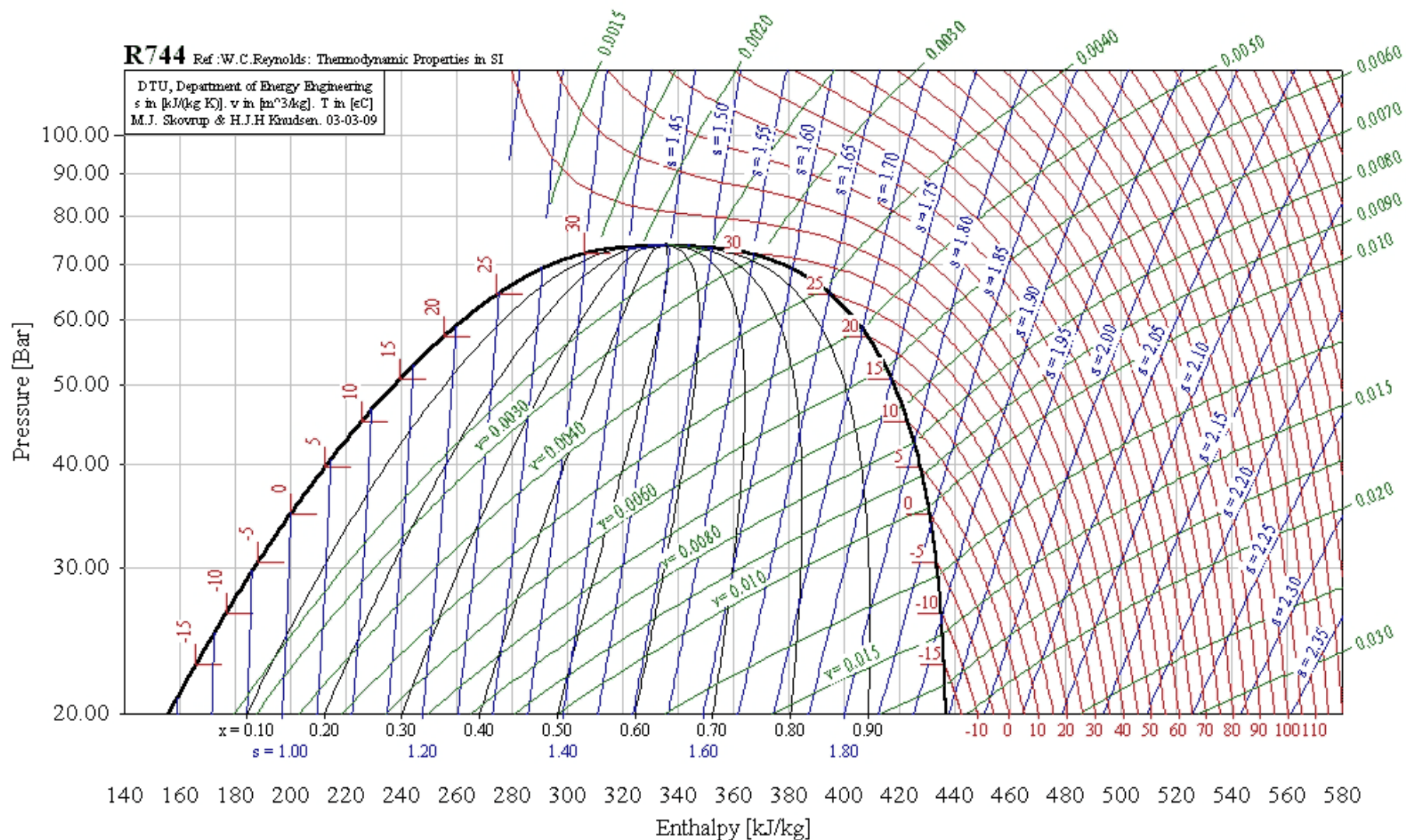


Термодинамические диаграммы

i - $\lg P$ для хладагентов



СОДЕРЖАНИЕ

1	ВВЕДЕНИЕ.....	4
2	Графическое изображение цикла одноступенчатой холодильной машины.....	5
3	R11, CCl ₃ F, Trichlorofluoromethane.....	6
4	R113, CCl ₂ FCClF ₂ , Trichlorotrifluoroethane.....	7
5	R114, CClF ₂ CClF ₂ , Dichlorotetrafluoroethane.....	8
6	R1150, CH ₂ =CH ₂ , Ethene (ethylene).....	9
7	R12, CCl ₂ F ₂ , Dichlorodifluoromethane.....	10
8	R123, CHCl ₂ CF ₃ , Dichlorotrifluoroethane.....	11
9	R1270, CH ₃ CH=CH ₂ , Propene (propylene).....	12
10	R13, CClF ₃ , Chlorotrifluoromethane.....	13
11	R134a, CH ₂ FCF ₃ , 1,1,1,2-tetrafluoroethane.....	14
12	R14, CF ₄ , Tetrafluoromethane.....	15
13	R152a, CH ₃ CHF ₂ , 1,1-difluoroethane.....	16
14	R170, CH ₃ CH ₃ , Ethane.....	17
15	R21, CHCl ₂ F, Dichlorofluoromethane.....	18
16	R22, CHClF ₂ , Chlorodifluoromethane.....	19
17	R23, CHF ₃ , Trifluoromethane.....	20
18	R290, CH ₃ CH ₂ CH ₃ , Propane.....	21
19	R401A, R22/152a/124 (53/13/34), R401A.....	22
20	R401B, R22/152a/124 (61/11/28), R401B.....	23
21	R401C, R22/152a/124 (33/15/52), R401C.....	24
22	R402A, R125/290/22 (60/2/38), R402A.....	25
23	R402B, R125/290/22 (38/2/60), R402B.....	26
24	R404A, R125/143a/134a (44/52/4), R404A.....	27
25	R406A, R22/142b/600a (55/41/4), R406A.....	28
26	R407A, R32/125/134a (20/40/40), R407A.....	29
27	R407B, R32/125/134a (10/70/20), R407B.....	30
28	R407C, R32/125/134a (23/25/52), R407C.....	31
29	R408A, R22/143a/125 (47/46/7), R408A.....	32
30	R409A, R22/124/142b (60/25/15), R409A.....	33
31	R410A, R32/125 (50/50), R410A.....	34
32	R410B, R32/125 (45/55), R410B.....	35
33	R50, CH ₄ , Methane.....	36
34	R500, R12/152a (73.8/26.2), R500.....	37
35	R502, R22/115 (48.8/51.2), R502.....	38
36	R507, R125/143a (50/50), R507.....	39
37	R508A, R23/116 (39/61), R508A.....	40
38	R600, CH ₃ CH ₂ CH ₂ CH ₃ , Butane.....	41
39	R600a, CH(CH ₃) ₃ , 2-methyl propane (isobutane).....	42
40	R717, NH ₃ , Ammonia.....	43
41	R718, H ₂ O, Water.....	44
42	R728, N ₂ , Nitrogen.....	45
43	R729, N ₂ /O ₂ /A (76/23/1), Air.....	46
44	R732, O ₂ , Oxygen.....	47
45	R740, A, Argon.....	48
46	R744, CO ₂ , Carbon dioxide.....	49
47	RC318, C ₄ F ₈ , Octafluorocyclobutane.....	50

ВВЕДЕНИЕ

Для понимания цикла паровой компрессионной холодильной машины необходимо тщательно изучить отдельные процессы, входящие в него, а также связи, существующие между отдельными процессами, и влияние изменений в каком-либо процессе цикла на все другие процессы данного цикла. Это изучение в значительной степени можно упростить, используя диаграммы и схемы с графическим изображением цикла (см. рис. 1). Графическое изображение холодильного цикла позволяет рассматривать одновременно различные изменения в состоянии хладагента, происходящие в течение цикла, и влияние этих изменений на цикл без воспроизведения в памяти различных цифровых величин, связанных с циклом [1].

Наиболее распространенной в холодильной технике является диаграмма $i - \lg P^*$ (удельная энтальпия - давление) как наиболее удобная для последующих тепловых расчетов.

Состояние хладагента, находящегося в любом термодинамическом виде, может быть показано на диаграмме в виде точки, которая определяется двумя любыми параметрами, соответствующими данному состоянию. При этом могут быть использованы *простые измеряемые параметры*: температура (в °С или К); давление (в Па или в производных единицах: 1 кПа=10³ Па, 1 МПа=10⁶ Па=10 бар), а также *удельный объем* v (в м³/кг) или *плотность* $\rho=1/v$, кг/м³.

Кроме простых измеряемых параметров, используют также *сложные расчетные параметры*. На диаграмме $i - \lg P$ таким (одним из основных) параметром является удельная энтальпия i , кДж/кг. Это полная энергия хладагента I , отнесенная к единице массы.

В термодинамике удельную энтальпию i представляют в виде суммы внутренней энергии u , кДж/кг, и произведения абсолютного давления P , Па, на удельный объем v , м³/кг.

$$i=u+Pv$$

В этом выражении произведение Pv представляет собой потенциальную энергию давления P , которая используется на совершение работы.

Расчетным параметром является и *энтропия* S . В расчетах и на диаграммах используют удельное значение энтропии s , кДж/(кг·К).

Так же, как и в случае энтальпии, для расчетов важно не значение энтропии «в точке», а ее изменение в каком-то процессе, то есть $\Delta s = \Delta q / T_m$, где Δq – теплота, отнесенная к единице массы хладагента, а T_m , К – средняя абсолютная температура в течение процесса теплообмена между хладагентом и внешней средой [2].

Для работы с диаграммой надо помнить, что она делится на три зоны:

- переохлажденной жидкости – слева от кривой насыщенной жидкости (на диаграммах кривая черного цвета, имеющая максимальную толщину), где степень сухости пара $x=0$;
- парожидкостной смеси – между кривыми $x=0$ и $x=1$ – насыщенный пар;
- перегретого пара – справа от линии $x=1$.

