrad (för både turbin och kompressor)	0,90
Högsta temperatur i cykeln	1288°C
Förbränningsverkningsgrad (antag frigjord bränsleenergi = tillfört värme till cykeln)	0,99
Mekanisk friktions- och generatorverkningsgrad	0,95
Avgasflöde	156,1 kg/s

En tillhörande avgaspanna skall producera mättad ånga av 20 bar ur kondensat av 100°C och ångtryck. Minsta temperaturdifferensen i avgaspannan är 10°C. Antag att avgaserna och luften kan hanteras som en ideal gas med  $\kappa = 1,40$  och  $c_p = 1,0 \text{ kJ/(kg}^\circ\text{C)}$ . Antag vidare att flödet är konstant genom gasturbinen.

Beräkna:

- Elproduktion (MW)
- Ångproduktion (kg/s)
- Elverkningsgrad
- Totalverkningsgrad
- $\alpha$ -värde

(5p)

B2.

En tubvärmeväxlare med 100 vertikala tuber skall fungera som kondensor. På utsidan av tuberna kondenserar vattenånga av 0,2 MPa och på insidan värms 36,0 kg/s (totalt) vatten av 80,0°C högst 10 K. Hur stor kapacitet i kW har kondensorn?

Tubdata: Längd: 1,8 m

Diameter: 20/25 mm

Material: Kolstål

Ämnesdata för vattnet kan tas vid 80,0°C.

(5p)

B3.

I anslutning till en naturgaseldad panna funderar man på att installera en anläggning för koldioxidavskiljning. För att underlätta avskiljningen av koldioxid från rökgaserna funderar man på att börja använda ren syrgas till förbränningen istället för luft.

a) Hur mycket förändras koldioxidhalten i rökgaserna vid förbränningen (naturgas kan approximeras som metan), om förbränningen sker med ren syrgas istället för luft? Antag att det i båda fallen tillsätts ett överskott på 20% syre jämfört med vad som behövs vid stökiometrisk förbränning.

b) Hur förändras de årliga globala koldioxidutsläppen om anläggningen för koldioxidavskiljning installeras och förbränningen börjar ske med ren syrgas istället för luft? Pannan producerar högtrycksånga till en kondensurbin och den årliga elproduktionen innan ombyggnaden uppgick till 2000 GWh. Anläggningens elverkningsgrad var 42%. 89% av koldioxiden i rökgaserna avskiljs, komprimeras och skickas till lagring. Komprimeringen kräver 0,13 kWh el/kg avskild CO<sub>2</sub>. Det krävs även ånga för att regenerera absorbenten i vilken koldioxiden absorberas. Därför byggs turbinen om till att innehålla en avtappning för ånga, varvid anläggningens elverkningsgrad minskar med 5%-enheter. För att tillverka syrgas används en luftseparationsenhet som kräver el. Den använder 0,19 kWh el/kg producerad syrgas. Anläggningen levererar el till elnätet. Vid minskad leverans från anläggningen ökar produktionen i ett koleldat kondenskraftverk med en elverkningsgrad på 42%.

(5p)

**Lycka till!**

B1.

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

Tryckförhållande	25
Isentropverkningsgrad (för både turbin och kompressor)	0,90
Högsta temperatur i cykeln	1288°C
Förbränningsverkningsgrad (antag frigjord bränsleenergi = tillfört värme till cykeln)	0,99
Mekanisk friktions- och generatorverkningsgrad	0,95
Avgasflöde	156,1 kg/s

