

TENTAMEN I ENERGITEKNIK K för K3 och KF3, 1995-08-28 kl 14.15-18.15

Tentamen omfattar:

Avdelning A: Teori och beskrivande moment

Inga hjälpmedel

Avdelning B: Problem

Tillåtna hjälpmedel:

De av Sektionsstyrelsen för kemi och Grundutbildningskommittén K godkända räknedosorna HP42S, Casio fx 8700G och Texas Galaxy 67 samt de typgodkända räknedosorna Casio fx 82, Texas Ti30 och Sharp EL 531.

Föreläsningsanteckningar (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.

Lennart Persson, tel CTH: 7723015, kommer från ca kl 14.45 att vara tillgänglig för frågor på skrivsalen.

Lösningar finns anslagna tisdag 95-08-29 kl 10.00 på VoMs anslagstavla på institutionen.

Betygslistan anslås senast torsdag 95-09-07.

Granskning av rättning får ske fredag 95-09-08 kl 13.00-14.00 i VoMs bibliotek.

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

OBS! Vissa tentamensuppgifter är avsedda endast för K och vissa endast för Kf!

Skrivtid: 4 tim

För godkänt krävs minst 15 poäng.

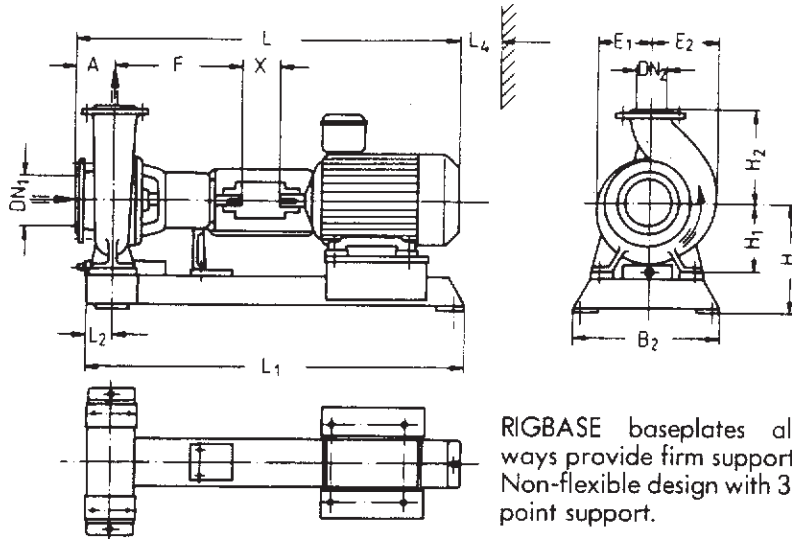
AVDELNING A

- A1. Även en naturgaseldad gasturbin kan ha betydande NO_x -emissioner.
- a) Vilken bildningsmekanism är det fråga om? Motivera! (2 p)
 - b) Vilka typer av förbränningstekniska åtgärder kan användas för att reducera emissionerna och varför är de verksamma? (2 p)
 - c) Vilken storleksordning (mg/MJ) har emissionerna före och efter åtgärderna? (1 p)
- A2. Beskriv principerna för följande värmepumpcykler:
- ekonomizercykeln
 - cykel med genombubblingsmellankylare,
 - kaskadkoppling,
 - seriekoppling
- Och ange för var och en orsakerna till varför den ger en högre värmefaktor (COP) än den enkla cykeln!
- (5 p)
- A3. (Endast K) Bottenuttaget från en destillationskolonn skall transporteras till en högt belägen tank med hjälp av en centrifugalpump. Det hålles en bestämd vätskenivå i kolonnen med hjälp av en reglerkrets. Mellan tanken och kolonnen finns en tryckutjämningsledning. Ledningen är så grov att det i sammanhanget kan bortses från både friktions- och engångsförluster.
- En lämplig pump skall väljas med hjälp av bifogade diagram (se bilaga!). Valet står först mellan två typer i samma serie från en viss pumpleverantör och sedan mellan olika pumphjulsdiametrar och varvtal. Diskutera valet!
- Data: Nivåer (rel marken)
- pump: 0 m
 - vätskeyta i kolonnen: 2 m
 - vätskeyta i tanken: 22 m
- Flöde: $0,028 \text{ m}^3/\text{s}$ (5 p)

- B1. Från en tryckbehållare med olja, leds oljan till en punkt belägen 6,1 m över oljenivån i tanken. Rörledningen är 153 m lång och har en innerdiameter av 0,153 m. Rörledningen, som är av konstruktionsstål, är fastsatt i behållarväggen och mynnar i det fria ovanför en öppen behållare. Hur stort är det erforderliga övertrycket i behållaren, om oljeflödet skall vara 12,7 l/s? Oljans densitet är 840 kg/m^3 och kinematiska viskositet $30 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$? (5 p)
- B2. En kondensor innehåller vertikala tuber av kolstål med ytter- och innerdiameter 56 resp 52 mm. På utsidan av tuberna kondenserar vattenånga vid $50 \text{ }^\circ\text{C}$. I tuberna strömmar kylvatten, som togs från en ledning där temperaturen är $10,7 \text{ }^\circ\text{C}$. Värmeövergångstalet på insidan antas vara $6000 \text{ W/m}^2\text{K}$ vid en hastighet av 2,0 m/s. Hur långa behöver tuberna vara om varje tub skall kondensera $7,0 \cdot 10^{-3} \text{ kg/s}$? (5 p)
- B3. (Endast K) I en panna används eldningsolja (EO1) med effektiva värmeverdets 41,6 MJ/kg. En kontroll visar att CO_2 -halten i rökgaserna är endast 5 %. Genom justering av draget (lufttillförseln) höjs halten till 10 %. Beräkna ökningen i flamtemperatur (approximerad som adiabatisk förbrännings-temperatur)! Lufttemperaturen är $25 \text{ }^\circ\text{C}$. (5 p)
- B3. (Endast Kf) En öppen gasturbin arbetar med tryckförhållandet 1:5. Luftens tillstånd före kompressorn är $20 \text{ }^\circ\text{C}$, 1 bar. Beräkna avgasernas temperatur efter turbinen, om 1 MW värme tillsätts i brännkammaren. Isentropiska verkningsgraden är för kompressorn 0,85 och för turbinen 0,90. Luften och avgaserna kan betraktas som ideala gaser med $c_p = 1,1 \text{ kJ/kgK}$ och $\kappa = 1,40$. Flödet genom processen kan betraktas som konstant och lika med 2,0 kg/s. (5 p)
- B4. (Endast Kf) Naturgas av 8,0 MPa och 300 K tillföres en välisolerad tryckbehållare, som rymmer 30 m^3 , via en rörledning. I ledningen finns en ventil. Behållaren är från början evakuerad. Efter en tids fyllning av behållaren stängs ventilen. Med hjälp av en kylmaskin kyls gasen till 160 K. Efter kylningen innehåller behållaren 50 volym-% kondenserad gas. Hur mycket energi har då kylts bort? Antag att naturgasen kan approximeras med ren metan. Termodynamiska tabeller för metan bifogas. (5p)