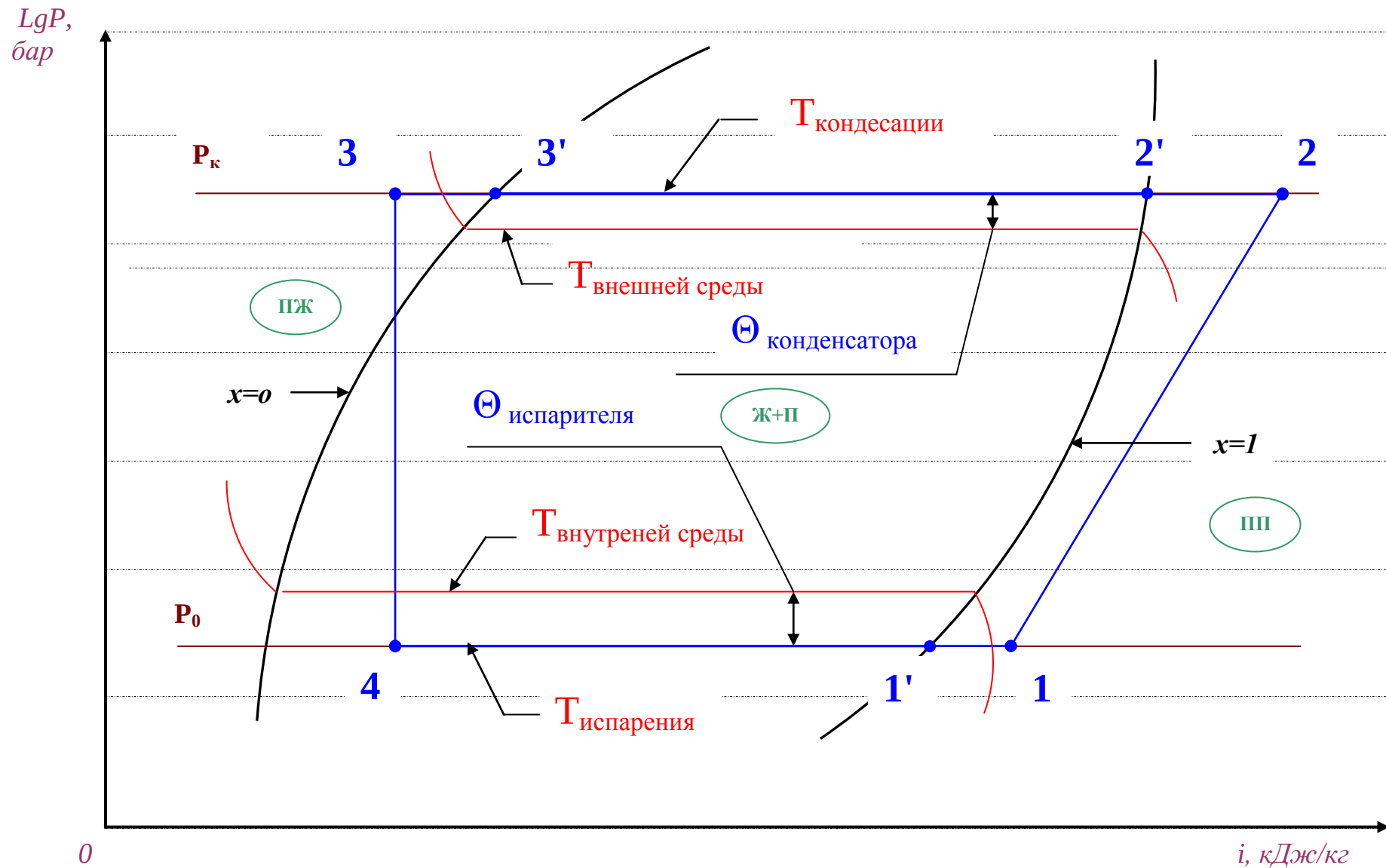
Линию, соответствующую насыщенной жидкости ($x=0$) называют левой, или нижней, пограничной кривой, а линию, соответствующую насыщенному пару ($x=1$), называют правой, или верхней, пограничной кривой.

Линии постоянного давления – изобары – на диаграммах проходят горизонтально, а линии постоянной энтальпии – изоэнтальпы – вертикально (серые тонкие линии прямоугольной сетки).

Процессы кипения и конденсации хладагента при постоянном давлении проходят между пограничными кривыми при неизменной (постоянной) температуре, соответствующей температуре насыщения при постоянном давлении.

* Логарифмическая ось давления принимается в целях уменьшения масштаба диаграммы [3].

Графическое изображение цикла одноступенчатой холодильной машины (1→2→3→4)

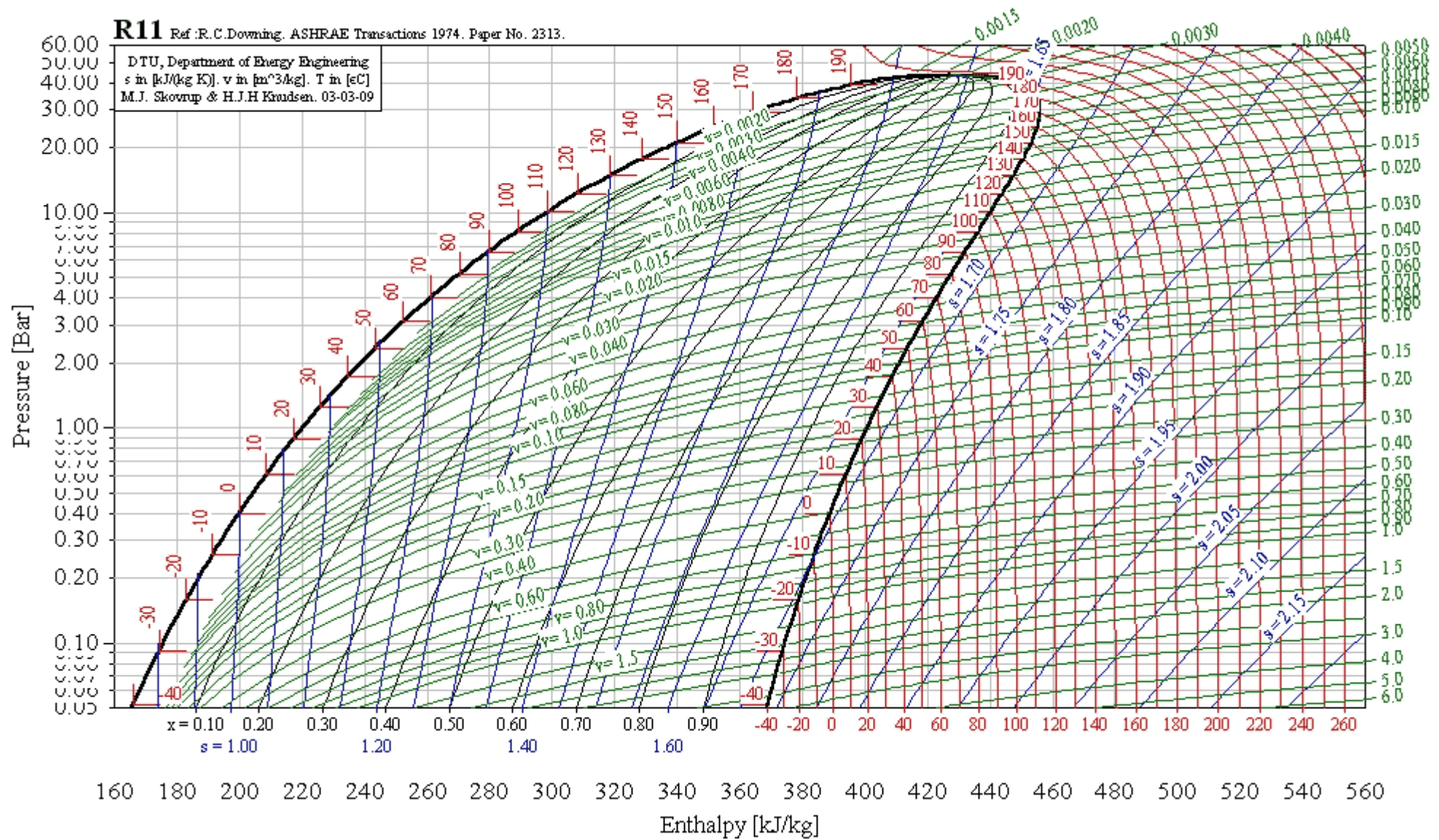


$q_0 \geq i_1 - i_4$, кДж/кг – удельная холодопроизводительность
 $q_k \leq i_2 - i_3$, кДж/кг – теплоотвод в конденсаторе
 $l = i_2 - i_1$, кДж/кг – работа процесса сжатия компрессора

Рис. 1

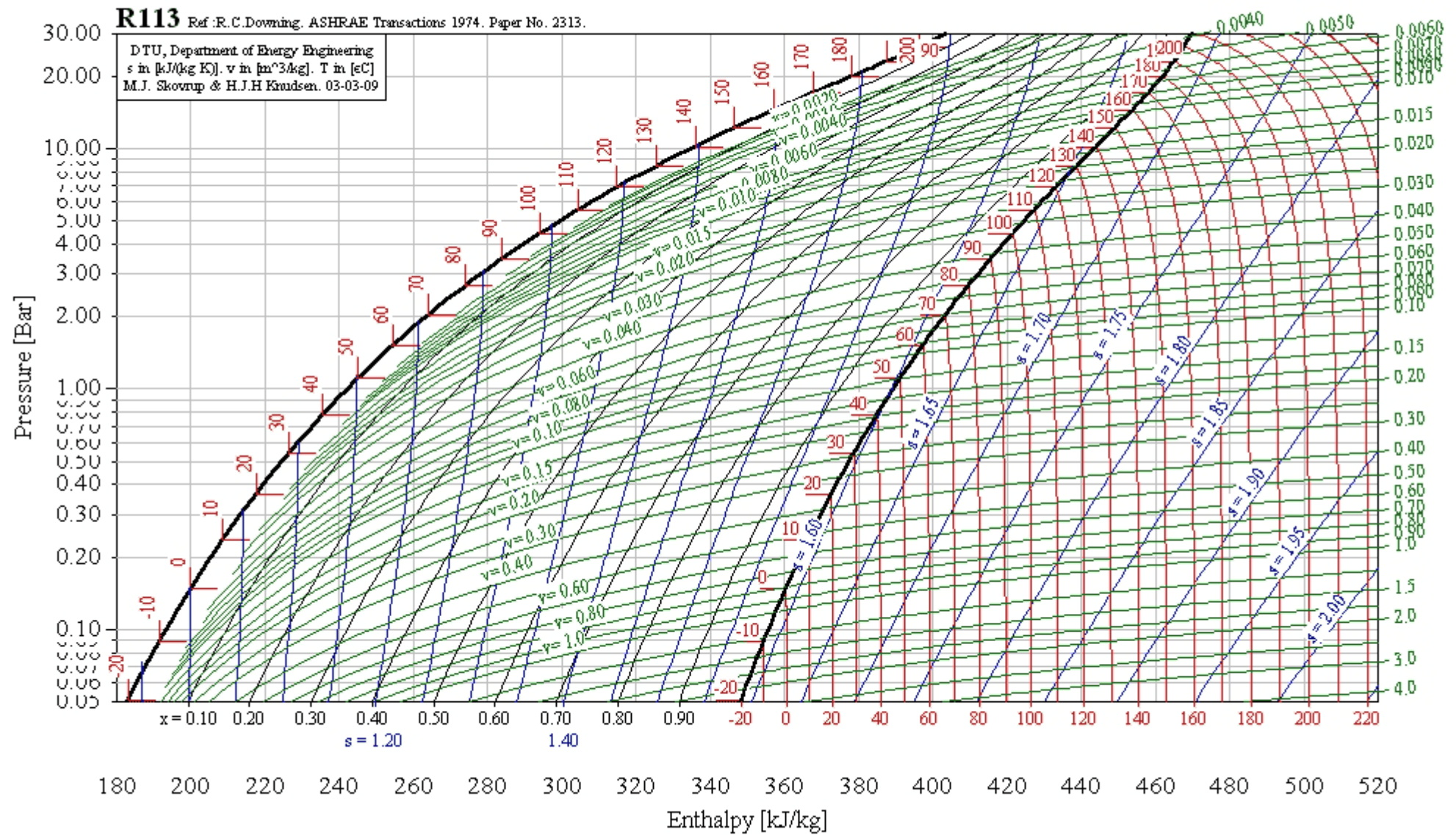
R11, CCl₃F, Trichlorofluoromethane [4]