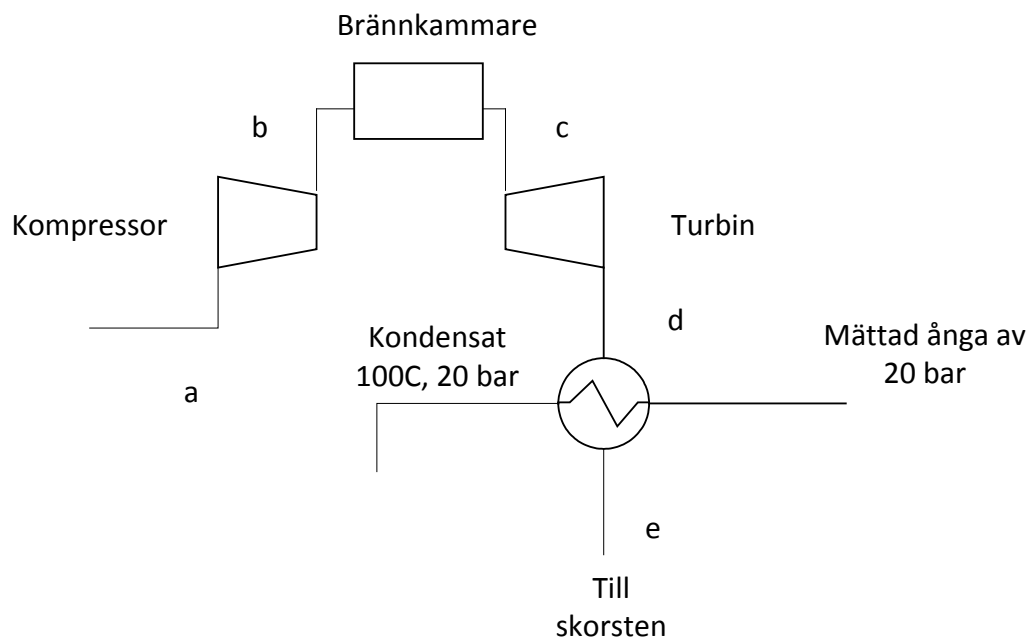
En tillhörande avgaspanna skall producera mättad ånga av 20 bar ur kondensat av 100°C och ångtryck. Minsta temperaturdifferensen i avgaspannan är 10°C. Antag att avgaserna och luften kan hanteras som en ideal gas med  $\kappa = 1,40$  och  $c_p = 1,0$  kJ/(kg°C). Antag vidare att flödet är konstant genom gasturbinen.

Beräkna:

- Elproduktion (MW)
- Ångproduktion (kg/s)
- Elverkningsgrad
- Totalverkningsgrad
- $\alpha$ -värde

(5p)

**Lösning:**



Givet:

$$t_a = 15^\circ\text{C}, T_a = 288,15 \text{ K}$$

$$p_b/p_a = p_c/p_d = 25$$

$$\eta_k = 0,90$$

$$\eta_T = 0,90$$

$$t_c = 1288^\circ\text{C} \text{ (högsta temperaturen i cykeln)}, T_c = 1561,15 \text{ K}$$

$$\eta_f = 0,99$$

$$n_{m+g} = 0,95$$

$$c_p = 1,1 \text{ kJ}/(\text{kg}^\circ\text{C})$$

$$\kappa = 1,4$$

$$m_{\text{avgas}} = 156,1 \text{ kg/s}$$

$$p_{\text{ånga}} = 20 \text{ bar}$$

$$t_{\text{kond}} = 100^\circ\text{C}$$

$$\Delta t_{\text{min,avgaspanna}} = 10^\circ\text{C}$$

Gasturbinen:

För kompression gäller:

$$T_b = T_a + \frac{(T_{b,\text{is}} - T_a)}{\eta_k}$$

$$T_{b,\text{is}} = \frac{T_a}{\left(\frac{p_a}{p_b}\right)^{\frac{k-1}{k}}} = 722,8 \text{ K} \quad (\text{ideal gas, isentrop förlopp})$$

Vilket ger  $T_b = 771,1 \text{ K}$  eller  $t_b = 498,0^\circ\text{C}$

För expansion gäller:

$$T_d = T_c - \eta_t \cdot (T_c - T_{d,\text{is}})$$

$$T_{d,\text{is}} = \frac{T_c}{\left(\frac{p_c}{p_d}\right)^{\frac{k-1}{k}}} = 622,3 \text{ K}$$

Vilket ger  $T_d = 716,2 \text{ K}$  eller  $t_d = 443,1^\circ\text{C}$

Nu kan elproduktionen beräknas:

$$P_{\text{el}} = m_{\text{avgas}} \cdot c_p \cdot (t_c - t_d - (t_b - t_a)) \cdot n_{m+g} = 53,7 \text{ MW}$$