Lycka till!

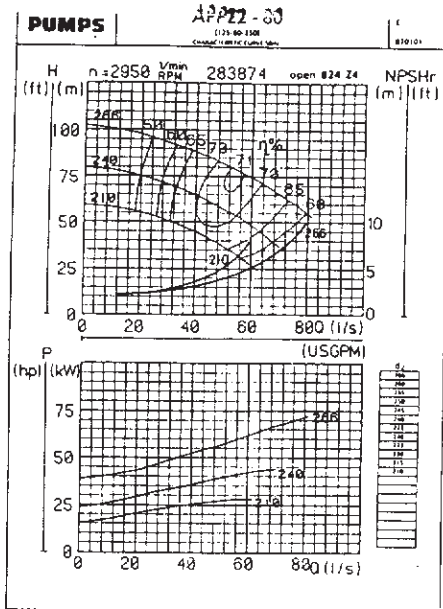
Bilaga till uppgift A3
PUMPDIAGRAM



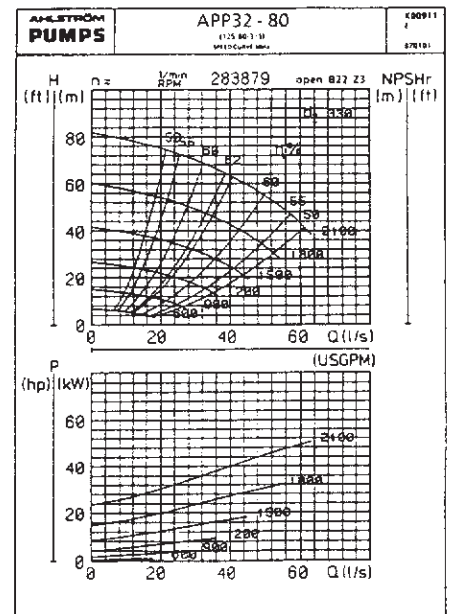
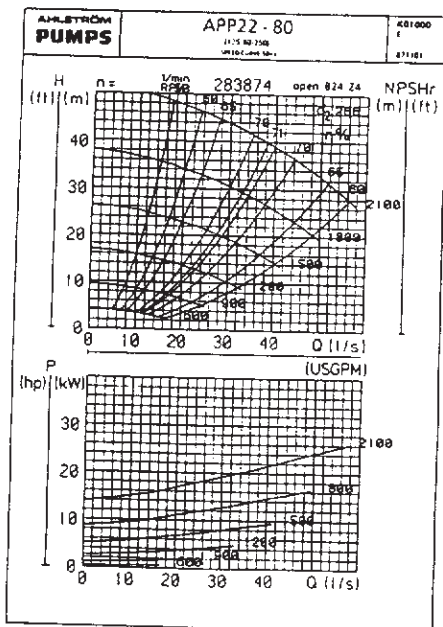
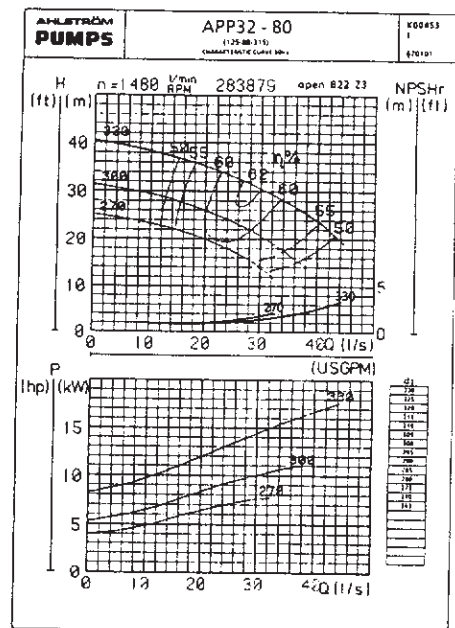
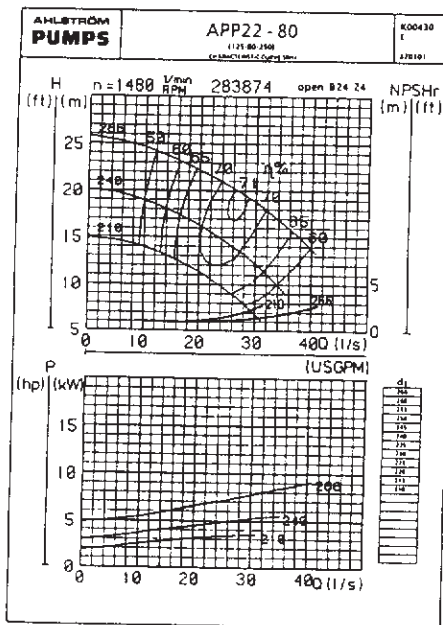
Dimensions ISO 2858
(up to size 44-150)
Specifications ISO 5199
Stuffing box ISO 3069
Flanges ISO 2084
PN10 or PN16
(can also be drilled according to ANSI or JIS standards)

RIGBASE baseplates always provide firm support. Non-flexible design with 3-point support.