T critical = 198.01 °C, p critical = 44.02600 Bar, v critical = 0.00182 m³/kg



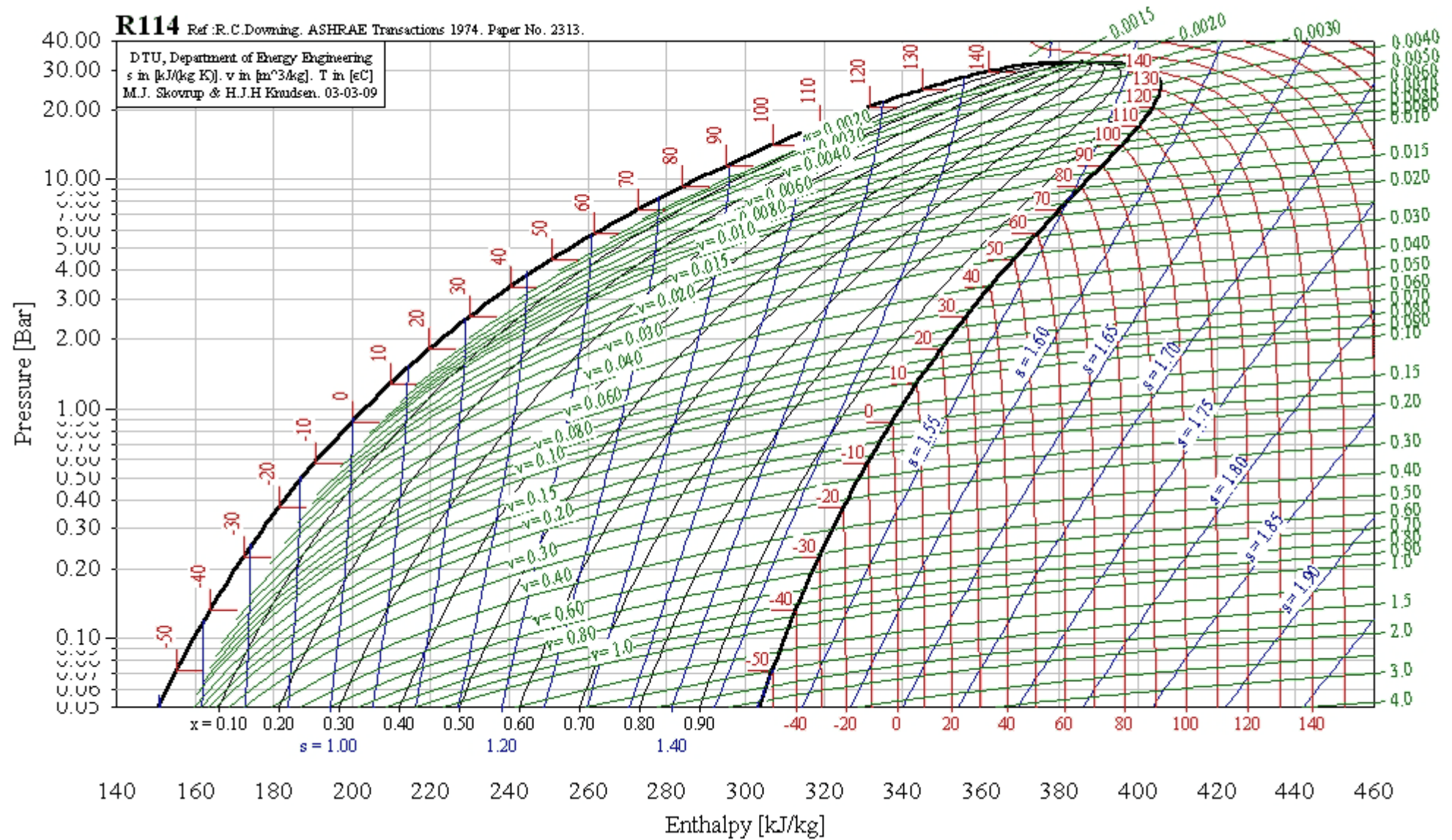
R113, $\text{CCl}_2\text{FCClF}_2$, Trichlorotrifluoroethane

$T_{\text{critical}} = 214.10\text{ }^\circ\text{C}$, $p_{\text{critical}} = 34.37000\text{ Bar}$, $v_{\text{critical}} = 0.00174\text{ m}^3/\text{kg}$



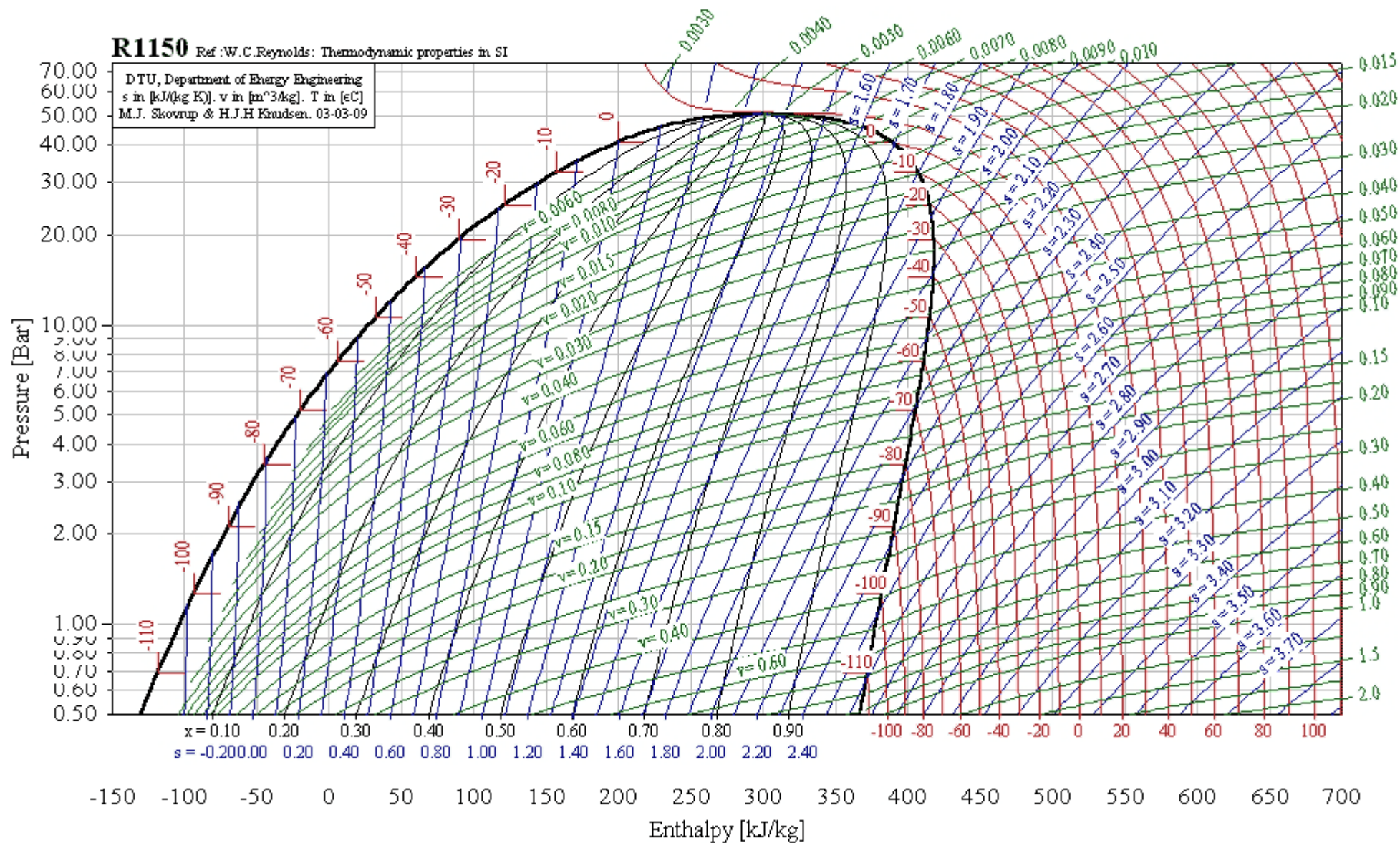
R114, $\text{CClF}_2\text{CClF}_2$, Dichlorotetrafluoroethane

$T_{\text{critical}} = 145.70\text{ }^{\circ}\text{C}$, $p_{\text{critical}} = 32.59000\text{ Bar}$, $v_{\text{critical}} = 0.00172\text{ m}^3/\text{kg}$



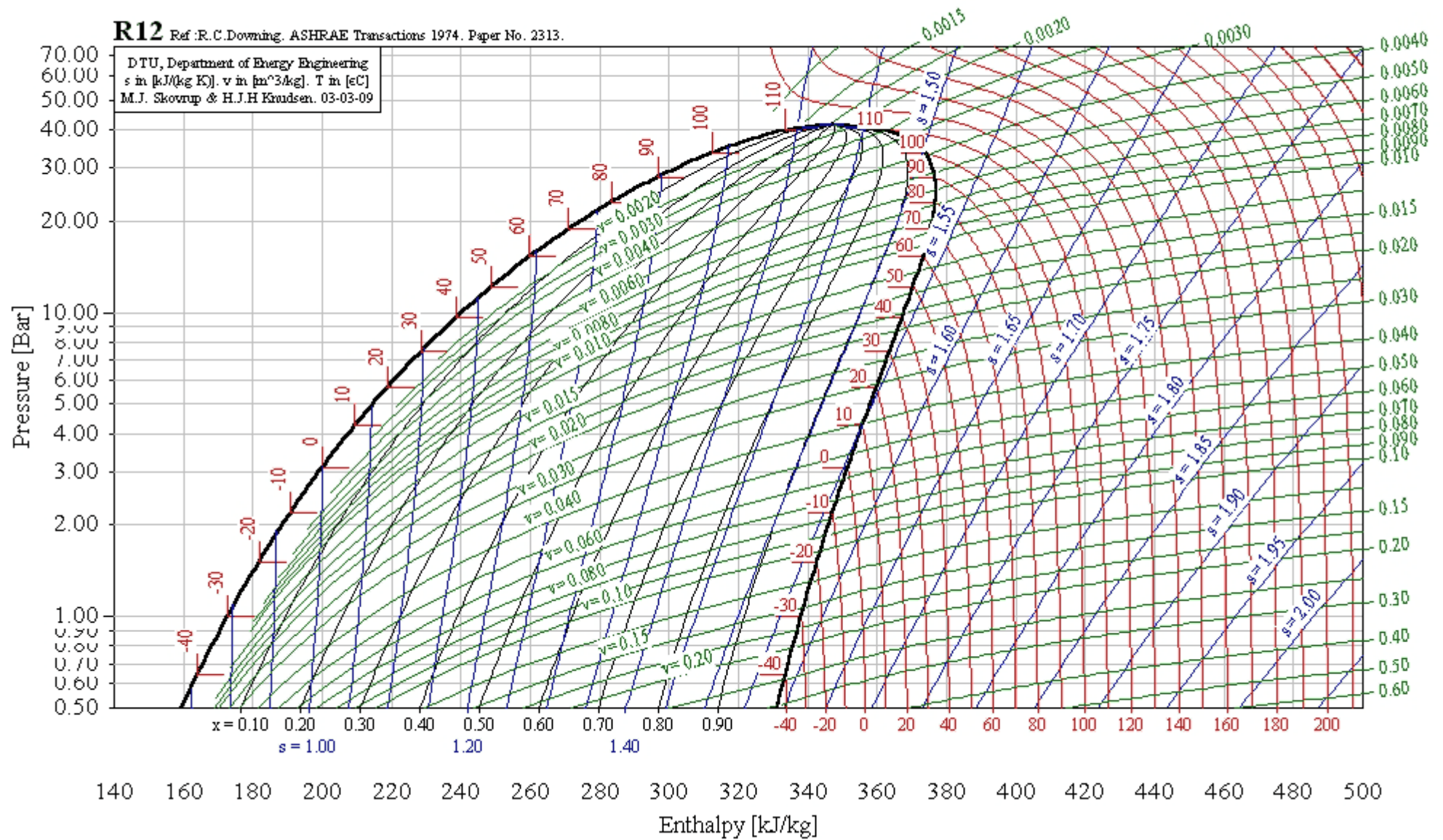
R1150, CH₂=CH₂, Ethene (ethylene)

