

**TENTAMEN I ENERGITEKNIK K för K3 och KF3,
1995-12-19 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 96-01-08.

Granskning av rättning får ske onsdag 96-01-10 kl 09.00-10.00 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. SO_2 -emissionerna har minskat kraftigt i Sverige de senaste 15 åren. Vad beror detta på? Vilka utsläppskällor dominerar idag? (1 p)

Vid utnyttjande av bränslen med naturligt höga svavelhalter kan svavelrening sättas in i, maximalt, tre olika led. I vilka led kan detta ske? (1 p)

Välj ett sådant bränsle och beskriv kortfattat en reningsåtgärd i varje led! Åtgärden kan vidtas isolerad eller i kombination med åtgärder i andra led. (3 p)

(5 p)

A 2. a) Förklara varför elverkningsgraden för en ångkraftprocess är bättre/sämre (ange vilket som gäller) än en enkel gasturbin vid ren kraftsproduktion men att det är tvärtom vid kraftvärmedrift! (2 p)

b) För en gasturbin kan totalverkningsgraden under vissa förutsättningar förbättras med hjälp av tillsatsvärmning. Förklara **noggrant** varför (gärna med hjälp av ett diagram och förklaringar), definiera begreppet totalverkningsgrad och ange, med förklaring, hur möjlig elproduktion vid givet värmebehov påverkas av tillsatsvärmning! (3 p)

(5 p)

A 3. (Ej Kf -92) Kompressorer har stor användning även inom processtekniken. Sådana kan t.ex. användas vid s k mekanisk ångkompression hos en destillationskolonn. Diskutera ett fall där toppången från kolonnen skall komprimeras från 0,1 till 0,4 MPa:

a) Hur många kompressorsteg bör det vara i en radiell respektive en axiell turbomaskin? (1 p)

b) Ange olika tänkbara typer av displacementmaskiner för det här fallet. Motivera! Visa med hjälp av en enkel skiss hur de fungerar! (2 p)

c) Vad avgör valet, i det här fallet, mellan olika maskiner (radiella och axiella turbomaskiner, olika tänkbara displacementmaskiner)? (2 p)

(5 p)

AVDELNING B

B 1. Etanol från en destillationskolonn skall kylas i en värmeväxlare före lagring i en tank. Från en destillattank, som är så högt belägen att vätskeytan är 12 m över marken, skall etanolen rinna med självtryck genom en lång ledning via värmeväxlaren till lagringstanken, i vilken vätskeytan är 3 m över marken. I båda tankarna råder atmosfärstryck. Etanolen skall kylas från 75°C till 25°C i värmeväxlaren, som är belägen på marken. I destillattanken är temperaturen 77°C. Kan 0,5 kg/s transporteras i denna ledning. Motivera!

För ledningen gäller:

Längd före värmeväxlaren	20 m
Längd efter värmeväxlaren	30 m
Diameter (invändig)	30 mm
Antal 90°-krökar (R/d=3)	6
Antal ventiler (tallrikstyp, rak)	2
In- och utlopp i tankar är skarpkantade	
Materialet är rostfritt stål.	

För värmeväxlaren gäller:

Tubtyp med etanolen på mantelsidan	
Tublängd/ytterdiameter	2 m/10 mm
Tubdelning (sicksack-ställning)	13 mm
Tubantal	37
Maximalt antal tuber i en rad	7
Antal tubrader	7
Baffelavstånd	100 mm
Försumma tryckförluster i röranslutningarna till manteln!	

Försumma densitetens temperaturberoende!

(5 p)

B 2. Morbror Björn har byggt en provisorisk dusch på landet. Som varmvattenberedare fungerar en 100 cm hög cylindrisk behållare med 50 cm bottendiameter. Behållaren är placerad på vinden i ett uthus och den står på golvet på en isolerskiva. Under dagen värms vindsutrymmet upp av solen och den omgivande luften. Trots detta är vattnet på kvällen fortfarande litet för kallt för att vara riktigt behagligt, så när det börjar bli dags att duscha värmer Björn vattnet ytterligare några grader med hjälp av en elpatron, vars effekt är 600 W. När elpatronen kopplas på har vattnet i den helt fyllda behållaren en temperatur på 28 °C. Hur länge måste Björn vänta för att få en angenäm duschtemperatur på 32 °C?

Behållaren är svartlackerad och oisolerad men försedd med ett lock i samma material som resten av behållaren. Under den tid som elpatronen är påkopplad är den omgivande luftens temperatur 20 °C. På kvällen kan det förmodas att vindens väggar, tak och golv också håller en temperatur av 20 °C. Antag att beräkningen av värmeförlusterna kan göras vid en medeltemperatur och att utsidan av tanken har samma temperatur som vattnet.