Type	Dimensions in mm															
	DN ₁	DN ₂	A	F	H ₁	H ₂	E ₁	E ₂	X	H 1)	B ₂ 1)	L 1)	L ₁ 1)	L ₂ 1)	L ₄ min	Weight kg 2)
APP 21-65	100	65	100	500	180	225	140	165	140	415	610	1705	1555	100	90	250
APP 21-80	125	80	125	500	180	250	150	180	140	415	610	1730	1555	100	90	260
APP 22-50	80	50	125	500	180	225	160	180	140	415	610	1730	1555	100	90	265
APP 22-65	100	65	125	500	200	250	170	190	140	450	700	1815	1755	100	100	270
APP 22-80	125	80	125	500	225	280	180	210	140	490	700	2035	1755	100	115	340
APP 31-100	125	100	140	530	225	280	185	225	140	530	740	2285	2000	125	115	450
APP 31-125	150	125	140	530	250	355	205	260	140	580	740	2390	2000	125	130	510
APP 31-150	200	150	160	530	280	375	220	290	140	580	740	2410	2000	125	130	545
APP 32-65	100	65	125	530	225	280	205	220	140	530	740	2270	2000	125	115	450
APP 32-80	125	80	125	530	250	315	210	235	140	580	740	2375	2000	125	130	510
APP 32-100	125	100	140	530	250	315	210	250	140	580	740	2390	2000	125	130	520
APP 32-125	150	125	140	530	280	355	225	270	140	580	740	2390	2000	125	130	530
APP 33-100	125	100	140	530	280	355	255	280	140	580	740	2390	2000	125	130	560
APP 33-125	150	125	140	530	315	400	260	300	140	470	700	1860	1755	100	100	575



Bilaga till uppgift A3
 PUMPDIAGRAM



BILAGA TILL UPPGIFT B4 (2 sidor)

TABLE A.7SI *Thermodynamic Properties of Methane*
 TABLE A.7.1SI *Saturated Methane (SI Units)*

Temp. K	Abs. Press. MPa <i>P</i>	Specific Volume, m ³ /kg			Enthalpy, kJ/kg			Entropy, kJ/kg K		
		Sat. Liquid <i>v_f</i>	Evap. <i>v_{fg}</i>	Sat. Vapor <i>v_g</i>	Sat. Liquid <i>h_f</i>	Evap. <i>h_{fg}</i>	Sat. Vapor <i>h_g</i>	Sat. Liquid <i>s_f</i>	Evap. <i>s_{fg}</i>	Sat. Vapor <i>s_g</i>
90.685	0.01169	0.00221	3.97955	3.98176	-358.1	543.1	185.1	4.226	5.989	10.216
95	0.01983	0.00224	2.44824	2.45048	-343.7	537.2	193.4	4.381	5.654	10.035
100	0.03441	0.00228	1.47657	1.47885	-326.8	529.8	202.9	4.554	5.298	9.851
105	0.05643	0.00231	0.93791	0.94022	-309.7	521.8	212.2	4.721	4.970	9.691
110	0.08820	0.00235	0.62219	0.62454	-292.3	513.3	221.0	4.882	4.666	9.548
115	0.13232	0.00239	0.42808	0.43048	-274.7	504.1	229.4	5.037	4.384	9.421
120	0.19158	0.00244	0.30371	0.30615	-257.0	494.2	237.2	5.187	4.118	9.305
125	0.26896	0.00249	0.22110	0.22359	-239.0	483.4	244.5	5.332	3.868	9.200
130	0.36760	0.00254	0.16448	0.16702	-220.7	471.7	251.0	5.473	3.629	9.102
135	0.49072	0.00259	0.12457	0.12717	-202.1	458.9	256.8	5.611	3.399	9.011
140	0.64165	0.00265	0.09574	0.09839	-183.2	444.8	261.7	5.746	3.177	8.924
145	0.82379	0.00272	0.07444	0.07716	-163.7	429.4	265.7	5.879	2.961	8.841
150	1.04065	0.00279	0.05838	0.06117	-143.7	412.3	268.5	6.011	2.748	8.759
155	1.29580	0.00288	0.04604	0.04892	-123.1	393.3	270.2	6.141	2.537	8.679
160	1.59296	0.00297	0.03638	0.03935	-101.6	372.0	270.3	6.272	2.325	8.597
165	1.93607	0.00309	0.02868	0.03176	-79.1	347.8	268.7	6.405	2.108	8.512
170	2.32936	0.00322	0.02241	0.02563	-55.2	320.0	264.8	6.540	1.882	8.422
175	2.77762	0.00339	0.01718	0.02058	-29.3	287.2	257.9	6.681	1.641	8.322
180	3.28655	0.00362	0.01266	0.01628	-0.5	246.8	246.2	6.833	1.371	8.204
185	3.86361	0.00398	0.00845	0.01243	33.8	192.1	225.9	7.009	1.038	8.048
190	4.52082	0.00499	0.00298	0.00796	92.2	79.8	172.0	7.305	0.420	7.725
190.551	4.59920	0.00615	0	0.00615	129.7	0	129.7	7.500	0	7.500