T critical = 9.50 °C, p critical = 50.75000 Bar, v critical = 0.00462 m³/kg



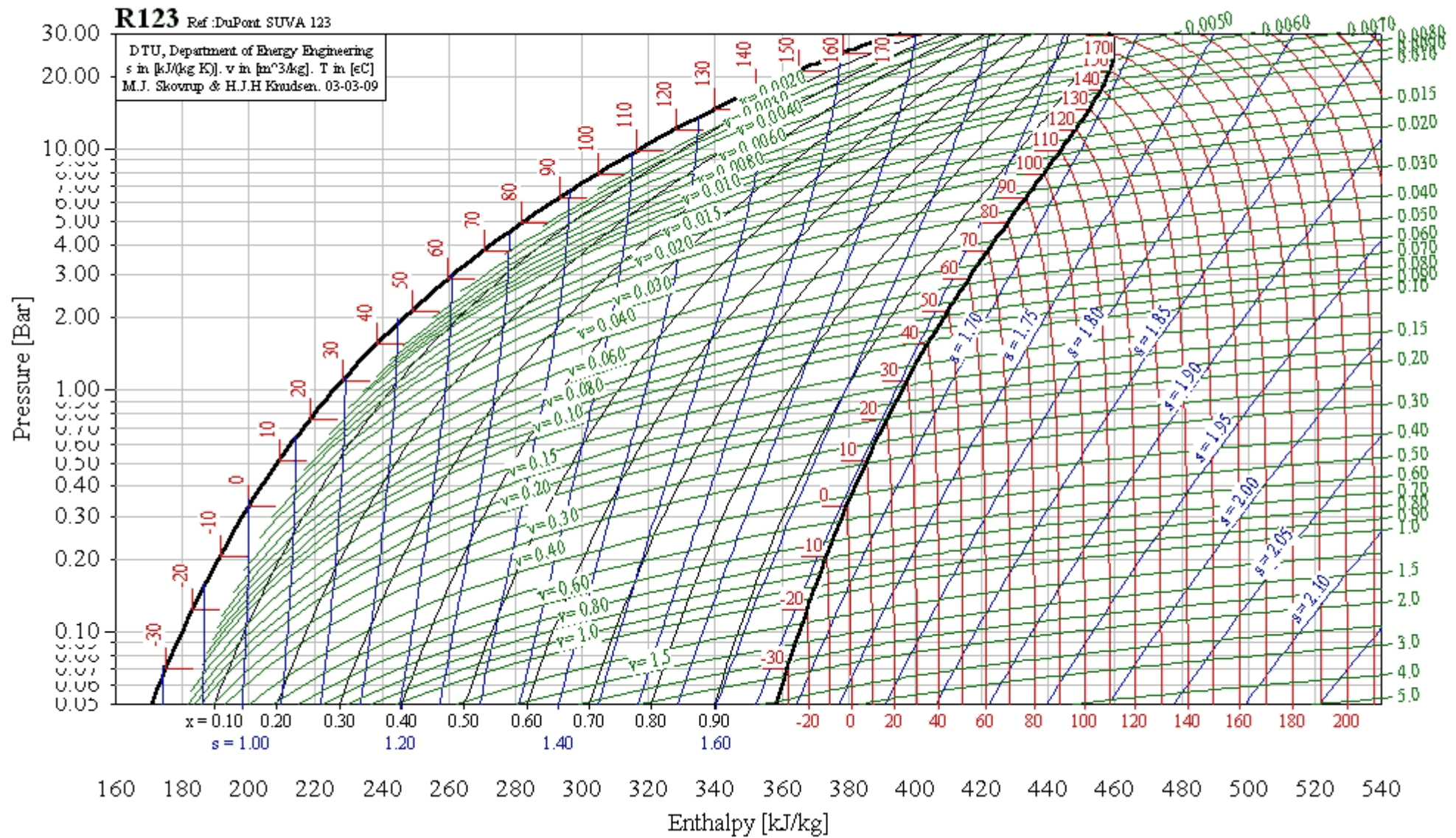
R12, CCl₂F₂, Dichlorodifluoromethane

T critical = 112.00 °C, p critical = 41.57600 Bar, v critical = 0.00179 m³/kg



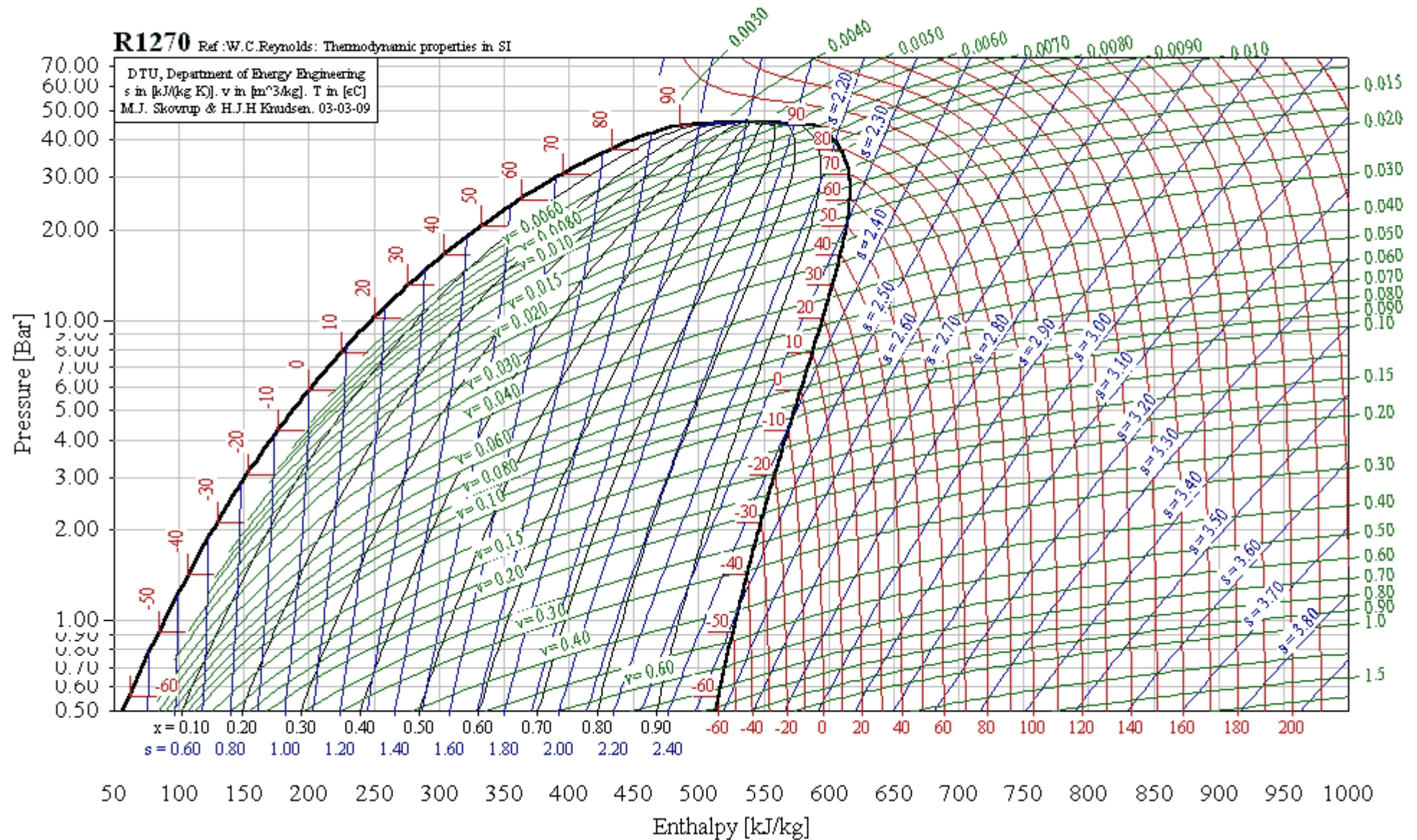
R123, CHCl₂CF₃, Dichlorotrifluoroethane

T critical = 183.68 °C, p critical = 36.68000 Bar, v critical = 0.00182 m³/kg



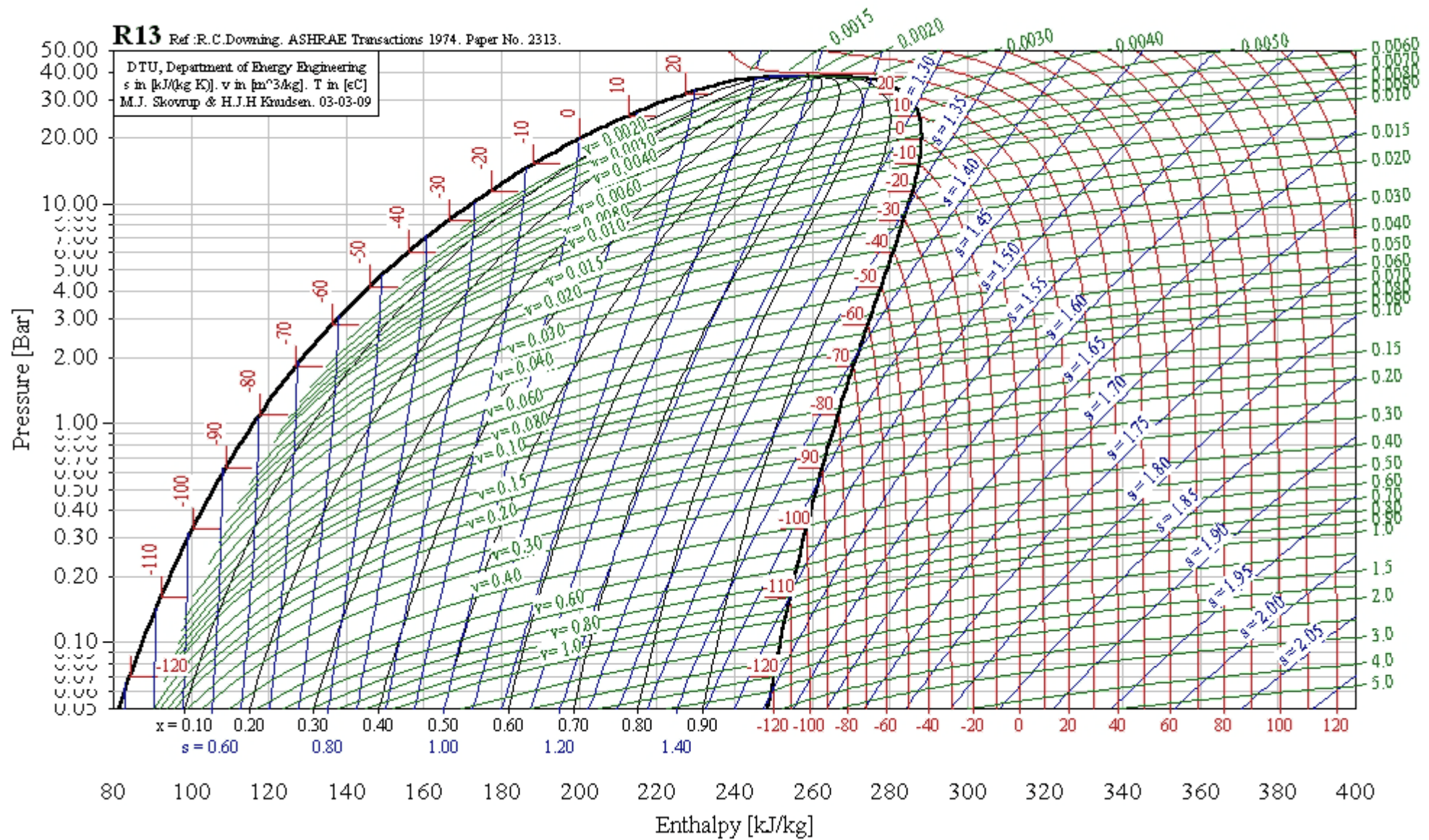
R1270, CH₃CH=CH₂, Propene (propylene)