Bränslebehovet i gasturbinen beräknas genom en balans över brännkammaren (behövs senare för verkningsgradsberäkningarna):

$$q_{\text{bränsle}} = m_{\text{avgas}} \cdot c_p \cdot (t_c - t_b) / \eta_f = 124,6 \text{ MW}$$

### Avgaspannan:

Vi antar att minsta temperaturdifferensen i avgaspannan inträffar vid avgasernas utlopp från förångaren, dvs vid vattnets inlopp till förångaren. Temperaturen för vattnet respektive avgaserna är där:

$$t_{H_2O} = 212,37^\circ\text{C}, \text{ mättnadstemperaturen vid 20 bar (D\&D)}$$

$$t_{avgas} = 212,37 + \Delta t_{\min, avgaspanna} = 222,37^\circ\text{C}$$

Hur stor effekt som går åt till förångningen kan nu beräknas enligt:

$$q_{f\ddot{o}r\ddot{a}ngning} = m_{avgas} * c_p * (t_d - t_{avgas}) = 34,5 \text{ MW}$$

Ångproduktionen kan nu beräknas enligt:

$$m_{\ddot{a}nga} = q_{f\ddot{o}r\ddot{a}ngning} / (h''(20\text{bar}) - h'(20 \text{ bar}))$$

Insättning med:

$$h''(20\text{bar}) = 2798,96 \text{ kJ/kg}^\circ\text{C (D\&D)}$$

$$h'(20 \text{ bar}) = 908,6 \text{ kJ/kg}^\circ\text{C (D\&D)}$$

$$\text{ger } m_{\ddot{a}nga} = 18,2 \text{ kg/s}$$

Den totala effekten som överförs i ångpannan kan nu beräknas enligt:

$$q_{\text{tot}} = m_{\ddot{a}nga} * (h''(20\text{bar}) - h(20 \text{ bar}, 100^\circ\text{C}))$$

Insättning med:

$$h(20 \text{ bar}, 100^\circ\text{C}) = 419,11 + 0,0010435 * (20 - 1,01325) * 10^2 = 421,1 \text{ kJ/kg}^\circ\text{C entalpi}$$

för underkyld vätska (värden från D&D)

$$\text{ger } q_{\text{tot}} = 43,3 \text{ MW}$$

Kontroll av antagandet om minsta temperaturdifferensen:

$$t_e = t_d - q_{\text{tot}} / (m_{avgas} * c_p) = 165,5^\circ\text{C}, \text{ alltså mycket större än } 10^\circ\text{C temperaturdifferens}$$

vid avgasernas utlopp ur pannan.

### Verkningsgrader:

$$\text{Elverkningsgraden, } n_{el} = P_{el} / q_{br\ddot{a}nsle} = 0,431$$

$$\text{Totalverkningsgraden, } n_{\text{tot}} = (P_{el} + q_{\text{tot}}) / q_{br\ddot{a}nsle} = 0,779$$

$$\alpha\text{-värdet, } \alpha = P_{el} / q_{\text{tot}} = 1,24$$

Svar: Ångproduktionen är 18,2 kg/s, elproduktionen är 53,7 MW, elverkningsgraden är 0,431, totalverkningsgraden är 0,779 och  $\alpha$ -värdet är 1,24.

B2.

En tubvärmväxlare med 100 vertikala tuber skall fungera som kondensor. På utsidan av tuberna kondenserar vattenånga av 0,2 MPa och på insidan värms 36,0 kg/s (totalt) vatten av 80,0°C högst 10 K. Hur stor kapacitet i kW har kondensorn?

Tubdata: Längd: 1,8 m

Diameter: 20/25 mm

Material: Kolstål

Ämnesdata för vattnet kan tas vid 80,0°C.