TABLE A.7.2SI *Superheated Methane (SI Units)*

Abs. Press. MPa		Temperature, K									
		150	175	200	225	250	275	300	350	400	450
0.05	<i>v</i>	1.5433	1.8054	2.0665	2.3270	2.5872	2.8472	3.1069	3.6262	4.1451	—
	<i>h</i>	308.5	360.8	413.2	465.8	518.9	572.9	628.1	742.9	865.4	—
	<i>s</i>	10.5170	10.8399	11.1196	11.3674	11.5914	11.7972	11.9891	12.3429	12.6697	—
0.10	<i>v</i>	0.7659	0.8984	1.0299	1.1609	1.2915	1.4219	1.5521	1.8123	2.0721	—
	<i>h</i>	306.8	359.6	412.2	465.0	518.3	572.4	627.6	742.6	865.1	—
	<i>s</i>	10.1504	10.4759	10.7570	11.0058	11.2303	11.4365	11.6286	11.9829	12.3099	—
0.50	<i>v</i>	0.1433	0.1726	0.2006	0.2280	0.2550	0.2817	0.3083	0.3611	0.4137	—
	<i>h</i>	292.3	349.1	404.1	458.5	512.9	567.8	623.7	739.6	862.8	—
	<i>s</i>	9.2515	9.6021	9.8959	10.1520	10.3812	10.5906	10.7850	11.1422	11.4710	—
1.00	<i>v</i>	0.0643	0.0815	0.0968	0.1113	0.1254	0.1392	0.1528	0.1798	0.2064	—
	<i>h</i>	270.6	334.9	393.5	450.1	506.0	562.0	618.8	735.9	860.0	—
	<i>s</i>	8.7902	9.1871	9.5006	9.7672	10.0028	10.2164	10.4138	10.7748	11.1059	—
1.50	<i>v</i>	—	0.0508	0.0621	0.0724	0.0822	0.0917	0.1010	0.1193	0.1373	—
	<i>h</i>	—	318.8	382.3	441.4	499.0	556.2	613.8	732.3	857.2	—
	<i>s</i>	—	8.9121	9.2514	9.5303	9.7730	9.9911	10.1916	10.5565	10.8899	—
2.00	<i>v</i>	—	0.0350	0.0446	0.0529	0.0606	0.0680	0.0751	0.0891	0.1027	—
	<i>h</i>	—	300.0	370.2	432.4	491.8	550.3	608.9	728.6	854.3	—
	<i>s</i>	—	8.6839	9.0596	9.3532	9.6036	9.8266	10.0303	10.3992	10.7349	—

TABLE A.7.2SI (Continued) *Superheated Methane (SI Units)*

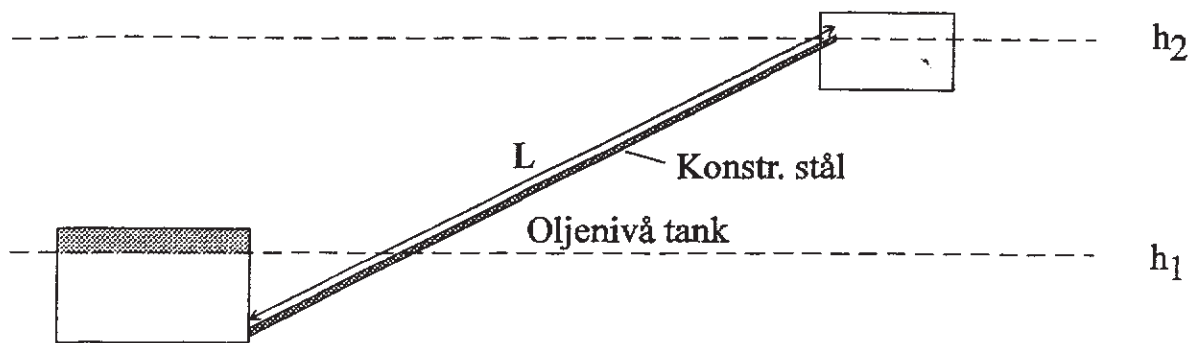
Abs. Press. MPa		Temperature, K									
		100	125	200	225	250	275	300	350	400	450
3.00	<i>v</i>	—	—	0.0269	0.0333	0.0390	0.0442	0.0492	0.0589	0.0682	0.0774
	<i>h</i>	—	—	342.7	413.3	477.1	538.3	598.8	721.2	848.8	983.5
	<i>s</i>	—	—	8.7492	9.0823	9.3512	9.5848	9.7954	10.1726	10.5130	10.8303
4.00	<i>v</i>	—	—	0.0176	0.0235	0.0281	0.0324	0.0363	0.0438	0.0510	0.0580
	<i>h</i>	—	—	308.2	392.4	461.6	526.1	588.7	713.9	843.2	979.2
	<i>s</i>	—	—	8.4675	8.8653	9.1574	9.4031	9.6212	10.0071	10.3523	10.6725
5.00	<i>v</i>	—	—	0.0114	0.0175	0.0216	0.0252	0.0286	0.0348	0.0406	0.0463
	<i>h</i>	—	—	258.3	369.3	445.6	513.6	578.6	706.7	837.8	975.0
	<i>s</i>	—	—	8.1459	8.6728	8.9945	9.2540	9.4802	9.8751	10.2251	10.5483
6.00	<i>v</i>	—	—	0.0061	0.0135	0.0173	0.0205	0.0234	0.0288	0.0338	0.0386
	<i>h</i>	—	—	160.3	343.7	428.8	500.9	568.4	699.5	832.4	970.9
	<i>s</i>	—	—	7.6125	8.4907	8.8502	9.1253	9.3601	9.7643	10.1192	10.4453
8.00	<i>v</i>	—	—	0.0041	0.0085	0.0120	0.0147	0.0171	0.0213	0.0252	0.0289
	<i>h</i>	—	—	88.5	285.0	393.9	475.4	548.1	685.4	822.0	962.9
	<i>s</i>	—	—	7.2069	8.1344	8.5954	8.9064	9.1598	9.5831	9.9477	10.2796
10.00	<i>v</i>	—	—	0.0038	0.0059	0.0089	0.0113	0.0133	0.0169	0.0201	0.0231
	<i>h</i>	—	—	72.2	229.3	358.6	450.1	528.4	671.8	811.9	955.3
	<i>s</i>	—	—	7.0862	7.8245	8.3716	8.7210	8.9936	9.4362	9.8104	10.1480