T critical = 91.75 °C, p critical = 46.13000 Bar, v critical = 0.00441 m³/kg



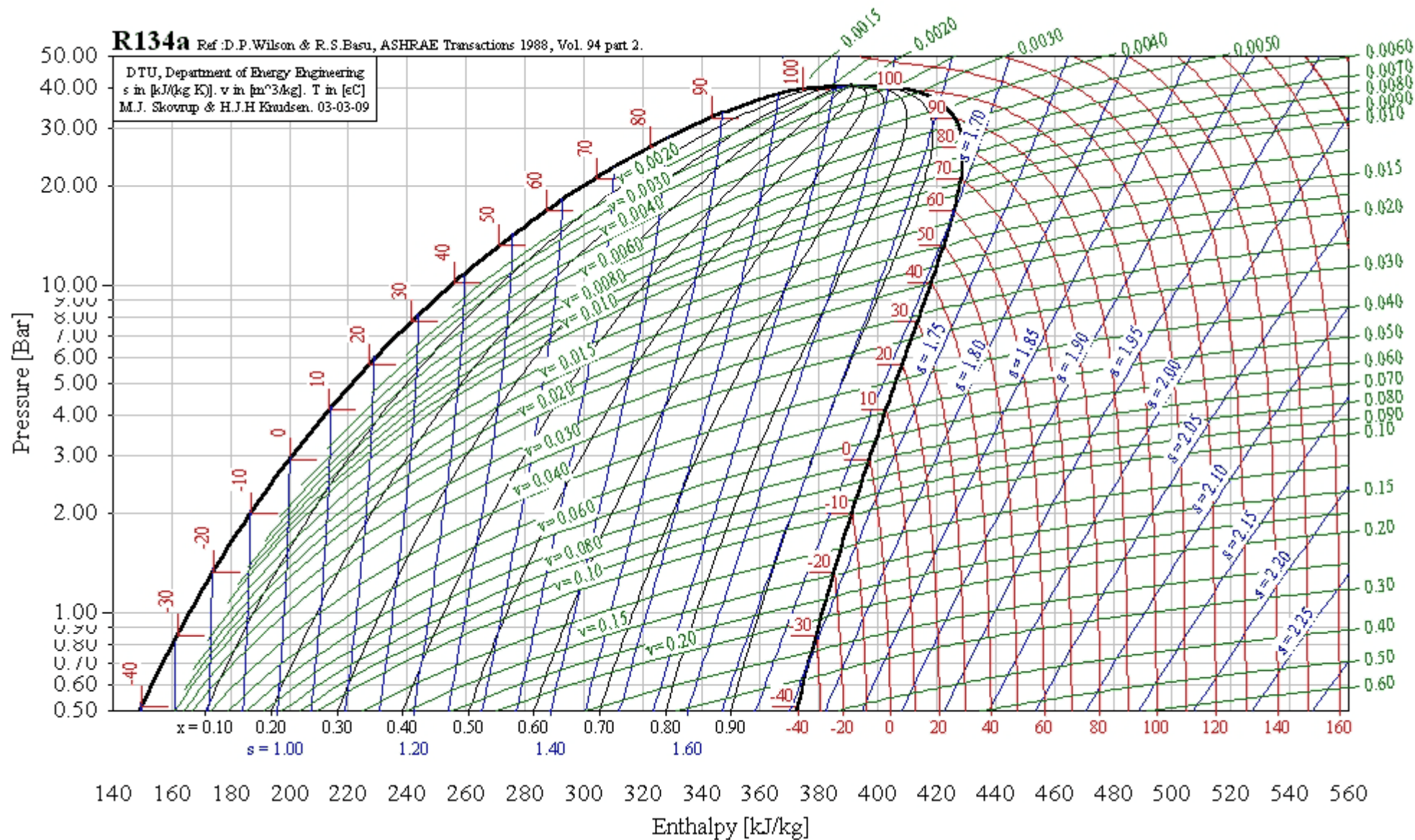
R13, CClF_3 , Chlorotrifluoromethane

$T_{\text{critical}} = 28.80\text{ }^{\circ}\text{C}$, $p_{\text{critical}} = 38.65000\text{ Bar}$, $v_{\text{critical}} = 0.00173\text{ m}^3/\text{kg}$



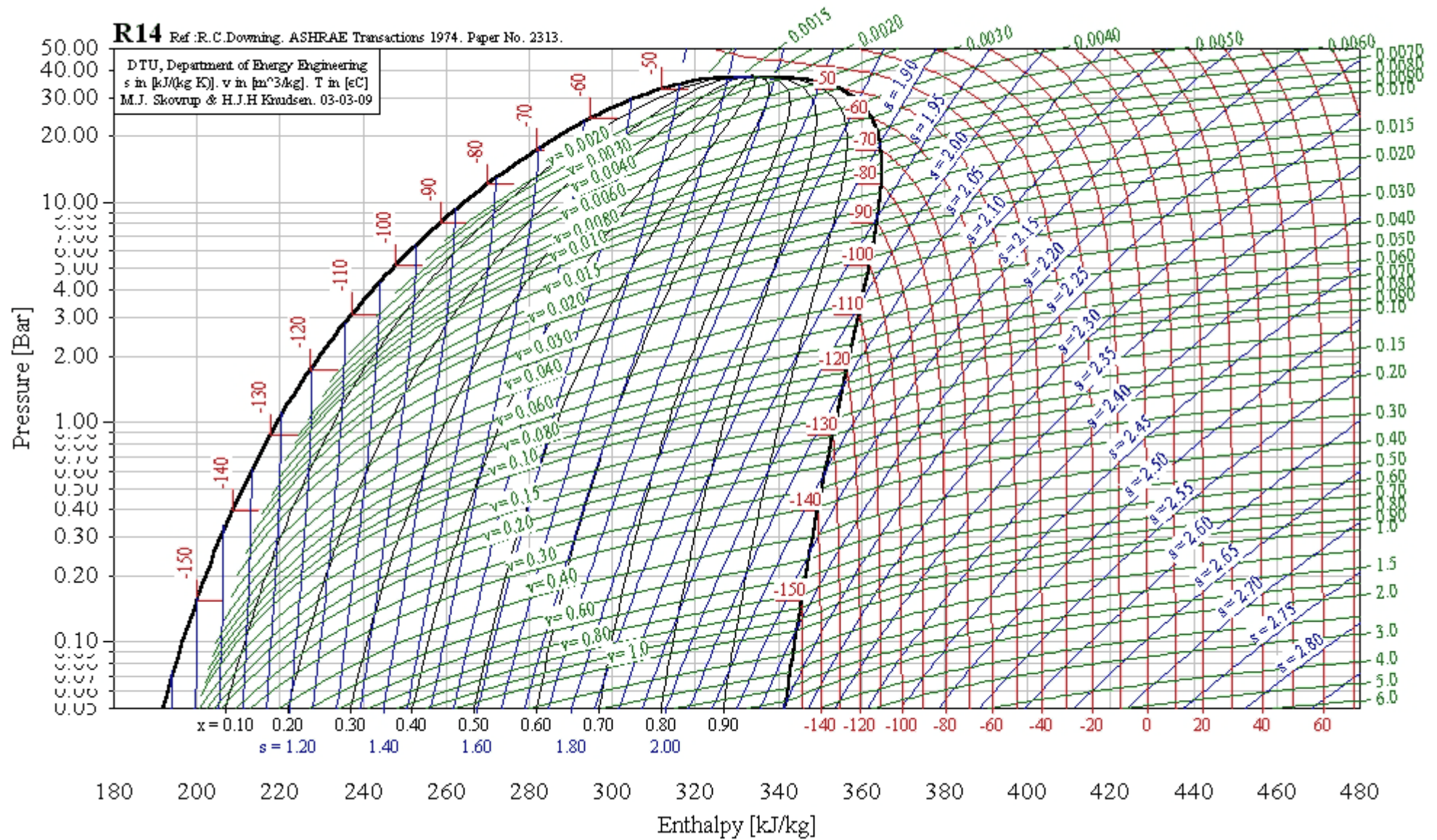
R134a, CH₂FCF₃, 1,1,1,2-tetrafluoroethane