(5 p)

B 3. Vid förbränning av ett stenkol uppmättes torra CO_2 -halten till 13,5 % i avgaserna. Hur stort var luftöverskottet? Bränslets sammansättning (vikt-%) är

Fukt	18,0 %
"Aska"	10,3 %
C	46,0 %
S	0,7 %
H	4,6 %
N	1,0 %
O	19,4 %

Halten av NO_x i avgaserna är försumbar.

(5 p)

B 4. (Endast Kf -92) I en kylmaskin med R22 som köldmedium och en kyleffekt av 8 kW är insatt en värmeväxlare för underkylning med 6K av det mättade kondensatet från kondensorn. Det sker med hjälp av den mättade ångan från förångaren som överhettad tillföres kompressorn. Kompressorn är av kolvtyp med en cylinder. Hur stor cylindervolym erfordras om kompressorn arbetar reversibelt med 200 varv/min och har ett skadligt rum uppgående till 5 % av cylindervolymen?

Förångnings- och kondenseringstemperaturen är $-10\text{ }^\circ\text{C}$ respektive $30\text{ }^\circ\text{C}$. Antag att den överhettade ångan kan approximeras till en ideal gas med $\kappa = 1,18$.

(5 p)

Lycka till!

B 1. Etanol från en destillationskolonn skall kylas i en värmeväxlare före lagring i en tank. Från en destillattank, som är så högt belägen att vätskeytan är 12 m över marken, skall etanolen rinna med självtryck genom en lång ledning via värmeväxlaren till lagringstanken, i vilken vätskeytan är 3 m över marken. I båda tankarna råder atmosfärstryck. Etanolen skall kylas från 75°C till 25°C i värmeväxlaren, som är belägen på marken. I destillattanken är temperaturen 77°C. Kan 0,5 kg/s transporteras i denna ledning. Motivera!

För ledningen gäller:

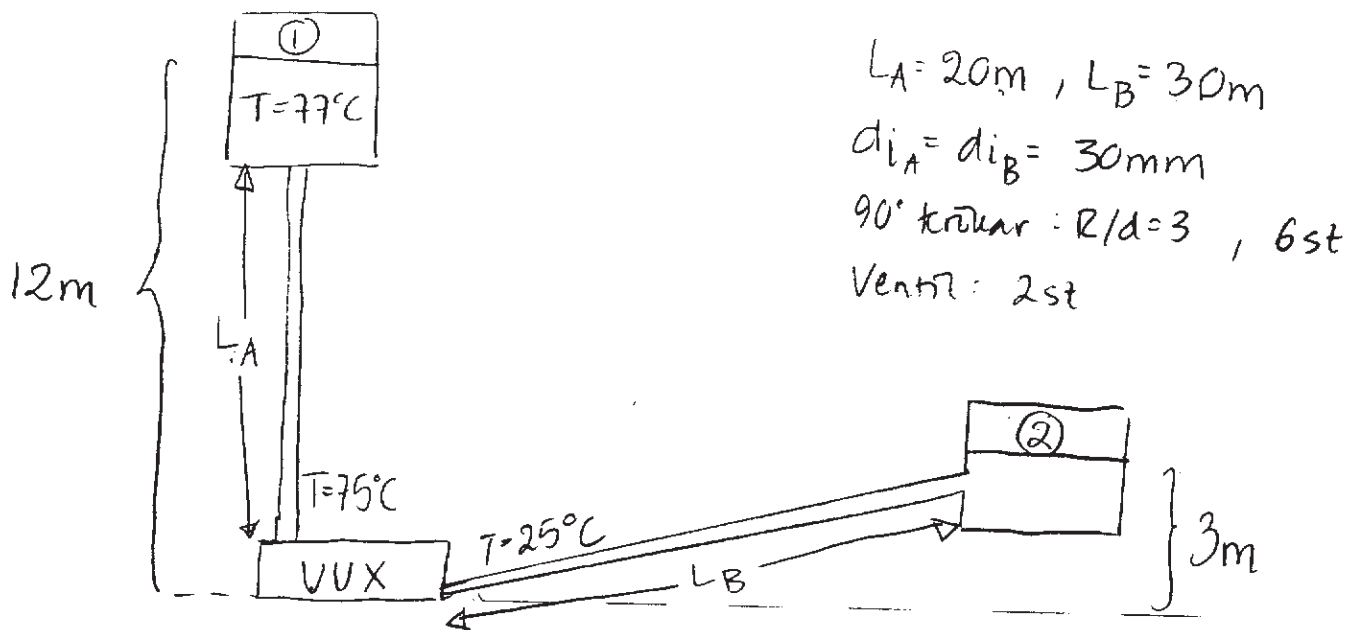
Längd före värmeväxlaren	20 m
Längd efter värmeväxlaren	30 m
Diameter (invändig)	30 mm
Antal 90°-krökar ($R/d=3$)	6
Antal ventiler (tallrikstyp, rak)	2
In- och utlopp i tankar är skarpkantade	
Materialet är rostfritt stål.	

