

ENER-2060 TEKNILLINEN TERMODYNAMIIKKA

TENTTI 15.12.2011

Ohjelmoitavan laskimen käyttö sallittu.

Ainoastaan kirjan Cengel & Boles Thermodynamics, An Engineering Approach ja jaettavan Summary-monisteen, käyttö on sallittu!

1. Tarkastellaan kaasun virtausta läpi supistuvan-laajenevan suuttimen. Mitkä alla olevista väittämistä ovat tosia ja mitkä epätosia?
 - a) Kaasun nopeus ahtaimmassa poikkipinnassa ei voi koskaan ylittää äänen nopeutta.
 - b) Jos kaasun nopeus ahtaimmassa poikkipinnassa on alempi kuin äänennopeus, laajeneva osa toimii kuten diffuusori.
 - c) Jos kaasu virtaa laajenevaan osaan suuremmalla Machin luvulla kuin yksi, niin virtaus on suuttimen ulostulossa ylisooninen.
 - d) Virtausta ei tapahdu, jos vastapaine on yhtäsuuri kuin patopaine.
 - e) Virtaus nopeus laskee, entropia kasvaa ja patopiste-entalpia (stagnaatio-entalpia) pysyy vakiona kaasun virtauksessa kohtisuoran tiivistysiskun läpi.
2. Kaasu paisuu mäntä-sylinterilaitteessa $0,01 \text{ m}^3$:stä $0,03 \text{ m}^3$:iin. Puristusprosessia voidaan kuvata yhtälöllä $P=aV^{-1}+b$, jossa P on paine [bar], V on tilavuus [m^3]. Kaasun mäntää vastaan tekemä työ on 10,6 kJ. Laske vakion b arvo!
3. Kylläisen höyryn massavirta 1 kg/s virtaa lämmönsiirtimeen 10 bar paineessa. Höyry menettää energiaa siirtimessä ja tulee ulos nesteinä 10 bar paineessa ja $20 \text{ }^\circ\text{C}$ lämpötilassa. Osa höyryn lauhtumisessa vapautuvasta energiasta lämmitteää 20 kg/s ilmavirtaa 275 K :eesta 290 K :seen. Loppuosa siirtyy häviöinä ympäristöön 275 K :een lämpötilaan. Laske kokonaisentropia virta (kW/K)!
4. Eräälle kaasulle pätee yhtälöt:

$$Tds = c_p dT - \frac{RTdP}{P} = c_v dT + \frac{RTdv}{v}$$

ja $cp - cv = R$

Osoita, että kaasun tilan yhtälön tulee olla $Pv = aT$, jossa a positiivinen vakio!

5. Nestekaasu on propaanin C_3H_8 ja butaanin C_4H_{10} seos 60/40 %-tilavuusosuuksin. Kaasua poltetaan siten, että lämpötila ei nouse yli $1200 \text{ }^\circ\text{C}$:n. Mikä on tarvittava ilmakerroin? Muodostumisentalpiat ovat propaanille $-103,9 \text{ MJ/kmol}$ ja butaanille $-126,2 \text{ MJ/kmol}$. Ilma ja kaasu tulevat polttimeen standardilämpötilassa.

Kylmävesi

TABLE A2

Temp. (K)	Pressure (bar)	Volume <i>v</i> (m ³ /kg)		Enthalpy <i>h</i> (kJ/kg)		Entropy <i>s</i> (kJ/kg · K)		Int. Energy <i>u</i> (kJ/kg)		Specific Heat <i>c_p</i> (kJ/kg · K)	
		Cond.†	Vapor	Cond.†	Vapor	Cond.†	Vapor	Cond.†	Vapor	Cond.†	Vapor
200	0.000002	0.001079	569000	-467.5	2366	-1.789	12.38	-467.5	2274	1.545	
220	0.000027	0.001082	38300	-435.0	2403	-1.633	11.20	-435.0	2302	1.701	
240	0.000372	0.001085	4070	-400.1	2440	-1.478	10.35	-400.1	2289	1.857	
260	0.00196	0.001088	612.2	-360.5	2477	-1.323	9.590	-360.5	2357	2.013	
273.15	0.00611	0.001091	206.3	-333.5	2502	-1.221	9.158	-333.5	2376	2.116	
273.15	0.00611	0.001000	206.3	0.0	2502	0.000	9.158	0.0	2376	4.217	1.85
280	0.00990	0.001000	130.4	28.8	2514	0.104	8.980	28.8	2385	4.198	1.85
290	0.01917	0.001001	69.7	70.7	2532	0.251	8.740	70.7	2398	4.184	1.86
300	0.03531	0.001003	39.13	112.5	2550	0.393	8.520	112.5	2412	4.179	1.87
310	0.06221	0.001007	22.93	154.3	2568	0.530	8.318	154.3	2424	4.178	1.88
320	0.1053	0.001011	13.98	196.1	2586	0.649	8.151	196.1	2439	4.180	1.89
330	0.1719	0.001016	8.82	237.9	2604	0.791	7.962	237.9	2452	4.184	1.91
340	0.2713	0.001021	5.74	279.8	2622	0.916	7.804	279.8	2466	4.188	1.93
350	0.4163	0.001027	3.846	321.7	2639	1.038	7.657	321.7	2479	4.195	1.95
360	0.6209	0.001034	2.645	363.7	2655	1.156	7.521	363.6	2491	4.203	1.98
370	0.9040	0.001041	1.861	405.8	2671	1.271	7.394	405.7	2503	4.214	2.01
373.15	1.0133	0.001044	1.679	419.1	2676	1.307	7.356	419.0	2506	4.217	2.02
380	1.2869	0.001049	1.337	448.0	2687	1.384	7.275	447.9	2515	4.226	2.05
400	2.445	0.001067	0.731	532.9	2716	1.605	7.058	532.6	2537	4.256	2.15
420	4.370	0.001088	0.425	618.6	2742	1.810	6.865	618.1	2556	4.302	2.29
440	7.333	0.001110	0.261	705.3	2764	2.011	6.689	704.5	2573	4.36	2.46
460	11.71	0.001137	0.167	793.5	2782	2.205	6.528	792.2	2586	4.44	2.68
480	17.90	0.001167	0.111	883.4	2795	2.395	6.377	881.3	2596	4.53	2.94
500	26.40	0.001203	0.0766	975.6	2801	2.581	6.233	972.4	2599	4.66	3.27
520	37.70	0.001244	0.0525	1071	2801	2.765	6.093	1066	2603	4.84	3.70
540	52.38	0.001294	0.0375	1170	2792	2.948	5.953	1163	2596	5.08	4.27
560	71.08	0.001355	0.0269	1273	2772	3.132	5.808	1263	2581	5.43	5.09
580	94.51	0.001433	0.0193	1384	2737	3.321	5.654	1370	2555	6.00	6.40
600	123.5	0.001541	0.0137	1506	2682	3.520	5.480	1487	2513	7.00	8.75
620	159.1	0.001705	0.0094	1647	2588	3.741	5.259	1620	2438	9.35	15.4
647.3*	221.2	0.003170	0.0032	2107	2107	4.443	4.443	2037	2037	∞	∞