(5p)

Givet:

Antal tuber:	$N = 100$
Kondensattryck:	$P_{kond} = 0.2 MPa = 2 bar$
Flöde på insidan:	$\dot{m}_i = 36,0 kg / s$
Inloppstemperatur vatten:	$T_{in,i} = 80^\circ C$
Max. temperaturlyft:	$\Delta T_{max} = 10^\circ C$
Tublängd:	$L = 1,8 m$
Inre tubdiameter:	$d_i = 20 mm = 0,02 m$
Yttre tubdiameter:	$d_o = 25 mm = 0,025 m$
Tubmaterial:	Kolstål

Tankegång:

- 1) Man antar en uttemperatur (därigenom antar man också effekten  $q = mc_p\Delta T$ )
- 2) Man kan nu beräkna massflödet på kondensatsidan.
- 3) Värmeövergångstal  $U$  beräknas med hjälp av  $h_i, k$  och  $h_o$  ( $h_i$  och  $k$  hela tiden konstant)
- 4) Effekten  $q = UA\Delta T_{in}$  kan nu beräknas och jämföra med gissningen.
- 5) Stämmer den överens med gissningen => OK, annars kan man använda den nya effekten för att få en ny temperaturgissning och göra om det hela.

Genom förenklingen att man ta all data för vattnet på insidan vid 80 °C är det faktiskt bara den yttre värmeöverförings-koefficient som förändras med utloppstemperaturen för vattnet eftersom massflödet av kondensat förändras.

$$U = \frac{1}{\frac{d_o}{d_i \cdot h_i} + \frac{d_o \ln(d_o/d_i)}{2k} + \frac{1}{h_o}}$$



### Värmeöverföring på insidan:

Data för vattnet vid 80°C: (D & D s.76)

$$c_p = 4193 \frac{J}{K \cdot kg} \quad \nu = 3,67 \cdot 10^{-7} \frac{m^2}{s}$$

$$\rho = 971,8 \frac{kg}{m^3} \quad k = 0,674 \frac{W}{m \cdot K}$$

$$\mu = 0,000357 Pas \quad Pr = 2,19$$

Volymflödet av vatten:

$$\dot{V}_i = \frac{\dot{m}_i}{\rho} = \frac{36,0 \frac{m^3}{s}}{971,8} = 0,037 \frac{m^3}{s}$$

Det ger hastigheten och Reynoldstalet:

$$v_i = \frac{\dot{V}_i}{A} = \frac{\dot{V}_i}{\frac{\pi d_i^2}{4}} = \frac{0,037}{\frac{\pi}{4} \cdot 0,02^2} \frac{m^3/s}{m^2} = 1,179 \frac{m}{s}$$

$$Re = \frac{v_i d}{\nu} = \frac{1,179 \cdot 0,02}{3,67 \cdot 10^{-7}} = 64260 \Rightarrow \text{turbulent}$$

WWW ekv (20-26):  $Re > 10^4$   $L/D = 1,8/0,02=90 > 60$   $Pr = 2.19$  OK !!!!

$$Nu_i = 0,023 \cdot Re^{0,8} \cdot Pr^{0,4}$$

$$Nu_i = 0,023 \cdot 64260^{0,8} \cdot 2,19^{0,4} = 222,5$$

$n = 0.4$  eftersom vattnet värms upp

$$h_i = \frac{Nu_i \cdot k}{d_i} = \frac{222,5 \cdot 0,647}{0,02} \frac{W}{m^2 K} = 7498,1 \frac{W}{m^2 K}$$

### Värmeledning genom tubväggen:

$$k_{kolstål} = 45 \text{ W/mK} \quad (\text{D\&D s.72})$$

### Värmeöverföring på utsidan:

För att kunna beräkna värmeöverföringskoefficienten på utsidan måste man känna till massflödet. Det får man ur energibalansen.

Man börjar med att gissa att kondensorn har den maximala effekten, dvs. vattnet värms upp med  $\Delta T_{\max} = 10^\circ C$ .

Energibalans:

$$q = \dot{m}_{kond} \cdot h_{fg} = \dot{m}_i \cdot c_p \cdot (T_{ut,i} - T_{in,i}) = \dot{m}_i \cdot c_p \cdot \Delta T_{\max}$$

$$h_{fg} (2bar) = 2201,89 kJ / kg \quad (\text{D \& D s.43})$$

$$\dot{m}_{kond} = \frac{\dot{m}_i \cdot c_p \cdot \Delta T_{\max}}{h_{fg}} = \frac{36,0 \cdot 4193 \cdot 10}{2201,89 \cdot 10^3} = 0,6856 kg / s$$