För värmeväxlaren gäller:

Tubtyp med etanolen på mantelsidan	
Tublängd/ytterdiameter	2 m/10 mm
Tubdelning (sicksack-ställning)	13 mm
Tubantal	37
Maximalt antal tuber i en rad	7
Antal tubrader	7
Baffelavstånd	100 mm
Försumma tryckförluster i röranslutningarna till manteln!	

Försumma densitetens temperaturberoende!

(5 p)



VUX: $L_{\text{tub}} = 2\text{m}$, $d_y = 10\text{mm}$
 $L_{\text{tp}} = 13\text{mm}$ (sicksack), $L_{\text{bc}} = 100\text{mm}$
 $n = 37$ (antal tuber)
 $M = 7$, $N = 7$

Säkt: Kan 0,5 kg etanol/s transporteras

Lösning

Bernoullis ekv: $p_1 + \frac{w_1^2}{2} + \rho g h_1 = p_2 + \rho \frac{w_2^2}{2} + \rho g h_2 + \Delta P_{f_{\text{tot}}}$

$$\left. \begin{array}{l} p_1 = p_2 = p_{\text{atm}} \\ w_1 = w_2 = 0 \end{array} \right\} \Rightarrow \Delta P_{f_{\text{tot}}} = \rho g (h_1 - h_2)$$

För att 0,5 kg/s ska kunna transporteras måste

$$\Delta P_{f_{\text{tot}}} < \rho g (h_1 - h_2)$$

$$\rho (\text{etanol}) = (\text{TED s12}) = 791 \text{ kg/m}^3$$

$$\Rightarrow \underline{\underline{\rho g (h_1 - h_2) = 791 \cdot 9,81 (12 - 3) = 0,6984 \text{ bar}}}$$

$$\Delta P_{f_{tot}} = \Delta P_{f_A} + \Delta P_{f_{vux}} + \Delta P_{f_B}$$

B7: 2(4)

$$\omega_A = \omega_B$$

$$\rho_A = \rho_B \quad (\text{försummar densitetens temp. beroende})$$

$$\begin{aligned} \Delta P_{f_A} + \Delta P_{f_B} &= \rho \omega^2 \left(f_{1A} \frac{L_A}{d_i} + f_{1B} \frac{L_B}{d_i} \right) + \\ &+ \rho \frac{\omega^2}{2} \left(6 \xi_{krök} + 2 \xi_{vinkl} + \xi_{in} + \xi_{ut} \right) \end{aligned} \quad (1)$$

$$\omega = \frac{\dot{m}}{\rho A} = \frac{0,5}{791 \cdot \frac{\pi \cdot 0,03^2}{4}} = 0,89425 \text{ m/s}$$

$$f_1 = f \left(Re, \frac{y_s}{d} \right)$$

$$\text{Rostfri stål} \Rightarrow y_s = 0,05 \quad (\text{s. 317})$$

$$y_s/d = 0,05/30 = 1,667 \cdot 10^{-3}$$

$$Re = \frac{\omega d}{\nu}$$

$$\begin{aligned} \nu_A &= \nu(75^\circ\text{C}) = \mu(75^\circ\text{C})/\rho = \{T\&D581\} = \\ &= 515 \cdot 10^{-6} / 791 = 6,51 \cdot 10^{-7} \text{ Pas} \end{aligned}$$

$$\nu_B = \nu(25^\circ\text{C}) = 1103 \cdot 10^{-6} / 791 = 1,394 \cdot 10^{-6} \text{ Pas}$$

$$Re_A = 41240, \quad Re_B = 19245$$

$$\begin{aligned} \text{Fig 10.33} \Rightarrow f_{1A} &= 0,013 \\ f_{1B} &= 0,015 \end{aligned}$$

Engångsmotstånd:

B7: 3(4)

skarptkantat in och ut: $\xi_{in} = 0,5$ (fig. 10.38)

$\xi_{ut} = 1,0$ (fig. 10.36)

rak taunusventil: $\xi \approx 2-7$ (s. 321) jag väljer $\xi_{ventil} = 4,5$

90° rörkrök $L/d=3$ $\xi_{krök} = 0,13$ (s. 320)

$$\begin{aligned} (1) \Rightarrow \underline{\Delta P_{fA}} + \underline{\Delta P_{fB}} &= 791 \cdot 0,89425^2 \left(0,013 \frac{20}{0,03} + 0,015 \frac{30}{0,03} \right) + \\ &+ 791 \cdot \frac{0,89425^2}{2} (6 \cdot 0,13 + 2 \cdot 4,5 + 0,5 + 1) = \\ &= 14970,3 + 3567,6 = \underline{0,1854 \text{ bar}} \end{aligned}$$