ET 95-08-28

B7: 10²

- B1. Från en tryckbehållare med olja, leds oljan till en punkt belägen 6,1 m över oljenivån i tanken. Rörledningen är 153 m lång och har en innerdiameter av 0,153 m. Rörledningen, som är av konstruktionsstål, är fastsatt i behållarväggen och mynnar i det fria ovanför en öppen behållare. Hur stort är det erforderliga övertrycket i behållaren, om oljeflödet skall vara 12,7 l/s? Oljans densitet är 840 kg/m^3 och kinematiska viskositet $30 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$?

(5 p)

**Data:**

$$h_2 = 6.1 \text{ m}$$

$$L = 153 \text{ m}$$

$$d = 0.153 \text{ m}$$

$$v = 12.7 \text{ l/s} = 0.0127 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$\rho_{\text{olja}} = 840 \text{ kg/m}^3$$

$$\nu_{\text{olja}} = 30 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$$

Sökt: p_1

BE:

$$p_1 + \rho g h_1 + \frac{\rho w_1^2}{2} = p_2 + \rho g h_2 + \frac{\rho w_2^2}{2} + \Delta p_f$$

$$h_1 = 0 \text{ m}$$

$$w_1 = w_2 \approx 0 \text{ m/s}$$

$$p_2 = 1 \text{ atm}$$

$$p_1 = p_2 + \rho g h_2 + \Delta p_f$$

$$\Delta p_f = f_1 \rho w_{\text{ledn}}^2 \frac{L}{d} + \sum \zeta \frac{\rho w_{\text{ledn}}^2}{2}$$

Engångsmotstånd: $\zeta_{\text{in}} = 0.5$ $\zeta_{\text{ut}} = 1.0$

Friktionskoeff.: $f_1 = f(\text{Re}, y_s, d)$

$$w_{\text{ledn}} = \frac{4v}{\pi d^2} = \dots = 0.691 \text{ m/s}$$

$$\text{Re} = \frac{w_{\text{ledn}} d}{\nu} = \dots = 3523$$

$$y_s = 0.3 \text{ mm} \quad y_s/d = 0.002 \quad f_1 = 0.02$$

Insättn. ger $p_1 = 58.6 \text{ kPa}$ ö

- B2. En kondensör innehåller vertikala tuber av kolstål med ytter- och innerdiametern 56 resp 52 mm. På utsidan av tuberna kondenserar vattenånga vid 50 °C. I tuberna strömmar kylvatten, som tages från en ledning där temperaturen är 10,7 °C. Värmeövergångstalet på insidan antas vara 6000 W/m²K vid en hastighet av 2,0 m/s. Hur långa behöver tuberna vara om varje tub skall kondensera 7,0 · 10⁻³ kg/s?

(5 p)

Givet: vertikal tub av kolstål

$$d_i = 52 \text{ mm} \quad d_y = 56 \text{ mm}$$

$$t_1 = 50 \text{ °C} = t_{\text{cond}}$$

$$\alpha_a = 6000 \text{ W/m}^2\text{K}$$

$$w_a = 2,0 \text{ m/s}$$

$$\dot{m}_{\text{kond}} = 7,0 \cdot 10^{-3} \text{ kg/s}$$

$$t_{a,\text{in}} = 10,7 \text{ °C}$$

Sökt: H

Lösning: Räkna på en tub!

$$(1) \quad \dot{Q} = k A \nu_m = \dot{Q} \quad (11.21) \text{ 377}$$

$$(2) \quad \dot{Q} = \dot{m}_{\text{kond}} r$$

$$(3) \quad A = \pi d_y H$$

$$(4) \quad \dot{Q} = \Delta \alpha \cdot \dot{W}_2 = (t_{2,\text{ut}} - t_{2,\text{in}}) \dot{W}_2 \quad (11.2)$$

$$(5) \quad \dot{W}_2 = \dot{m}_a \cdot c_p = w_a \pi d_i^2 c_p \rho / 4 \quad 377$$

$$(6) \quad \nu_m = \frac{t_{2,\text{ut}} - t_{2,\text{in}}}{\ln \frac{t_1 - t_{2,\text{in}}}{t_1 - t_{2,\text{ut}}}} \quad (11.33) \text{ 377}$$

$$(7) \quad \frac{1}{k} = \frac{1}{\alpha_i} + \frac{d_o - d_i}{2 \lambda_{\text{väss}}} + \frac{1}{\alpha_a} \quad (11.13) \text{ 377}$$

$$(8) \alpha_1 = \frac{k}{(\Delta t H)^{1/4}} \quad (11.87) 418$$

$$(9) \Delta t = \nu_1$$

$$(10) \dot{Q} = \alpha_1 A \nu_1 = k A \nu_m \quad (11.12) 37$$

Vid 50°C gäller för vatten/ånga

$$r = 2383 \text{ kJ/kg}$$

$$K = 9,6 \cdot 10^3$$

$$\dot{Q} = 7,0 \cdot 10^{-3} \cdot 2383 \cdot 10^3 = 16681 \text{ W} \quad (2)$$