$$q = 36,0 \cdot 4193 \cdot 10 W = 1509,48 kW$$

Ämnesdata för kondensatet tas vid mättnadstillstånd:

$$T_{sat} (2 bar) = 120,23^\circ C$$

D & D s.76 (vid 120°C):

$$c_p = 4231 \frac{J}{K \cdot kg} \quad \nu = 2,45 \cdot 10^{-7} \frac{m^2}{s}$$

$$\rho = 943,5 \frac{kg}{m^3} \quad k = 0,685 \frac{W}{m \cdot K}$$

$$\mu = 0,000232 Pa \cdot s \quad Pr = 1,46$$

Massflöde per tub:

$$\dot{m}_{tub} = \frac{\dot{m}_{kond}}{N} = \frac{0,6856 \text{ kg}}{100} \frac{kg}{s \text{ tub}} = 0,0006856 \frac{kg}{s \text{ tub}}$$

Reynoldstal:

$$Re = \frac{4 \cdot \dot{m}_{tub}}{\pi d_o \mu} = \frac{4 \cdot 0,0006856}{\pi \cdot 0,025 \cdot 0,000232} = 1505,15 < 2000 \Rightarrow \text{laminär} \Rightarrow \text{WWW ekv (21-22)}$$

$$h_o = 1,51 \cdot \left( \frac{k^3 \rho^2 g}{\mu^2} \right)^{1/3} Re^{-1/3} = 1,51 \cdot \left( \frac{0,685^3 943,5^2 9,81}{0,000232^2} \right)^{1/3} 1505,15^{-1/3} = 4922,66 \frac{W}{m^2 K}$$

Nu har man all data för att kunna räkna ut U-värdet och för att kolla om kondensorn verkligen kan överföra den nödvändiga effekten för den antagna temperaturökningen.

$$U = \frac{1}{\frac{d_o}{d_i \cdot h_i} + \frac{d_o \ln(d_o/d_i)}{2k} + \frac{1}{h_o}} = \frac{1}{\frac{0,025}{0,02 \cdot 7498,1} + \frac{0,025 \ln(0,025/0,02)}{2 \cdot 45} + \frac{1}{4922,66}} = 2315,7 \frac{W}{m^2 K}$$

$$\Delta T_{\ln} = \frac{(T_{sat} - T_{in,i}) - (T_{sat} - T_{ut,i})}{\ln\left(\frac{T_{sat} - T_{in,i}}{T_{sat} - T_{ut,i}}\right)} = \frac{(120,23 - 80) - (120,23 - 90)}{\ln\left(\frac{120,23 - 80}{120,23 - 90}\right)} K = 34,97 K$$

$$A = \pi \cdot d_o \cdot L \cdot N = \pi \cdot 0,025 \cdot 1,8 \cdot 100 m^2 = 14,137 m^2$$

$$q = U \cdot A \cdot \Delta T_{\ln} = 2315,7 \cdot 14,137 \cdot 34,97 W = 1144,94 kW$$

Då ser man att effekten faktiskt är mindre än effekten som behövs för den antagna temperaturökningen av 10°C ( $q = 1509,48 kW$ ).

Man måste alltså räkna om det hela. För den nya gissningen av uttemperaturen tar man den effekten man fick från den första iterationen.

$$T_{ut,ny} = \frac{q}{\dot{m} \cdot c_p} + T_{in} = \frac{1144,94 \cdot 10^3}{36,0 \cdot 4193} °C + 80 °C = 87,6 °C$$

Nu kan man räkna ut en ny  $h_o$  ( $h_i$  och  $k$  är konstant). Det ger ett nytt U-värde som igen ger en effekt som man kan jämföra med den antagna temperaturen (effekten).