• ΔP_f i vux från ur sårtryck (11.68)

$$\Delta P_f = f \cdot N \cdot \frac{2}{8} \left(\frac{m}{A_g} \right)^2 \underbrace{\left(\frac{\mu_w}{\mu_b} \right)^{0,14}}_{=1} \quad (2)$$

Räknar på en baffelsektion \Rightarrow

$$\Delta P_{f_{vux}} = \Delta P_f \cdot (\text{antal baffelsektioner}) \quad (3)$$

$$\text{antal baffelsektioner} = \frac{L_{tub}}{L_{bc}} = \frac{2}{0,1} = 20$$

$$f = f(Re, \frac{L_{tp}}{D_t})$$

$$Re = \frac{D_t}{\mu_b} \frac{m}{A_g} \quad (11.70)$$

$$A_g = (M+1) L_{ti} (L_{tp} - D_t)$$

där $L_{ti} = L_{bc}$ om bafflat

$$A_g = (7+1) \cdot 0,1 (0,013 - 0,01) = 2,4 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2$$

$$\mu_b = \mu(T_{\text{bulk}})$$

$$\text{Använd } T_{\text{medel}} = \frac{T_b + 25}{2} = 50^\circ\text{C}$$

$$\mu(50^\circ\text{C}) = (780,581) = 700 \cdot 10^{-6} \text{ Pas}$$

$$Re = \frac{0,01 \cdot 0,5}{700 \cdot 10^{-6} \cdot 2,4 \cdot 10^{-3}} = 2976$$

$$\frac{L_{tp}}{D_t} = \frac{13}{10} = 1,3$$

$$\text{fig. 5} \Rightarrow f = 0,135$$

$$(2 \text{ \& } (3)) \Rightarrow \underline{\Delta P_{f_{\text{vux}}}} = 20 \cdot 0,135 \cdot 7 \cdot \frac{2}{791} \left(\frac{0,5}{2,4 \cdot 10^{-3}} \right)^2 \cdot 1 =$$

$$\underline{= 0,021 \text{ bar}}$$

$$\Delta P_{f_{\text{tot}}} = 0,1854 + 0,021 = 0,206 \text{ bar.}$$

$$\Rightarrow \Delta P_{f_{\text{tot}}} < \rho g (h_1 - h_2)$$

Svar: Ja \checkmark

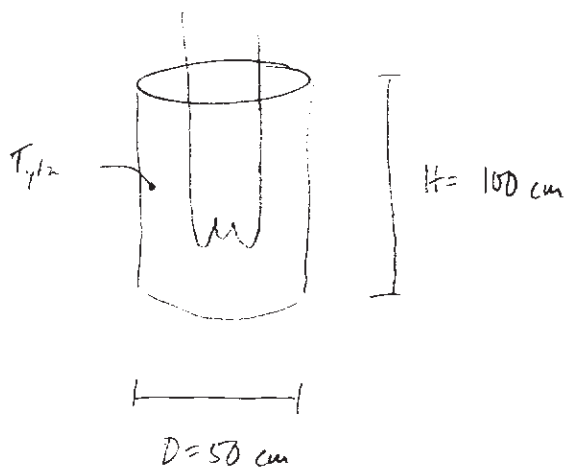
B 2. Morbror Björn har byggt en provisorisk dusch på landet. Som varmvattenberedare fungerar en 100 cm hög cylindrisk behållare med 50 cm bottendiameter. Behållaren är placerad på vinden i ett uthus och den står på golvet på en isolerskiva. Under dagen värms vindsutrymmet upp av solen och den omgivande luften. Trots detta är vattnet på kvällen fortfarande litet för kallt för att vara riktigt behagligt, så när det börjar bli dags att duscha värmer Björn vattnet ytterligare några grader med hjälp av en elpatron, vars effekt är 600 W. När elpatronen kopplas på har vattnet i den helt fyllda behållaren en temperatur på 28 °C. Hur länge måste Björn vänta för att få en angenäm duschtemperatur på 32 °C?

Behållaren är svartlackerad och oisolerad men försedd med ett lock i samma material som resten av behållaren. Under den tid som elpatronen är påkopplad är den omgivande luftens temperatur 20 °C. På kvällen kan det förmodas att vindens väggar, tak och golv också håller en temperatur av 20 °C. Antag att beräkningen av värmeförlusterna kan göras vid en medeltemperatur och att utsidan av tanken har samma temperatur som vattnet.