T critical = 101.10 °C, p critical = 40.67000 Bar, v critical = 0.00195 m³/kg



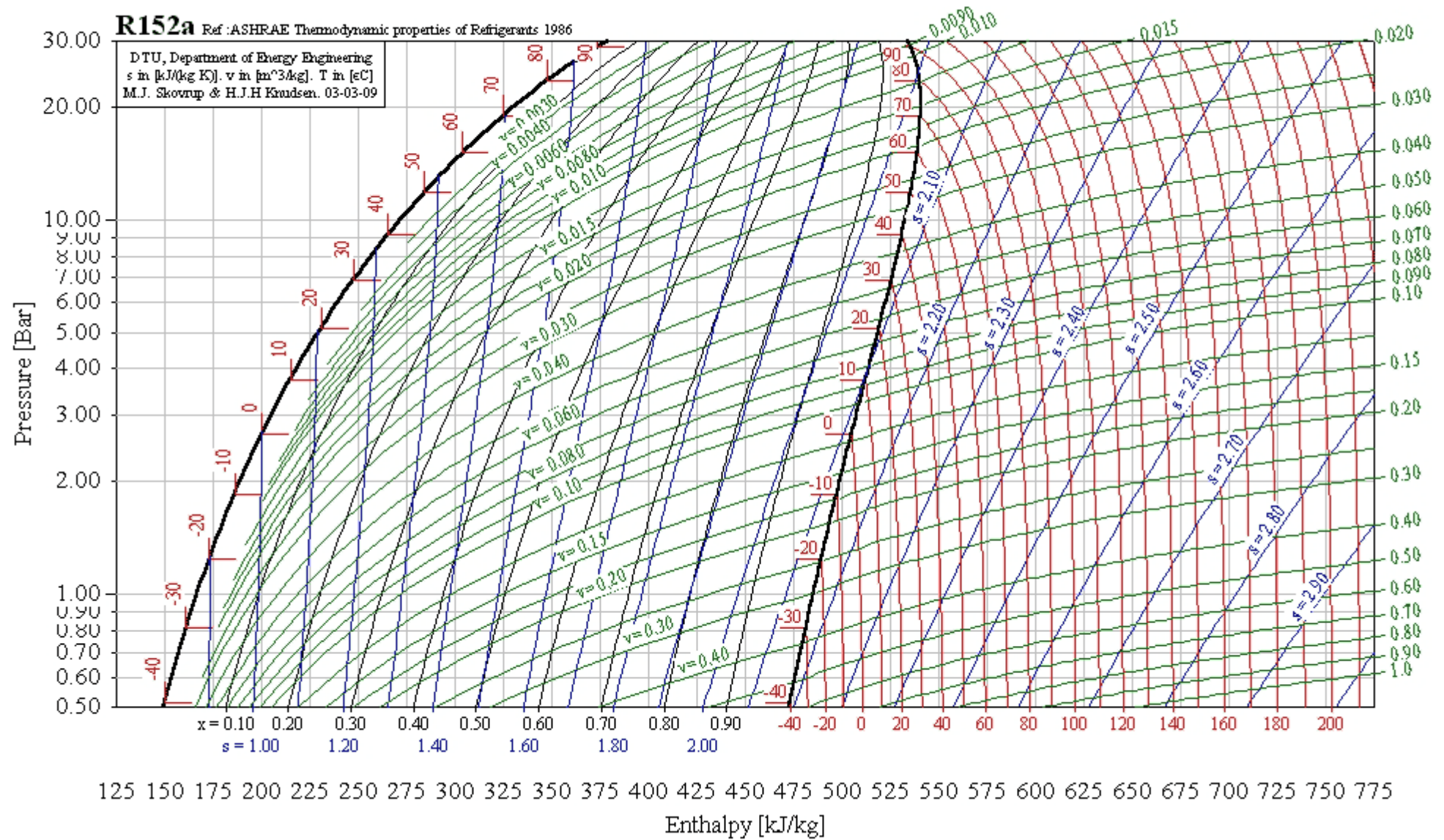
R14, CF₄, Tetrafluoromethane

T critical = -45.70 °C, p critical = 37.41000 Bar, v critical = 0.00160 m³/kg



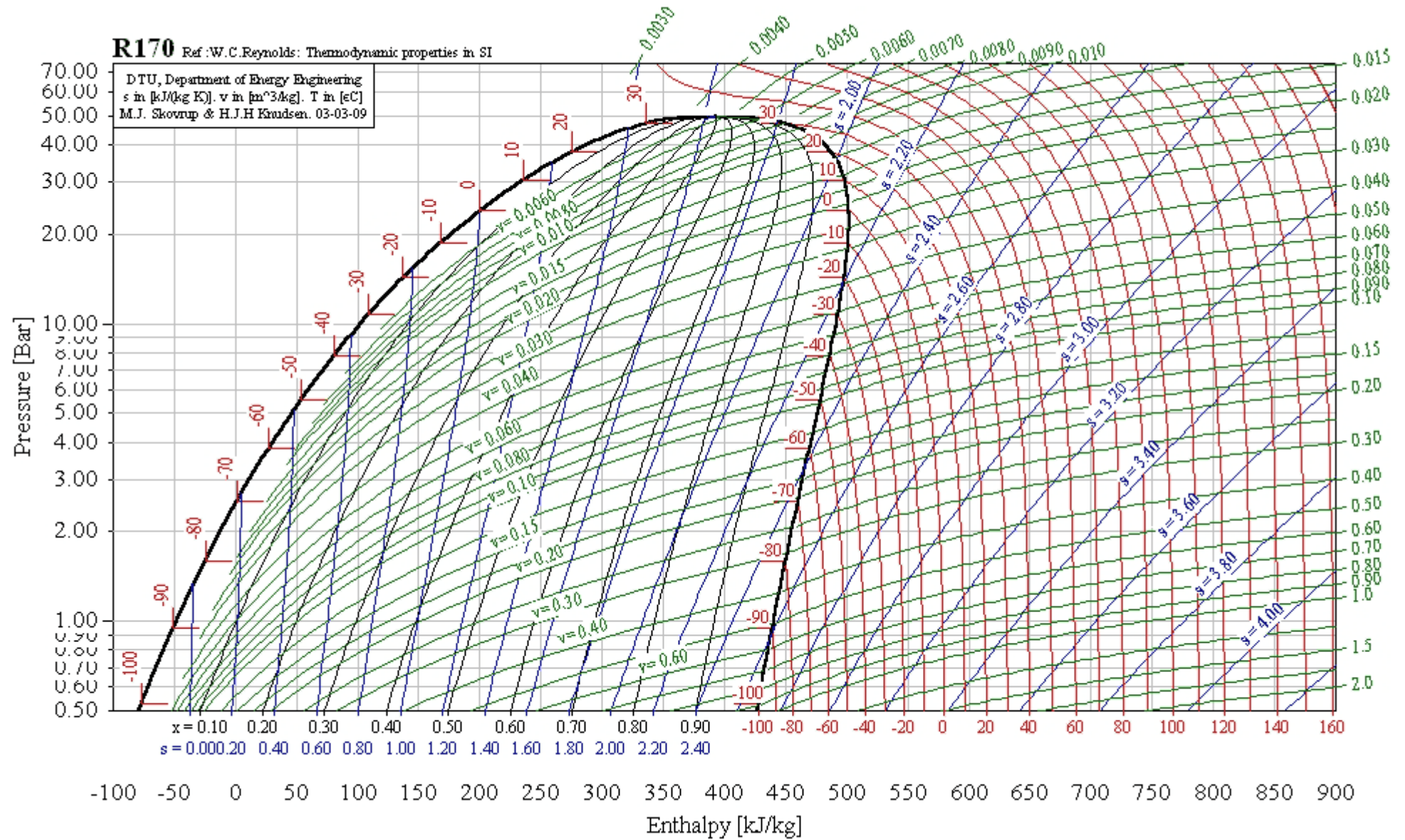
R152a, CH₃CHF₂, 1,1-difluoroethane

T critical = 113.50 °C, p critical = 44.95000 Bar, v critical = 0.00274 m³/kg



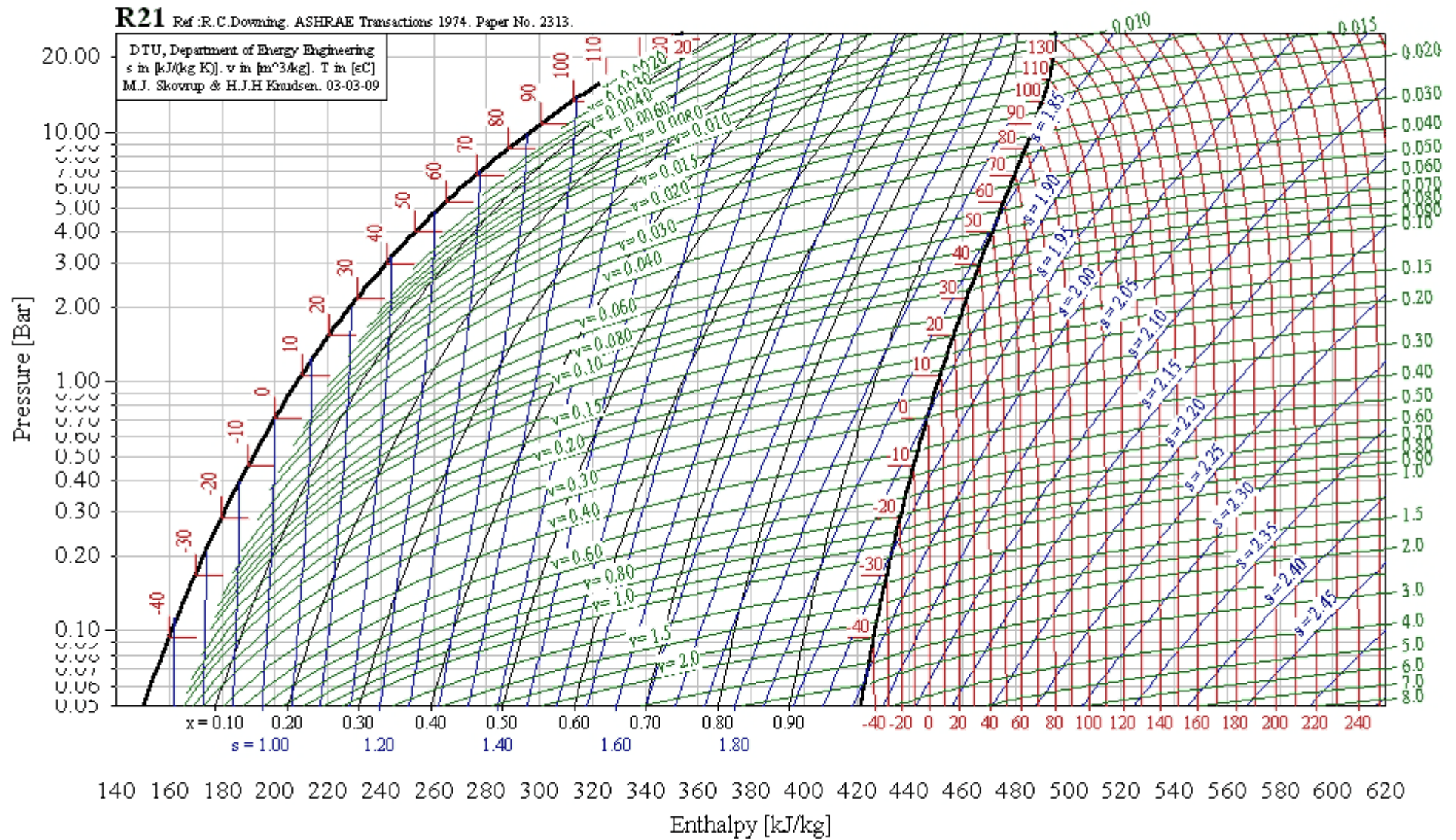
R170, CH₃CH₃, Ethane

T critical = 32.73 °C, p critical = 50.10200 Bar, v critical = 0.00460 m³/kg



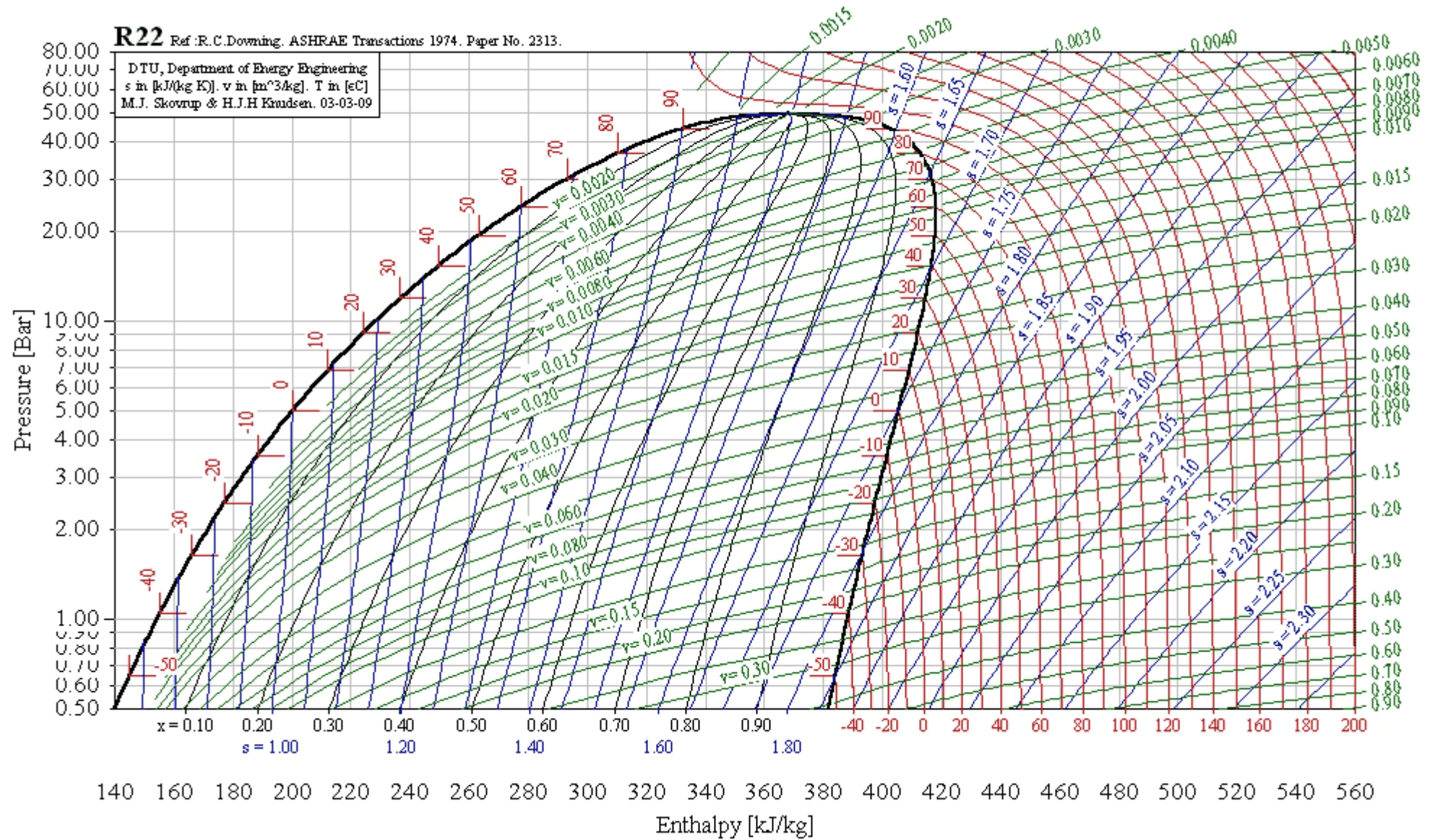
R21, CHCl₂F, Dichlorofluoromethane

T critical = 178.50 °C, **p** critical = 51.68000 Bar, **v** critical = 0.00192 m³/kg