Vid 15°C gäller för vatten

$$c_p = 4,19 \cdot 10^3 \text{ J/kg K} \quad \rho = 999 \text{ kg/m}^3$$

$$\dot{W}_a = 2,0 \pi \cdot 0,055^2 \cdot 4,19 \cdot 10^3 \cdot 999/4 = 17779 \text{ W/K} \quad (5)$$

$$t_{2,ut} = t_{2,in} + \dot{Q} / \dot{W}_a = 10,7 + 0,94 = 11,64 \text{ }^\circ\text{C} \quad (4)$$

$$\nu_m = \frac{0,94}{\ln \frac{50-10,7}{50-11,64}} = 38,83 \text{ K} \quad (6)$$

α_2 kan inte beräknas om inte ν_1 är känt (8), men ν_1 kan inte beräknas utan α_1 (7) (3)

B2: 3(3)

$$\text{Gissa } \alpha_1 = 5000 \text{ W/m}^2\text{K}$$

För ledstäl ställen

$$\lambda = 35 - 55 \text{ W/mK} \quad (\text{BEG})$$

Tab 11.04

$$\text{Antag } \lambda_{\text{väss}} = 45 \text{ W/mK}$$

$$k = \left(\frac{1}{5000} + \frac{2,11 \cdot 10^{-4}}{8 \cdot 45} + \frac{1}{6000} \right)^{-1} = 2432 \text{ W/m}^2\text{K} \quad (7)$$

$$v_1 = \frac{k}{\alpha_1} \quad v_m = 18,89 \text{ K} \quad (10)$$

$$H = \frac{\dot{Q}}{\pi d_y k v_m} = \frac{16681}{\pi \cdot 0,056 \cdot 2432 \cdot 38,83} = 1,00 \text{ m} \quad (1)(3)$$

$$\alpha_1 = \frac{9,6 \cdot 10^3}{(18,89 \cdot 1,00)^{1/4}} = 4605 \text{ W/m}^2\text{K} \quad (8)$$

Delta blir ny gissning

$$k = 2335 \text{ W/m}^2\text{K}$$

$$v_1 = 19,69 \text{ K}$$

$$H = 1,04 \text{ m}$$

$$\alpha_1 = 4511 \text{ W/m}^2\text{K} \quad \text{dugent!}$$

Svar: Tublängden är 1,04 m

- B3. (Endast K) I en panna används eldningsolja (EO1) med effektiva värmevärdet 41,6 MJ/kg. En kontroll visar att CO_2 -halten i rökgaserna är endast 5 %. Genom justering av draget (lufttillförseln) höjs halten till 10 %. Beräkna ökningen i flamttemperatur (approximerad som adiabatisk förbrännings-temperatur)! Lufttemperaturen är 25 °C.

(5 p)

Lösning:

Adiabatiska förbrännings-temp.
erhålls ur (12.7) med

$$|q| = 0 \quad \text{dvs}$$

$$(H_i)_{25^\circ\text{C}} + l_v (h_c - h_{v,25^\circ\text{C}}) = g_v (h_s - h_{s,25^\circ\text{C}})$$