(5 p)

B.2

B2 = 1(3)



GIVET: $T_{\text{avg}} = 20^\circ \text{C}$

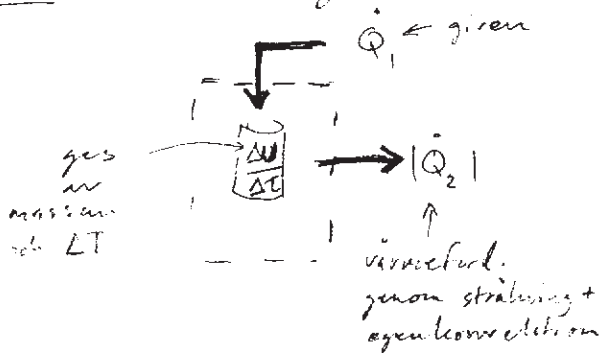
$\dot{Q}_{\text{elatron}} = 600 \text{ W}$

$T_f = 28^\circ \text{C}$

$T_c = 32^\circ \text{C}$

SÖKT: tiden för uppvärmning från T_f till T_c

LÖSNING: Energiförhållanden (1:a HS, slutet system, (2.29) ges



$$\frac{\Delta U}{\Delta t} = \dot{Q}_1 - |\dot{Q}_2| \quad (*)$$

- Egentligen varierar \dot{Q}_2 med T (temperaturen), vi kan bortse från detta vid en liten temp höjning och vi betraktar \dot{Q}_2 vid medeltemperaturen (= num uttryck med ett intervall).
- Värme överförs till luften genom egenkonv. och strålning. Då bör i stort sett hela värmeöverföringsmotståndet ligga på luftsidan, dvs kärlets yta har samma temp som vätsket $\Rightarrow T_{\text{yta, medel}} = 30^\circ \text{C}$

$$\begin{aligned} T_{\text{yta}} &\rightarrow \dot{Q}_2 \rightarrow \Delta T \\ LT &\rightarrow \Delta U \end{aligned}$$

- $A_{\text{innehåll}} = \pi \cdot D \cdot H = \pi \cdot 0,5 \cdot 1 = 1,571 \text{ m}^2$

$A_{\text{botten}} = \frac{\pi D^2}{4} = \frac{\pi \cdot 0,5^2}{4} = 0,196 \text{ m}^2$

$V_{\text{vård}} = \frac{\pi D^2}{4} H = 0,196 \text{ m}^3$

1) egenkonvektion

- längs mantelytan \Leftrightarrow vertikal cyklon (EG s. 415)
- från locket \Leftrightarrow horisontell yta (se stencil)
- isolerad botten \Rightarrow inga värmeförl. från botten

manteln lam eller turb? $Gr \cdot Pr > 10^8$?

alla data tas vid film temp, $T_{film} = \frac{30+20}{2} = 25 [^{\circ}C]$

$$\text{interpolation tab. 11.82} \Rightarrow \frac{Gr \cdot Pr}{\Delta t \cdot H^3} = 0,98 \cdot 10^8$$

$$\Delta t = T_{yta} - T_{luft} = 10^{\circ}C \Rightarrow$$

$$\Rightarrow Gr \cdot Pr = 0,98 \cdot 10^8 \cdot 10 \cdot 10^3 = 9,8 \cdot 10^8 \Rightarrow \text{turb.}$$

Da kan α beräknas m. s. 4. (11.83b)

$$\alpha = K_2 \Delta t^{1/3} = 1,563 \cdot 10^{1/3} = \underline{\underline{3,37 \text{ W/m}^2\text{K}}}$$

locket

för horisontell yta används $\frac{A}{O}$ som kar. längd
 O \leftarrow omkretsen

$$\frac{A}{O} = \frac{\pi D^2}{4} \cdot \frac{1}{\pi D} = \frac{D}{4} = 0,125$$

som ovan ($Gr \cdot Pr > 10^9$?)

$$\frac{Gr \cdot Pr}{\Delta t \cdot \left(\frac{A}{O}\right)^3} = 0,98 \cdot 10^8 \cdot 10 \cdot 0,125^3 = 1,91 \cdot 10^6 \Rightarrow \text{lam}$$

$$\text{enl. stencil: } Nu = 0,54 \cdot (Gr \cdot Pr)^{0,25}$$

$$Nu = 0,54 \cdot (1,91 \cdot 10^6)^{0,25} = 20,1$$

$$\alpha = \frac{Nu \cdot \lambda}{A/O} \quad \lambda = 0,026 \text{ W/mK (TD33)}$$

$$\alpha = \frac{20,1 \cdot 0,026}{0,125} = \underline{\underline{4,19 \frac{W}{m^2K}}}$$

konv
totalt

$$\begin{aligned} \dot{Q}_{konv} &= (\alpha_{mantel} A_{mantel} + \alpha_{locke} A_{locke}) \Delta t = \\ &= 53 + 8 = 61 \text{ [W]} \end{aligned}$$

2) strålning

$$\dot{Q}_s = \sigma \cdot F_{12} \cdot A_1 \cdot (T_1^4 - T_2^4) \quad (11.97)$$