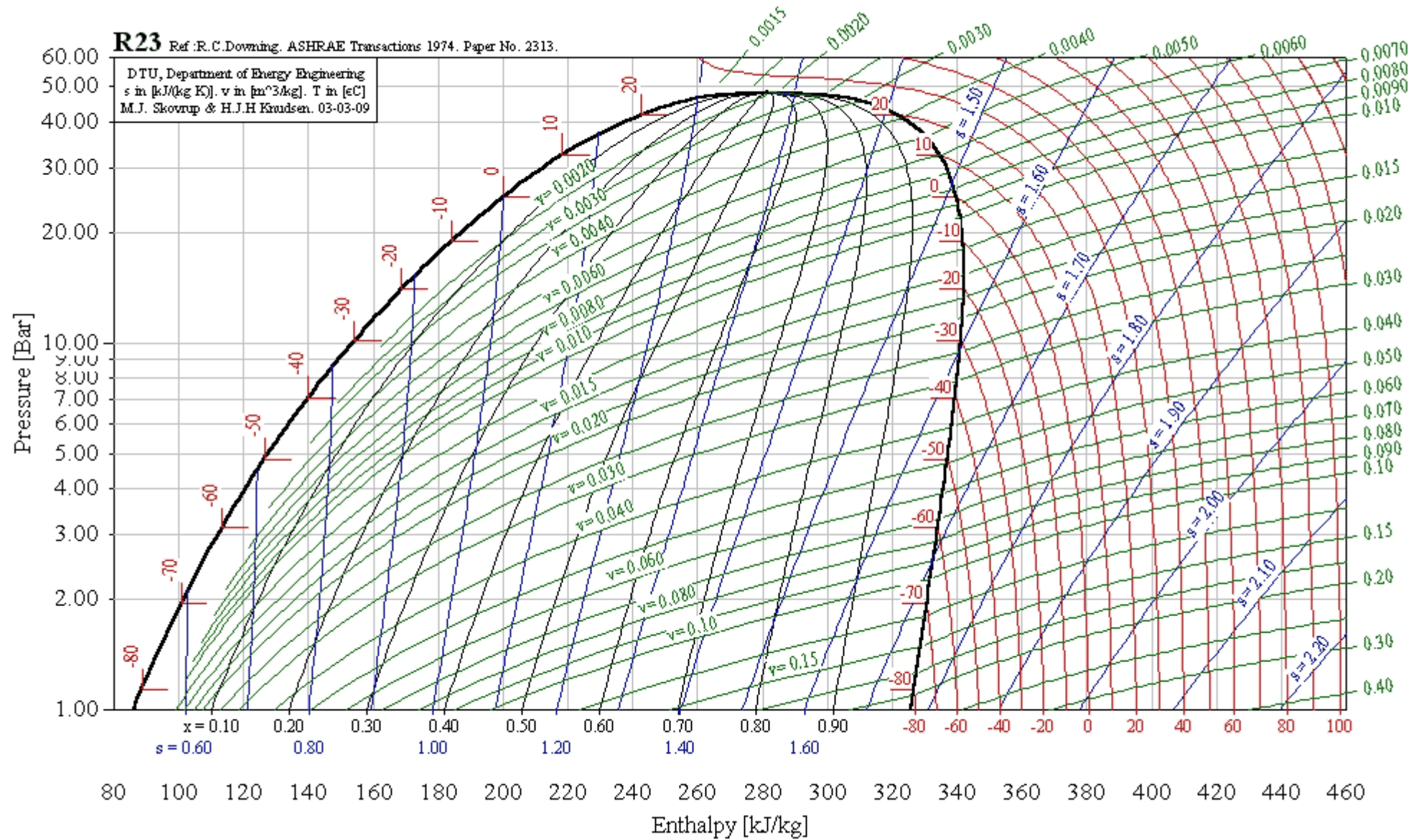
R22, CHClF₂, Chlorodifluoromethane

T critical = 96.00 °C, p critical = 49.77400 Bar, v critical = 0.00191 m³/kg



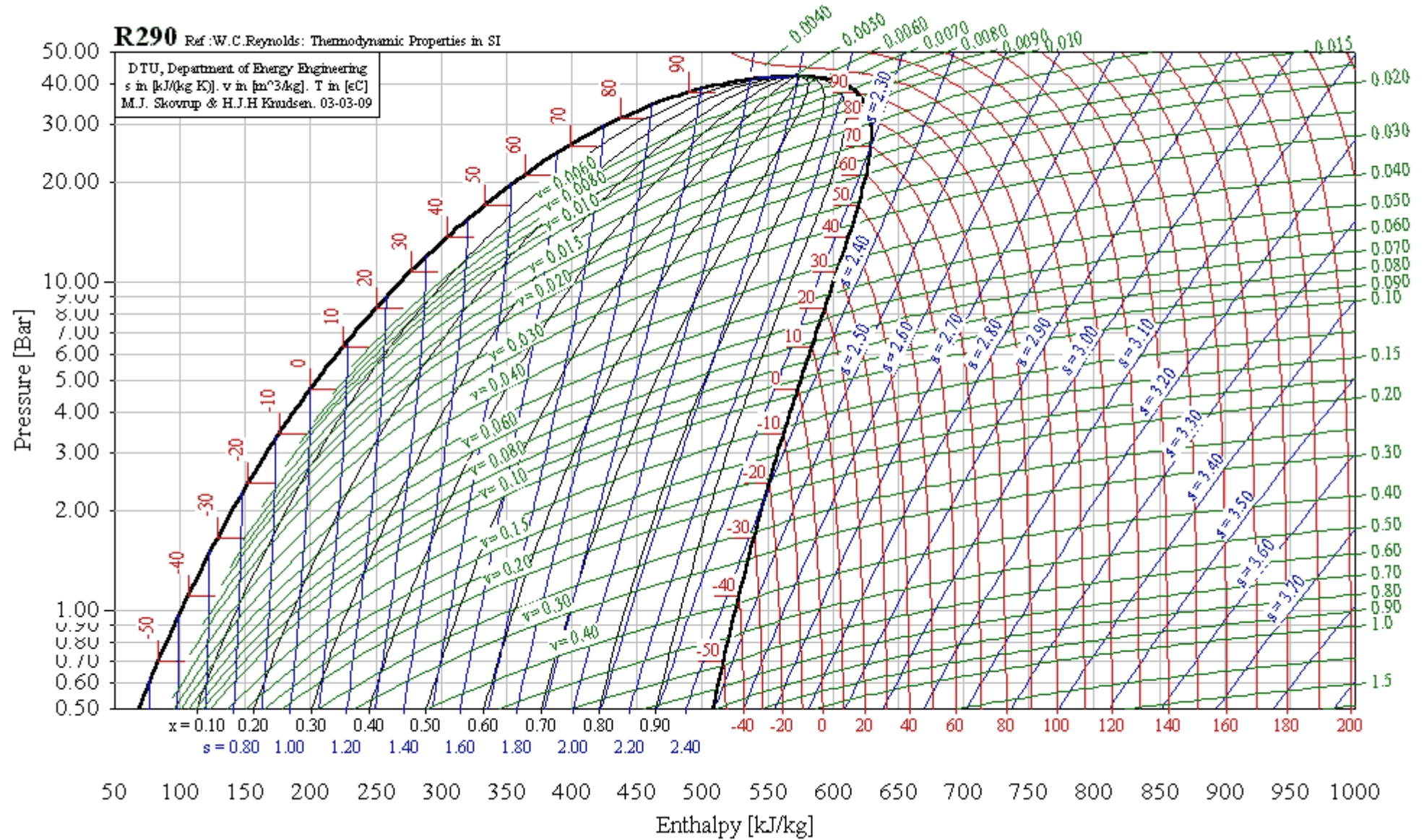
R23, CHF₃, Trifluoromethane

T critical = 25.90 °C, p critical = 48.30000 Bar, v critical = 0.00191 m³/kg



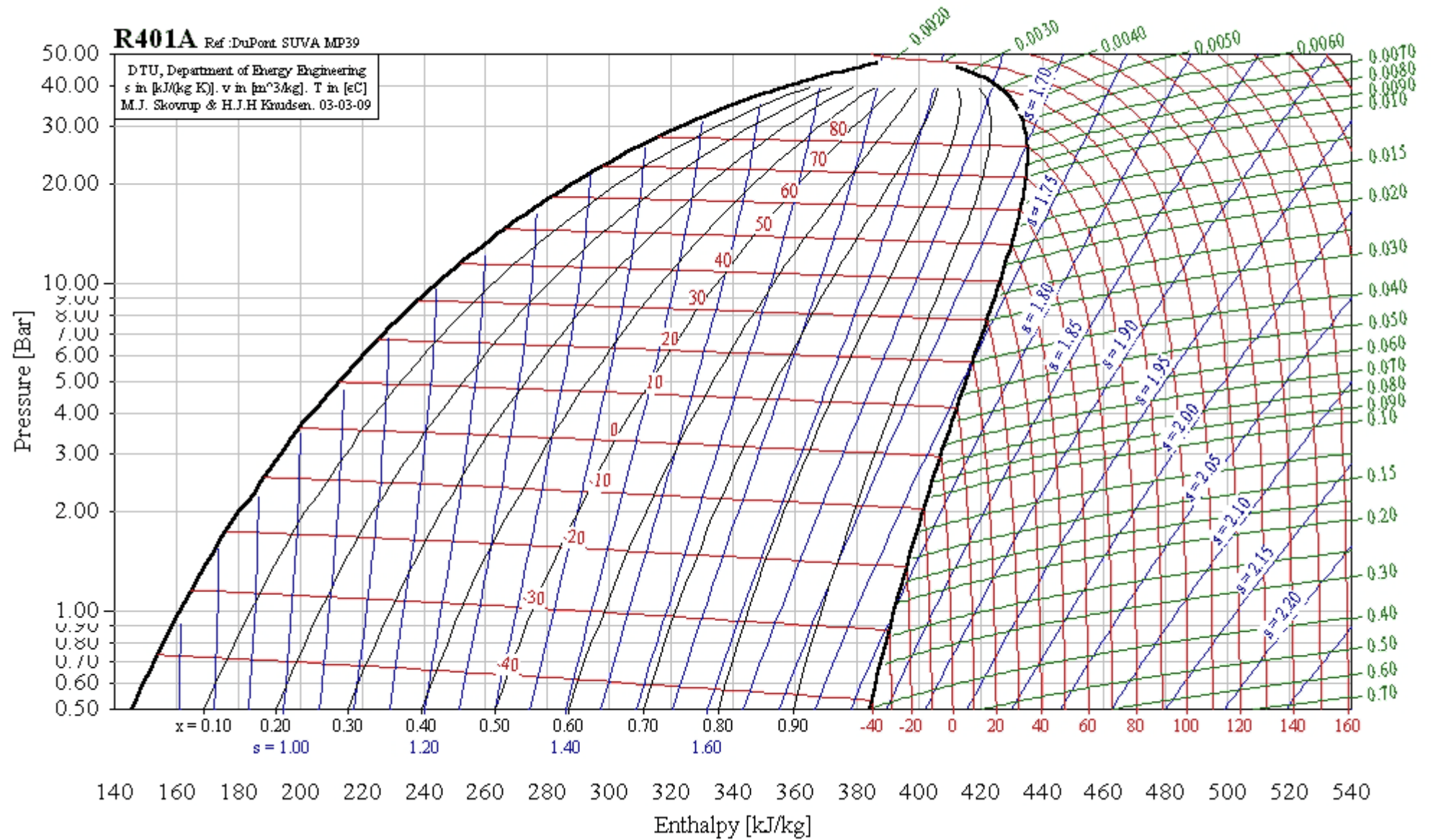
R290, CH₃CH₂CH₃, Propane

T critical = 96.67 °C, p critical = 42.35930 Bar, v critical = 0.00507 m³/kg