l_v och g_v måste beräknas

$$g_v = g_0 + (m-1)l_0 \quad (12.4)$$

$$l_v = m l_0 \quad (12.3)$$

$$m = \frac{(\text{CO}_2)_{ot}}{(\text{CO}_2)_t} \quad (12.5b)$$

För EO1 gäller (T&D) 75,77

$$l_0 = l_{ot} = 11,09 \text{ Nm}^3/\text{kg}$$

$$g_0 = 11,78 \quad \text{---}$$

$$(\text{CO}_2)_{ot} = 0,156$$

$$(CO_2)_t = 0,05$$

$$m = \frac{0,156}{0,05} = 3,12$$

$$g_v = 11,28 + (3,12 - 1) 11,09 = 35,29 \text{ Nm}^3/\text{kg}$$

$$(L_v = 3,12 \cdot 11,09 = 34,60 \text{ Nm}^3/\text{kg})$$

$$(CO_2)_t = 0,10$$

$$m = \frac{0,156}{0,10} = 1,56$$

$$g_v = 11,28 + (1,56 - 1) 11,09 = 17,99 \text{ Nm}^3/\text{kg}$$

$$(L_v = 1,56 \cdot 11,09 = 17,30 \text{ Nm}^3/\text{kg})$$

$$(h_{f,i})_{25^\circ\text{C}} = h_{f,i} = 41,6 \text{ kJ/kg}$$

$$h_L = h_{L,25^\circ\text{C}}$$

$$h_{g,25^\circ\text{C}} = 30 \text{ kJ/Nm}^3 \text{ (Fig 4)}$$

$$h_g = 30 + \frac{41,6 \cdot 10^3}{35,29} = 1209 \text{ kJ/Nm}^3$$

$$t_g = 840^\circ\text{C} \text{ (Fig 4)}$$

$$h_{g,25^\circ\text{C}} = 30 \text{ kJ/Nm}^3 \text{ (Fig 4)}$$

$$h_g = 30 + \frac{41,6 \cdot 10^3}{17,99} = 2342 \text{ kJ/Nm}^3$$

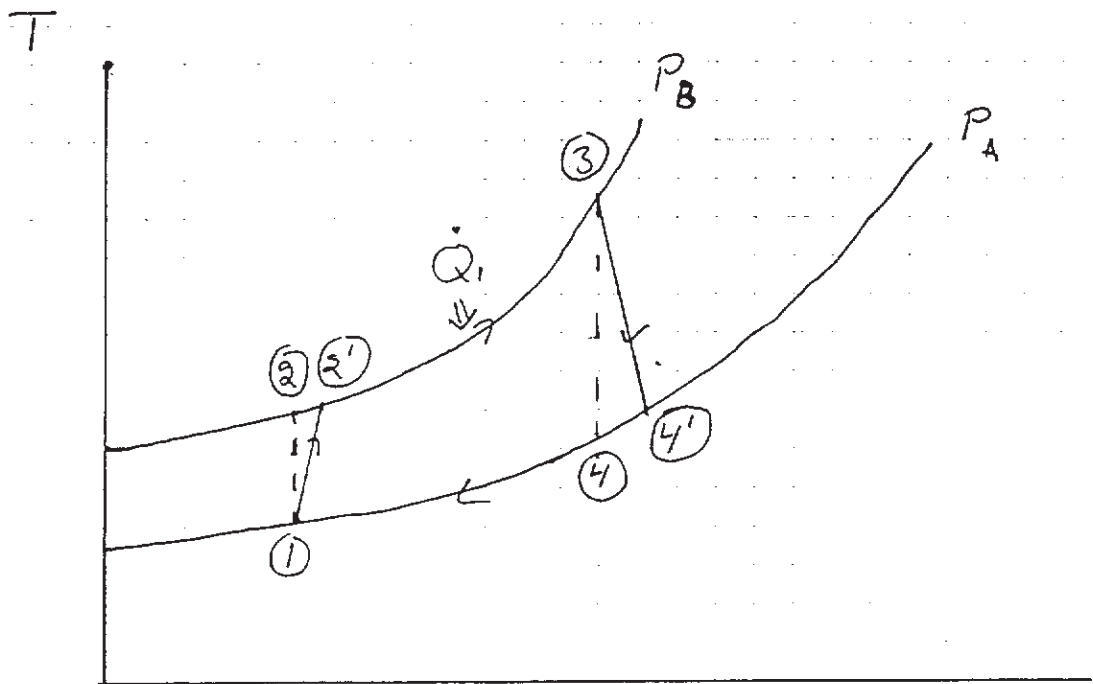
$$t_g = 1510^\circ\text{C} \text{ (Fig 4)}$$

$$\Delta t_0 = 1510 - 840 = 670 \text{ K}$$

Svar: Temperaturen ökar 670 K

B3. (Endast Kf) En öppen gasturbin arbetar med tryckförhållandet 1:5. Luftens tillstånd före kompressorn är 20 °C, 1 bar. Beräkna avgasernas temperatur efter turbinen, om 1 MW värme tillsätts i brännkammaren. Isentropiska verkningsgraden är för kompressorn 0,85 och för turbinen 0,90. Luften och avgaserna kan betraktas som ideala gaser med $c_p = 1,1$ kJ/kgK och $\kappa = 1,40$. Flödet genom processen kan betraktas som konstant och lika med 2,0 kg/s.

(5 p)



Givet: $P_B / P_A = 5$ $\dot{Q}_i = 1 \text{ MW}$

$t_1 = 20^\circ\text{C}$ $P_1 = P_4 = 1$ $\dot{m} = 2.0 \text{ kg/s}$

$(\eta_{tdi})_k = 0.85$ $(\eta_{tdi})_t = 0.90$

$c_p = 1.1 \text{ kJ/kg}^\circ\text{C}$ $\kappa = 1.40$

Beräkna t_{41} !

150.2(15)

Beräkningssång: $T_2 \rightarrow T_{2'} \rightarrow T_3 \rightarrow T_4$

Med $T_1 = 273.15 + 20 = 293.15$ erhålles T

$$\text{ur } \left(\frac{T_2}{T_1} \right) = \left(\frac{P_2}{P_1} \right)^{\frac{\alpha-1}{\alpha}}$$

$$\therefore T_2 = T_1 \cdot 5^{\frac{1.4-1}{1.4}} = 464.3$$

$T_{2'}$ erhålles ur

$$\frac{T_2 - T_1}{T_{2'} - T_1} = (\eta)_{\text{tdi}} \kappa$$

$$\therefore T_{2'} = T_1 - \frac{T_2 - T_1}{(\eta)_{\text{tdi}} \kappa} = 293.15 - \frac{171.15}{0.85} = 293.15 - 200.1 = 93.05$$

T_3 erhålles ur

$$\dot{m} (T_3 - T_{2'}) c_p = \dot{Q}_1$$

$$\therefore T_3 = \frac{\dot{Q}_1}{c_p \cdot \dot{m}} + T_{2'} = \frac{1 \cdot 10^3}{1.1 \cdot 2.0} + 93.05 = 454.5 + 93.05 = 547.55$$

T_4 erhålles ur

$$\left(\frac{T_4}{T_3} \right) = \left(\frac{P_4}{P_3} \right)^{\frac{\alpha-1}{\alpha}}$$

$$\therefore T_2 = \frac{1}{5^{\frac{1.4-1}{1.4}}} \cdot T_3 = \frac{577.2}{577.9} \quad \text{B3:3LS}$$