* Critical temperature.

† Above the solid line the condensed-phase values are for the solid, below it they are for the liquid.

Kylläinen vesi

TABLE A4

Pressure (bar)	Temp. (K)	Volume (m ³ /kg)		Enthalpy (kJ/kg)		Entropy (kJ/kg · K)		Int. Energy (kJ/kg)		Specific Heat (kJ/kg · K)	
		Liquid 10 ³ v _f	Vapor v _g	Liquid h _f	Vapor h _g	Liquid s _f	Vapor s _g	Liquid u _f	Vapor u _g	Liquid (c _p) _f	Vapor (c _p) _g
0.10	319.0	1.010	14.67	191.8	2584	0.649	8.148	191.8	2437	4.18	1.91
0.15	327.1	1.014	10.02	226.0	2598	0.755	8.006	226.0	2448	4.18	1.92
0.20	333.2	1.017	7.650	251.5	2609	0.832	7.907	251.5	2456	4.19	1.92
0.25	338.1	1.020	6.204	272.0	2617	0.893	7.830	272.0	2462	4.19	1.93
0.30	342.2	1.022	5.230	289.3	2625	0.944	7.767	289.3	2468	4.19	1.94
0.4	349.0	1.026	3.993	317.6	2636	1.026	7.669	317.6	2476	4.20	1.96
0.5	354.5	1.030	3.241	340.6	2646	1.091	7.594	340.5	2484	4.20	1.97
0.6	359.1	1.033	2.732	359.9	2654	1.145	7.532	359.8	2490	4.20	1.98
0.8	366.7	1.039	2.088	391.7	2666	1.233	7.435	391.6	2499	4.21	2.01
1.0	372.8	1.043	1.694	417.5	2675	1.303	7.360	417.4	2506	4.22	2.03
1.5	384.5	1.053	1.159	467.2	2693	1.434	7.223	467.0	2519	4.23	2.04
2.0	393.4	1.061	0.886	504.7	2706	1.530	7.127	504.5	2529	4.24	2.13
2.5	400.6	1.067	0.719	535.4	2717	1.607	7.052	535.1	2537	4.26	2.17
3.0	406.7	1.073	0.606	561.5	2726	1.672	6.991	561.2	2544	4.27	2.20
4.0	416.8	1.084	0.462	604.8	2738	1.777	6.895	604.4	2553	4.29	2.25
5	425.0	1.094	0.375	640.3	2748	1.861	6.820	639.8	2561	4.31	2.34
6	432.0	1.101	0.317	670.6	2756	1.931	6.759	669.9	2566	4.33	2.40
8	443.6	1.115	0.240	721.1	2768	2.046	6.661	720.2	2576	4.37	2.51
10	453.1	1.127	0.194	762.7	2777	2.138	6.584	761.6	2583	4.40	2.60
15	471.5	1.154	0.132	844.8	2791	2.315	6.442	843.1	2593	4.49	2.86
20	485.5	1.177	0.100	908.6	2798	2.447	6.338	906.2	2598	4.56	3.09
25	497.1	1.197	0.0799	962.0	2802	2.554	6.255	959.0	2602	4.60	3.30
30	506.8	1.216	0.0666	1008.4	2803	2.646	6.185	1004.8	2603	4.64	3.30
40	523.5	1.252	0.0498	1087.3	2801	2.797	6.069	1082.3	2602	4.87	3.93
50	537.1	1.286	0.0394	1154.4	2794	2.921	5.974	1148.0	2597	5.04	4.36
60	548.8	1.319	0.0324	1214	2784	3.027	5.890	1206	2590	5.23	4.81
80	568.2	1.384	0.0235	1317	2759	3.207	5.745	1306	2571	5.66	5.83
100	584.1	1.452	0.0180	1408	2726	3.360	5.617	1393	2546	6.19	7.07
150	615.3	1.658	0.0103	1611	2612	3.685	5.314	1586	2458	8.63	12.7
200	639.0	2.036	0.0059	1827	2416	4.015	4.937	1786	2298		