- fallet 11.98 gäller även för "ideellt koncentrerat yttan"
- här kan antas att $A_1 \ll A_2$, dvs $F_{12} \approx \epsilon_1$

$$A_1 = A_{\text{mantel}} + A_{\text{lock}} = 1,767 \text{ m}^2$$

$$\sigma = 5,67 \cdot 10^{-8} \text{ W/m}^2\text{K}^4$$

$$T_1 = 30 + 273 = 303 \text{ K}$$

$$T_2 = 20 + 273 = 293 \text{ K}$$

$$\epsilon = 0,95 \quad (\text{svartlackerad yta, } 30^\circ\text{C, } \epsilon_C \text{ tab 11.95})$$

$$\text{Insättning ger: } \dot{Q}_s = \underline{\underline{100,9 \text{ W}}}$$

totala
invektinduxten

vätskans inre
energi

$$\dot{Q}_2 = \dot{Q}_{\text{konv}} + \dot{Q}_s = 61 + 101 = \underline{\underline{162 \text{ [W]}}}$$

$$\Delta U = \Delta H - \underbrace{\Delta(PV)}_{\approx 0 \text{ inkompr. vätska}} \Rightarrow \Delta U = m c_p \Delta T = \rho V c_p \Delta T$$

$$c_p = 4,18 \text{ kJ/kgK}$$

$$\rho = 996 \text{ kg/m}^3$$

$$\Delta T = 32 - 28 = 4 \text{ [}^\circ\text{C]}$$

$$V = 0,196 \text{ m}^3$$

$$\left. \begin{matrix} c_p = 4,18 \text{ kJ/kgK} \\ \rho = 996 \text{ kg/m}^3 \\ \Delta T = 32 - 28 = 4 \text{ [}^\circ\text{C]} \\ V = 0,196 \text{ m}^3 \end{matrix} \right\} \Rightarrow \underline{\underline{\Delta U = 3269 \text{ kJ}}}$$

$$(*) \Rightarrow \Delta t = \frac{\Delta U}{\dot{Q}_1 - \dot{Q}_2} = \frac{3269 \cdot 10^3}{600 - 162} = 7464 \text{ s} = 124 \text{ min}$$

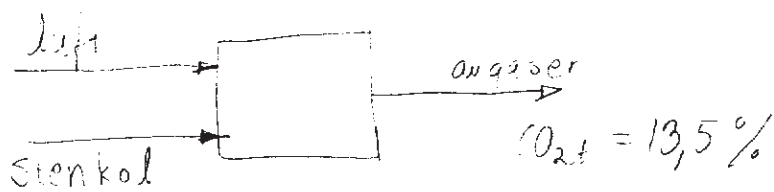
svår: Björn får källa ut: 2 timmar (och 4 min) innan han får sin efterlängta värma kusch.

B 3. Vid förbränning av ett stenkolk uppmättes torra CO_2 -halten till 13,5 % i avgaserna. Hur stort var luftöverskottet? Bränslets sammansättning (vikt-%) är

Fukt	18,0 %
"Aska"	10,3 %
C	46,0 %
S	0,7 %
H	4,6 %
N	1,0 %
O	19,4 %

Halten av NO_x i avgaserna är försumbar.

(5 p)



Stenkol:

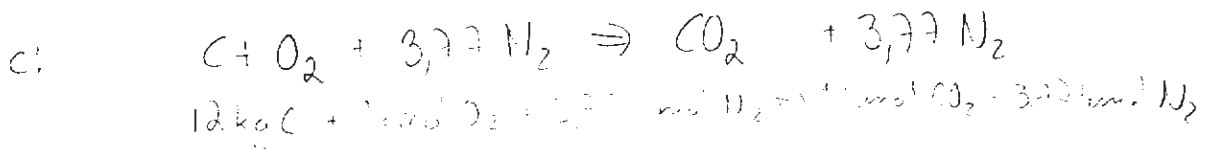
Component	Percentage	Unit
Fukt	18,0 %	kg/kg bränsle
"Aska"	10,3 %	
C	46,0 %	
S	0,7 %	
H	4,6 %	
N	1,0 %	
O	19,4 %	

Sökt: m

$$m = \frac{[CO_{2ot}]}{[CO_{2t}]} \quad \text{sök } CO_{2ot}$$

CO_{2ot} Definition på CO_2 -halt är mol%
 $CO_2 + SO_2$ på torra avgaser (sid 15)
 ideala gaser mol% = vol%

$$CO_{2ot} = \frac{g_{CO_2} + g_{SO_2}}{g_{ot}}$$

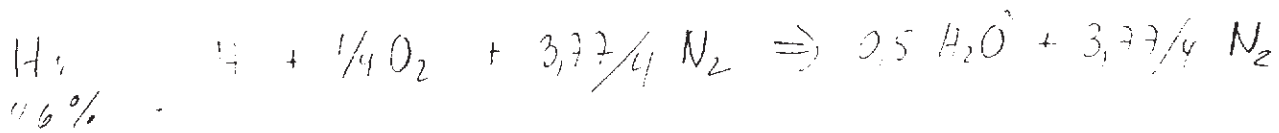


$1 \text{ kg C} + \frac{16}{12} \frac{\text{mol } O_2}{\text{kg}} + \frac{3,77}{12} \frac{\text{mol}}{\text{kg}} N_2 \Rightarrow \frac{1}{12} \frac{\text{mol}}{\text{kg}} CO_2 + \frac{3,77}{12} \frac{\text{mol}}{\text{kg}} N_2$