Med den nya temperaturen för man följande resultat:

$$\dot{m}_{kond} = 0,52 \text{ kg} / \text{s}$$

$$\text{Re}_o = 1141,66$$

$$h_o = 5397,77 \text{ W} / \text{m}^2 \text{ K}$$

$$U = 2415,72 \text{ W} / \text{m}^2 \text{ K}$$

$$\Delta T_{ln} = 36,29 \text{ K}$$

$$q = 1239,25 \text{ kW} \quad T_{ut,ny} = 88,2^\circ \text{ C}$$

Då ser man att temperaturgissningen var för låg den här gången och effekten blir faktiskt större. Så man gör om det en sista gång och får då:

$$\dot{m}_{kond} = 0,56 \text{ kg} / \text{s}$$

$$\text{Re}_o = 12357$$

$$h_o = 5257,21 \text{ W} / \text{m}^2 \text{ K}$$

$$U = 2387,16 \text{ W} / \text{m}^2 \text{ K}$$

$$\Delta T_{ln} = 35,95 \text{ K}$$

$$q = 1213,25 \text{ kW} \quad T_{ut,ny} = 88,04^\circ \text{ C}$$

Här nöjer vi oss! Det är ungefär lika med den antagna effekten.  
Efter även fler iterationer skulle man få:

$$T_{ut} = \mathbf{88,07^\circ \text{ C}} \text{ och } q = \mathbf{1218,78 \text{ kW}}.$$

B3.

I anslutning till en naturgaseldad panna funderar man på att installera en anläggning för koldioxidavskiljning. För att underlätta avskiljningen av koldioxid från rökgaserna funderar man på att börja använda ren syrgas till förbränningen istället för luft.

a) Hur mycket förändras koldioxidhalten i rökgaserna vid förbränningen (naturgas kan approximeras som metan), om förbränningen sker med ren syrgas istället för luft? Antag att det i båda fallen tillsätts ett överskott på 20% syre jämfört med vad som behövs vid stökiometrisk förbränning.

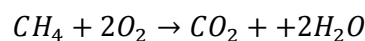
b) Hur förändras de årliga globala koldioxidutsläppen om anläggningen för koldioxidavskiljning installeras och förbränningen börjar ske med ren syrgas istället för luft? Pannan producerar högtrycksånga till en kondensturbin och den årliga elproduktionen innan ombyggnaden uppgick till 2000 GWh. Anläggningens elverkningsgrad var 42%. 89% av koldioxiden i rökgaserna avskiljs, komprimeras och skickas till lagring. Komprimeringen kräver 0,13 kWh el/kg avskild CO<sub>2</sub>. Det krävs även ånga för att regenerera absorbenten i vilken koldioxiden absorberas. Därför byggs turbinen om till att innehålla en avtappning för ånga, varvid anläggningens elverkningsgrad minskar med 5%-enheter. För att tillverka syrgas används en luftseparationsenhet som kräver el. Den använder 0,19 kWh el/kg producerad syrgas. Anläggningen levererar el till elnätet. Vid minskad leverans från anläggningen ökar produktionen i ett koleldat kondenskraftverk med en elverkningsgrad på 42%.

(5p)

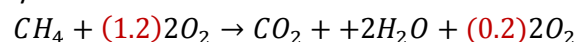
Lösning:

a)

Vid stökiometrisk förbränning av metan med ren syrgas får man:

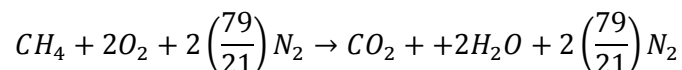


Med ett överskott på 20% syre får man:

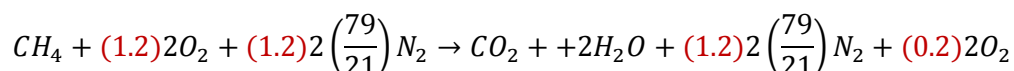


Därmed blir koldioxidhalten i rökgaserna:  $\frac{1}{1+2+(0.2*2)} = 0.29$

Om luft innehåller 21 vol-% O<sub>2</sub> och 79 vol-% N<sub>2</sub> (D&D s. 21) (volymen proportionell mot mol för gaser) blir stökiometrisk förbränning av metan med luft:



Med ett överskott på 20% luft får man:



Därmed blir koldioxidhalten i rökgaserna:  $\frac{1}{1+2+(1.2*2*\frac{79}{21})+(0.2*2)} = 0.08$

b)

Enligt uppgiften producerades 2000  $MWh_{el}/\text{år}$  i anläggningen innan bytet. Med  $\eta_{el} = 0.42$  har man en bränsleanvändning av  $\frac{2000000 MWh_{el}/\text{år}}{0.42} = 4761905 MWh_{naturgas}/\text{år}$ . Med en ny  $\eta_{el} = 0.37$  och samma bränsleanvändning blir elproduktionen efter bytet:  $4761905 \frac{MWh_{naturgas}}{\text{år}} * 0.37 = 1761905 MWh_{el}/\text{år}$ .