$T_{4'}$ erhalles ut

$$\frac{T_3 - T_{4'}}{T_3 - T_4} = (\eta_{tdi})_t$$

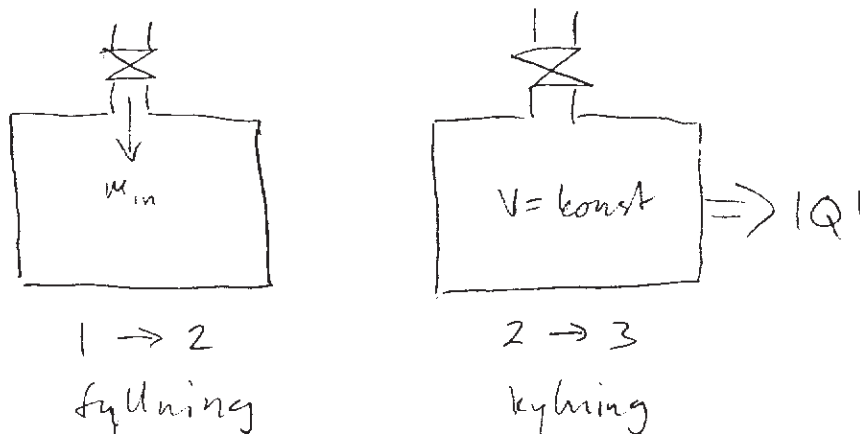
$$\begin{aligned} \therefore T_{4'} &= T_3 - (\eta_{tdi})_t (T_3 - T_4) = \\ &= \frac{949.0}{915.2} - 0.90 \left(\frac{949.0}{915.2} - \frac{599.2}{577.9} \right) = \\ &= \frac{634.2}{611.6} \end{aligned}$$

$$t_4 = \frac{634.2}{611.6} - 273.15 = \frac{361}{338.5}$$

Svar: $\frac{361}{338.5} \text{ } ^\circ\text{C}$

- B4. (Endast Kf) Naturgas av 8,0 MPa och 300 K tillföres en välisolerad tryck-behållare, som rymmer 30 m³, via en rörledning. I ledningen finns en ventil. Behållaren är från början evakuerad. Efter en tids fyllning av behållaren stängs ventilen. Med hjälp av en kylmaskin kyls gasen till 160 K. Efter kylningen innehåller behållaren 50 volym-% kondenserad gas. Hur mycket energi har då kylts bort? Antag att naturgasen kan approximeras med ren metan. Termodynamiska tabeller för metan bifogas.

(5p)



$1 \rightarrow 2$

$$IN: \underbrace{Q}_{=0} + m_{in} \left(h_{in} + \underbrace{\frac{w_{in}^2}{2} + gz_{in}}_{smit} \right)$$

$$UT: 0$$

$$ACK: \Delta U = m_2 u_2 - \underbrace{m_1 u_1}_{=0}$$

$$IN - UT = ACK \Rightarrow m_{in} h_{in} = m_2 u_2 \quad m_{in} = m_2 \Rightarrow h_{in} = u_2$$

$2 \rightarrow 3$

$$IN: Q$$

$$UT: 0$$

$$ACK: \Delta U = m_{in} (u_3 - u_2)$$

$$IN - UT = ACK \Rightarrow Q = m_{in} (u_3 - u_2) \quad (2)$$

Tillståndsen gas av:

$$P_{in}, T_{in} \Rightarrow h_{in} \Rightarrow u_2$$

$$x_3, T_3 \Rightarrow m_3 = m_{in}, u_3$$

TABLE A.7SI *Thermodynamic Properties of Methane*
 TABLE A.7.1SI *Saturated Methane (SI Units)*

Temp. K	Abs. Press. MPa <i>P</i>	Specific Volume, m ³ /kg			Enthalpy, kJ/kg			Entropy, kJ/kg K	
		Sat. Liquid <i>v_f</i>	Evap. <i>v_{fg}</i>	Sat. Vapor <i>v_g</i>	Sat. Liquid <i>h_f</i>	Evap. <i>h_{fg}</i>	Sat. Vapor <i>h_g</i>	Sat. Liquid <i>s_f</i>	Evap. <i>s_{fg}</i>
90.685	0.01169	0.00221	3.97955	3.98176	-358.1	543.1	185.1	4.226	5.989
95	0.01983	0.00224	2.44824	2.45048	-343.7	537.2	193.4	4.381	5.654
100	0.03441	0.00228	1.47657	1.47885	-326.8	529.8	202.9	4.554	5.298
105	0.05643	0.00231	0.93791	0.94022	-309.7	521.8	212.2	4.721	4.970
110	0.08820	0.00235	0.62219	0.62454	-292.3	513.3	221.0	4.882	4.666
115	0.13232	0.00239	0.42808	0.43048	-274.7	504.1	229.4	5.037	4.384
120	0.19158	0.00244	0.30371	0.30615	-257.0	494.2	237.2	5.187	4.118
125	0.26896	0.00249	0.22110	0.22359	-239.0	483.4	244.5	5.332	3.868
130	0.36760	0.00254	0.16448	0.16702	-220.7	471.7	251.0	5.473	3.629
135	0.49072	0.00259	0.12457	0.12717	-202.1	458.9	256.8	5.611	3.399
140	0.64165	0.00265	0.09574	0.09839	-183.2	444.8	261.7	5.746	3.177
145	0.82379	0.00272	0.07444	0.07716	-163.7	429.4	265.7	5.879	2.961
150	1.04065	0.00279	0.05838	0.06117	-143.7	412.3	268.5	6.011	2.748
155	1.29580	0.00288	0.04604	0.04892	-123.1	393.3	270.2	6.141	2.537
160	1.59296	0.00297	0.03638	0.03935	-101.6	372.0	270.3	6.272	2.325
165	1.93607	0.00309	0.02868	0.03176	-79.1	347.8	268.7	6.405	2.108
170	2.32936	0.00322	0.02241	0.02563	-55.2	320.0	264.8	6.540	1.882
175	2.77762	0.00339	0.01718	0.02058	-29.3	287.2	257.9	6.681	1.641
180	3.28655	0.00362	0.01266	0.01628	-0.5	246.8	246.2	6.833	1.371
185	3.86361	0.00398	0.00845	0.01243	33.8	192.1	225.9	7.009	1.038
190	4.52082	0.00499	0.00298	0.00796	92.2	79.8	172.0	7.305	0.420
190.551	4.59920	0.00615	0	0.00615	129.7	0	129.7	7.500	0