avgasmängd = $\frac{4,77}{12} \text{ mol/kg C}$

$(g_{ot})_C = 0,46 \cdot \frac{4,77}{12} = 0,1829 \text{ kmol/kg stenkol}$

$$g_{\text{CO}_2} = 0,46 \cdot \frac{1}{12} = 0,0383 \text{ kmol/kg stenkol}$$



4,6%

$$1 \text{ kg H} + \frac{1}{7,008} \frac{\text{kmol}}{\text{kg}} \text{O}_2 + \frac{3,77}{7,008} \frac{\text{kmol}}{\text{kg}} \text{N}_2 \Rightarrow$$

$$\frac{0,5}{7,008} \frac{\text{kmol}}{\text{kg}} \text{H}_2\text{O} + \frac{3,77}{7,008} \frac{\text{kmol}}{\text{kg}} \text{N}_2$$

$$\text{tott avgasmängd} = \frac{3,77}{7,008} \frac{\text{kmol}}{\text{kg H}}$$

$$(g_{\text{ot}})_{\text{H}} = \frac{0,046 \cdot 3,77}{4 \cdot 7,008} = 0,00130 \text{ kmol/kg stenkol}$$

S:

0,7%



$$1 \text{ kg S} + \frac{3,77}{32} \text{O}_2 + \frac{3,77}{32} \text{N}_2 \Rightarrow \frac{3,77}{32} \text{SO}_2 + \frac{3,77}{32} \text{N}_2$$

$$\text{avgasmängd: } \frac{3,77}{32} = 0,118 \text{ kmol/kg S}$$

$$(g_{\text{ot}})_{\text{S}} = 0,007 \cdot \frac{3,77}{32} = 0,0010 \text{ kmol/kg stenkol}$$

$$g_{\text{SO}_2} = 0,007 \cdot \frac{1}{32} = 0,0002 \text{ kmol/kg stenkol}$$

N:

1%



$$1 \text{ kg N} \rightarrow \frac{1}{2} \frac{\text{kmol}}{\text{kg N}}$$

$$\text{avgasmängd: } \frac{1}{2} = 0,5 \text{ kmol/kg N}$$

$$(g_{\text{ot}})_{\text{N}} = 0,01 \cdot \frac{1}{2} = 0,0005 \text{ kmol/kg stenkol}$$

(tyvärr är NO_x i avgaserna
är försumbar)

O:

19,4%

O som är utsläppt i form av vattenångor
ifrån luften



$$\text{avgasmängdminskning: } 3,77/32 \text{ kmol/kg O}$$

$$(g_{\text{ot}})_{\text{O}} = -\frac{3,77}{32} \cdot 0,194 = -0,0229 \text{ kmol/kg stenkol}$$

Åsta ger ingen avgasflöde
 Fukt ger ingen avgasflöde.

$$\dot{q}_{ot} = \dot{q}_{ot,c} + \dot{q}_{ot,u} + \dot{q}_{ot,s} + \dot{q}_{ot,w} - \dot{q}_{ot,o}$$

$$\dot{q}_{ot} = 0,1829 + 0,0430 + 0,0010 + 0,0004 - 0,0229 = 0,2044 \text{ MW} / \text{kg sten}$$

$$CO_{2ot} = \frac{\dot{q}_{CO_2} + \dot{q}_{SO_2}}{\dot{q}_{ot}} = \frac{0,0383 + 0,0002}{0,2044} = 0,188$$

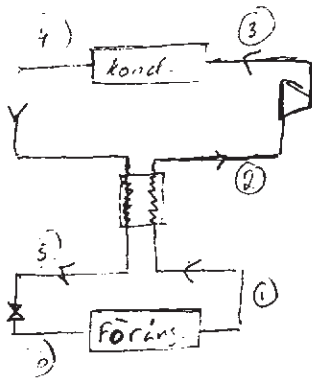
$$m = \frac{[CO_{2ot}]}{[CO_2]} = \frac{0,188}{0,45} = 0,42$$

SVAR: Luftöverskottet var 40%.

B 4. (Endast Kf-92) I en kylmaskin med R22 som köldmedium och en kyleffekt av 8 kW är insatt en värmeväxlare för underkyllning med 6K av det mättade kondensatet från kondensorn. Det sker med hjälp av den mättade ångan från förångaren som överhettad tillföres kompressorn. Kompressorn är av kolvtyp med en cylinder. Hur stor cylindervolym erfordras om kompressorn arbetar reversibelt med 200 varv/min och har ett skadligt rum uppgående till 5 % av cylindervolymen?