Dessutom finns det en elanvändning för komprimering av koldioxiden samt för syrgastillverkningen:

- Komprimering av koldioxiden:

Det krävs  $0.13 kWh_{el}/kg_{fångad CO_2}$ . Vi behöver veta hur många kg  $CO_2$  man fångar. Enligt kompendiet (kap. 6) produceras  $203 kg_{CO_2}/MWh_{naturgas}$ . Eftersom man avskiljer 89% av koldioxiden i rökgaserna blir den totala massflödet av avskild koldioxid:

$$4761905 \frac{MWh_{naturgas}}{\text{år}} \left( \frac{203 kg_{CO_2}}{MWh_{naturgas}} \right) (0.89) = 860333333 \frac{kg_{CO_2}}{\text{år}}$$

Vilket alltså motsvarar minskningen av koldioxidutsläpp från anläggningen.

För att göra den separationen behövs dock:

$$\left( \frac{0.13 MWh_{el}}{1000 kg_{CO_2}} \right) \left( 860333333 \frac{kg_{CO_2}}{\text{år}} \right) = 111843 \frac{MWh_{el}}{\text{år}}$$

- Syrgastillverkning:

Enligt uppgiften behövs  $0.19 kWh_{el}/kg_{O_2}$ . Vi behöver därför veta hur många kg av  $O_2$  man använder vid förbränningen. Man kan alltid använda molmassan för att kovertera från mol till kg och tvärtom. Från reaktionsstökiometrin får man alltså hur många mol av  $O_2$  som används för varje mol av metan ( $1.2 * 2$ ). Man måste dock först veta hur många mol metan finns i  $4761905 \frac{MWh_{naturgas}}{\text{år}}$ .

Från D&D s.26 får man det effektiva värmeverdet för metan:  $50 MJ/kg = 0.0139 MWh/kg$ . Därmed:

$$4761905 \frac{MWh_{naturgas}}{\text{år}} \left( \frac{kg_{metan}}{0.0139 MWh_{metan}} \right) \left( \frac{mol_{metan}}{16.042 kg_{metan}} \right) \left( \frac{1.2 * 2 mol_{O_2}}{mol_{metan}} \right) \left( \frac{32 kg_{O_2}}{mol_{O_2}} \right) = 1641405596 kg_{O_2}/\text{år}$$

Elanvändning blir då:  $1641405596 \frac{kg_{O_2}}{\text{år}} * \frac{0.19 MWh_{el}}{1000 kg_{O_2}} = 311867 \frac{MWh_{el}}{\text{år}}$ .

Nettoelproduktionen i anläggningen efter bytet blir:

$$1761905 - 111843 - 311867 = 1338194 \frac{MWh_{el}}{\text{år}}$$

Minskningen av elproduktionen jämför med innan bytet:

$$2000000 - 1338194 = 661806 MWh_{el}/\text{år}$$

Vilket måste produceras i ett kolkraftverk med  $\eta_{el} = 0.42$ . Från kompendiet (kap. 6) läser man att förbränning av kol ger  $327 \frac{kg_{CO_2}}{MWh_{kol}}$ . Koldioxidutsläpp från elproduktionen blir:

$$661806 \frac{MWh_{el}}{\text{år}} * \frac{MWh_{kol}}{0.42 MWh_{el}} * 327 \frac{kg_{CO_2}}{MWh_{kol}} = 515262958 \frac{kg_{CO_2}}{\text{år}}$$

Konsekvenserna för de årliga globala koldioxidutsläppen efter bytet beror dels på minskningen i koldioxidutsläpp från anläggningen (avskiljningen) och dels på ökningen av utsläpp vid kolkraftverket.

$$\text{Nettominskningen blir: } 860333333 - 515262958 = 345070375 \frac{kg_{CO_2}}{\text{år}} = 345 \frac{kton_{CO_2}}{\text{år}}$$