Förångnings- och kondenseringstemperaturen är $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$ respektive $30\text{ }^{\circ}\text{C}$. Antag att den överhettade ångan kan approximeras till en ideal gas med $\kappa = 1,18$.

(5 p)



Äret: R22

$$\dot{Q}_F = 8 \text{ kW}$$

$$\theta_{\text{underkyllning}} = 6 \text{ K}$$

$$\Gamma_{\text{komp}} = 250 \text{ varv/min}$$

$$V_k = 0,25 \cdot V_{\text{cylinder}}$$

$$\theta_f = -10\text{ }^{\circ}\text{C}$$

$$\theta_k = 30\text{ }^{\circ}\text{C}$$

$$\text{R22} \sim \text{ideal gas } \kappa = 1,18$$

Reversibel kompressor

Sök: Cylindervolym

1) massflöde genom kompressorn

$$\dot{m} = \frac{\dot{Q}_F}{h_1 - h_6}$$

$$h_1 = \text{mättad ånga, } -10\text{ }^{\circ}\text{C} / = 401,53 \text{ kJ/kg} \quad \text{D \& D sid 67}$$

$$h_6 = h_5 = h_4 - c_p \cdot \theta_{\text{underkyllning}}$$

$$h_4 = \text{mättad vätska, } 30\text{ }^{\circ}\text{C} / = 236,66$$

$$c_p = 1,371 \text{ kJ/kg}\cdot\text{K}$$

D \& D sid 77

$$\dot{m} = \frac{8}{401,53 - (236,66 - 6 \cdot 1,371)} = 4,62 \cdot 10^{-2} \text{ kg/s}$$

2) ...

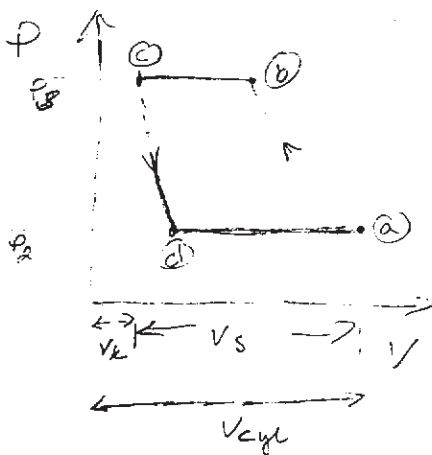
$$h_1 = h_2 + \frac{v_1^2 - v_2^2}{2g} + z_1 - z_2 = 3.543 \text{ var } 2.82 \text{ m}$$

$$h_2 = h_1 + (h_3 - h_4) = h_1 + c_p \frac{v_3^2}{2g} = 40.138 + 6 \cdot \frac{1.27^2}{2 \cdot 9.81} = 40.77 \frac{\text{m}}{9.81}$$

diagram sid 69 ger $v_2 (P_2, h_2) \approx 0.07 \text{ m}^3/\text{kg}$

$$\dot{V}_k = 3.07 + 1.62 \cdot 10^{-2} = 3.23 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3/\text{s}$$

3) ...



$$\begin{aligned} V_{cyl} &= V_k + V_s \\ V_k &= 0.95 \cdot V_{cyl} \end{aligned} \quad \left. \vphantom{\begin{aligned} V_{cyl} &= V_k + V_s \\ V_k &= 0.95 \cdot V_{cyl} \end{aligned}} \right\} 0.95 \cdot V_{cyl} = V_s$$

$$V_s = V_a - V_c = (V_a - V_b) + (V_b - V_c) = (V_d - V_c) + V_s$$

$$V_a - V_d = \frac{\dot{V}_k}{\rho_{\text{luft}}} = \frac{3.23 \cdot 10^{-3} \cdot 60}{1.204} = 9.70 \cdot 10^{-4} \text{ m}^3$$

isothermal compression med $\kappa = 1.18$

$$\Rightarrow V_d = V_c \left(\frac{p_c}{p_d} \right)^{\frac{1}{\kappa}} = V_c \left(\frac{3.543}{1.18} \right)^{\frac{1}{1.18}} = 2.80 \cdot V_c$$

$$\Rightarrow V_s = 9.70 \cdot 10^{-4} + 1.80 \cdot V_c = 9.70 \cdot 10^{-4} + 1.80 \cdot V_k = 9.70 \cdot 10^{-4} + 0.09 \cdot V_{cyl}$$

$$\Rightarrow V_{cyl} = \frac{9.70 \cdot 10^{-4}}{0.95 - 0.09} = 1.13 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3 \approx \underline{\underline{1180 \text{ cm}^3}}$$