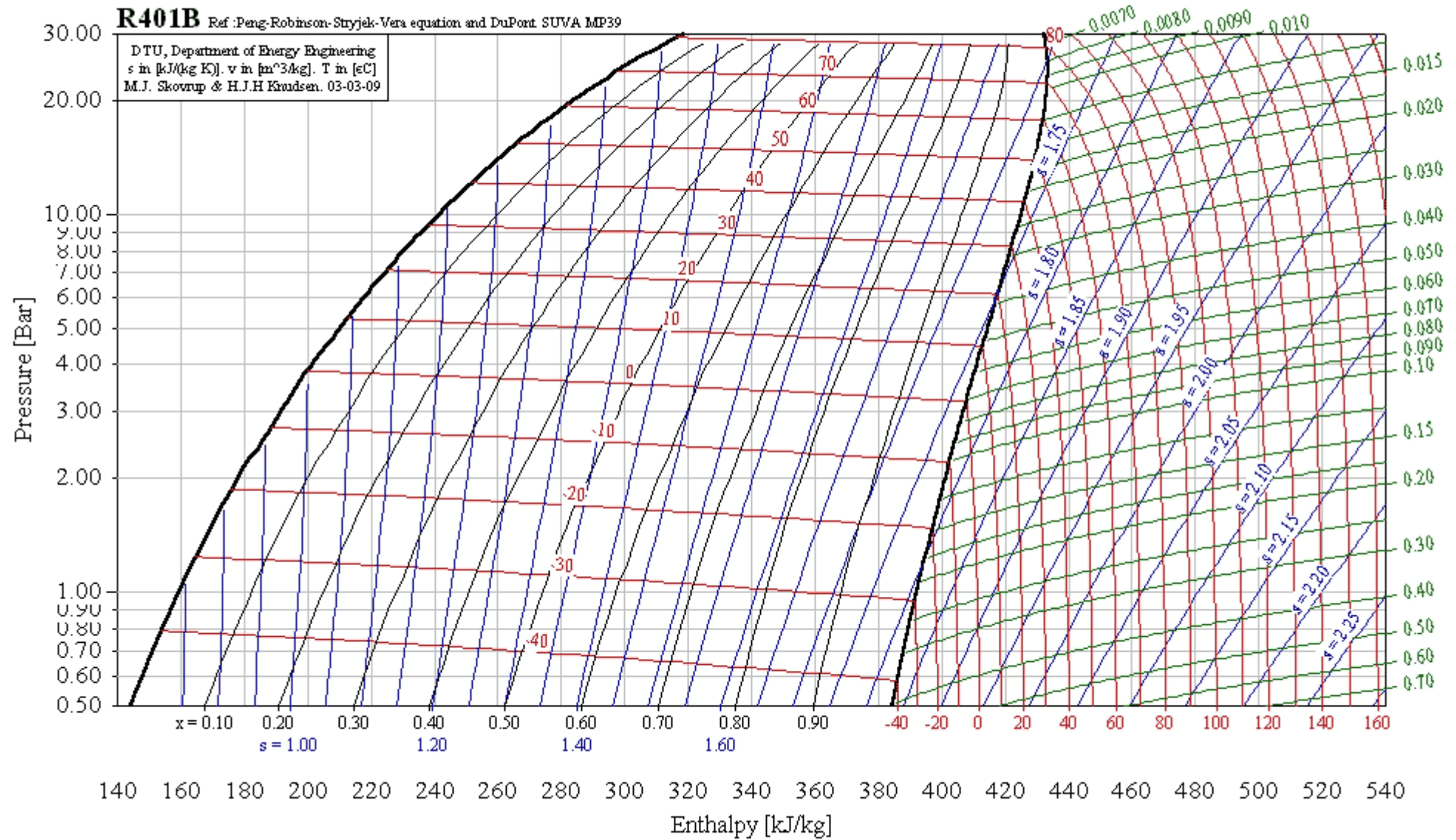
R401A, R22/152a/124 (53/13/34), R401A

T critical = 108.01 °C, p critical = 46.03800 Bar, v critical = 0.00196 m³/kg



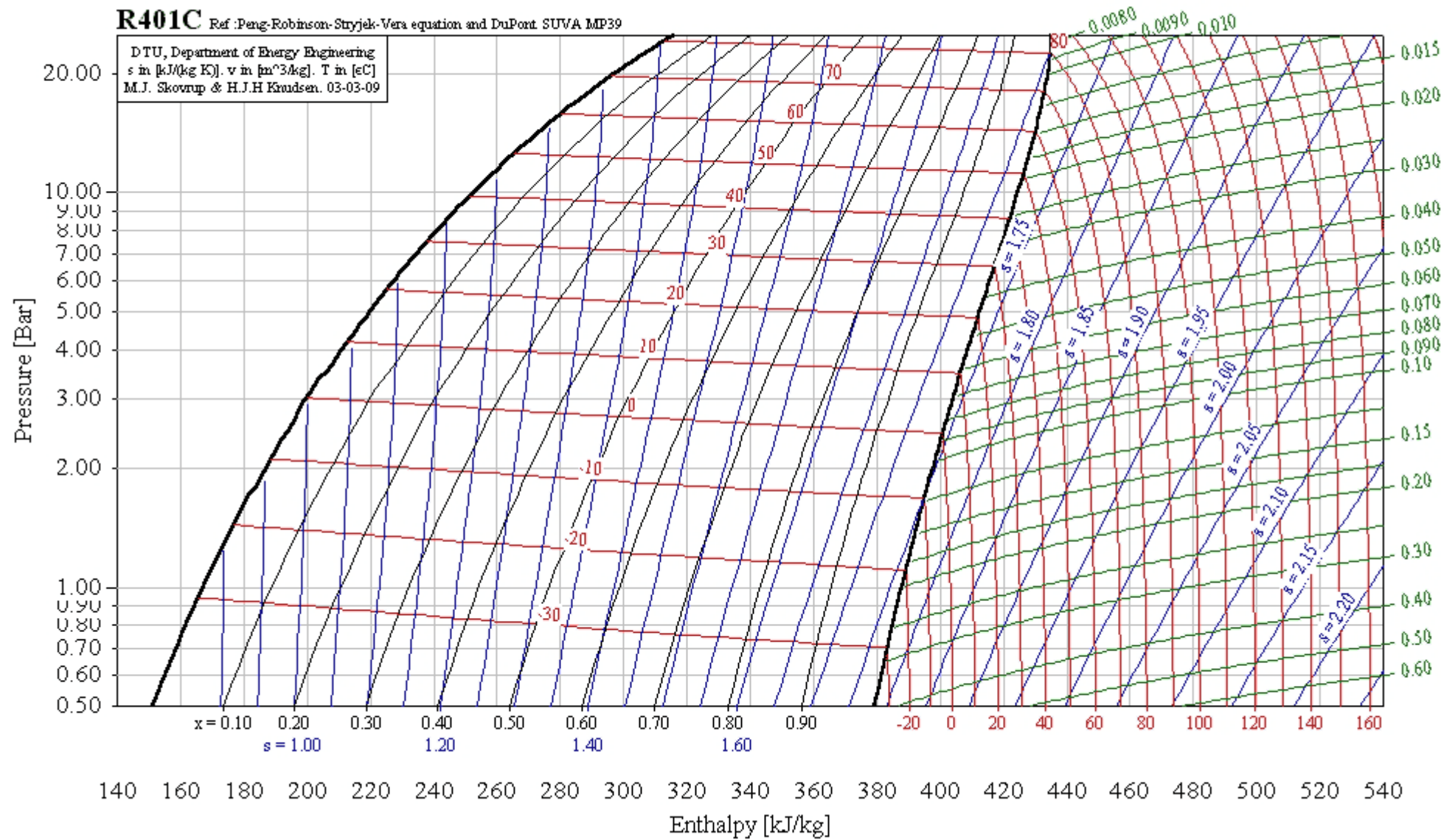
R401B, R22/152a/124 (61/11/28), R401B

T critical = 103.68 °C, p critical = 46.47049 Bar, v critical = 0.00201 m³/kg



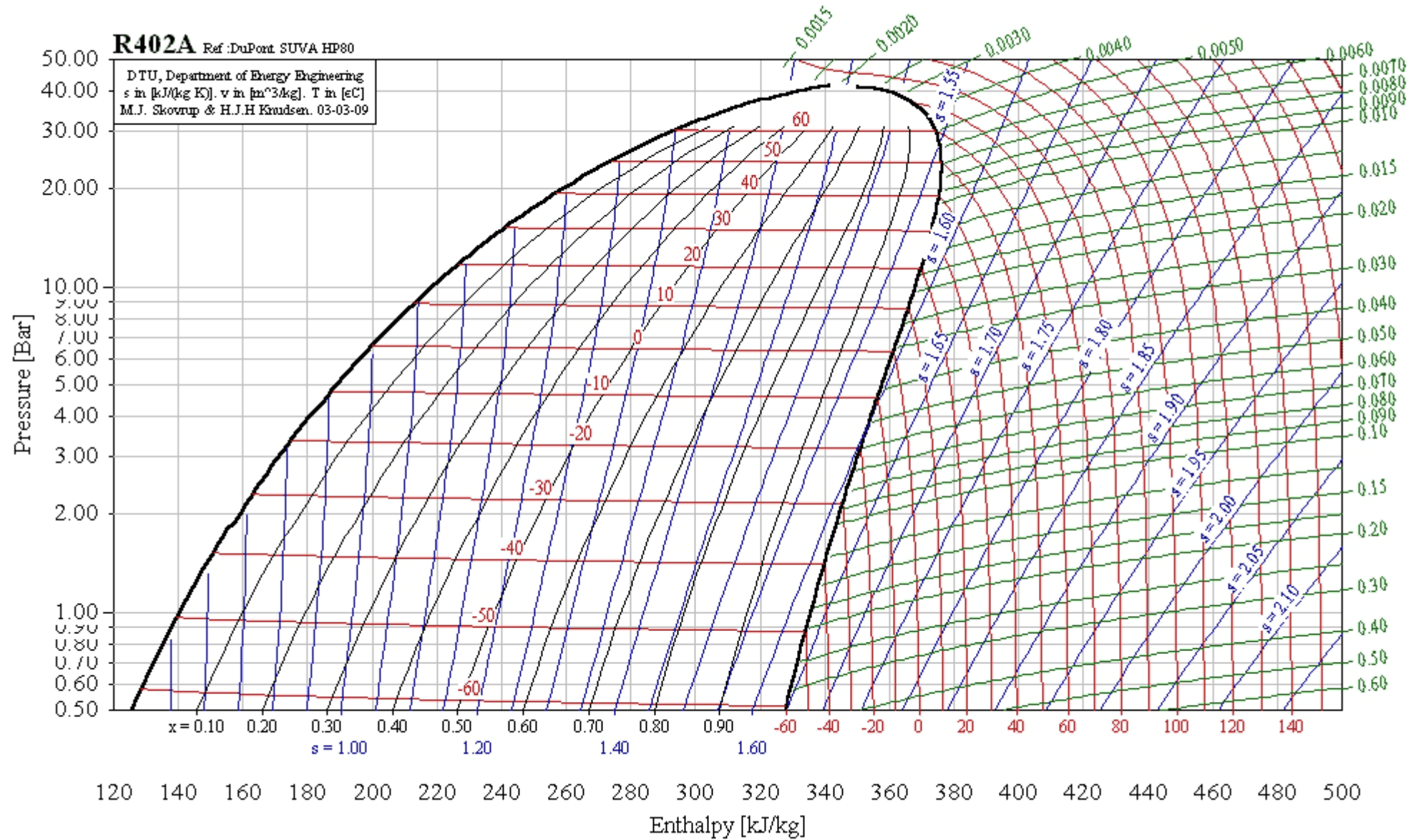
R401C, R22/152a/124 (33/15/52), R401C

T critical = 110.07 °C, p critical = 43.48119 Bar, v critical = 0.00204 m³/kg



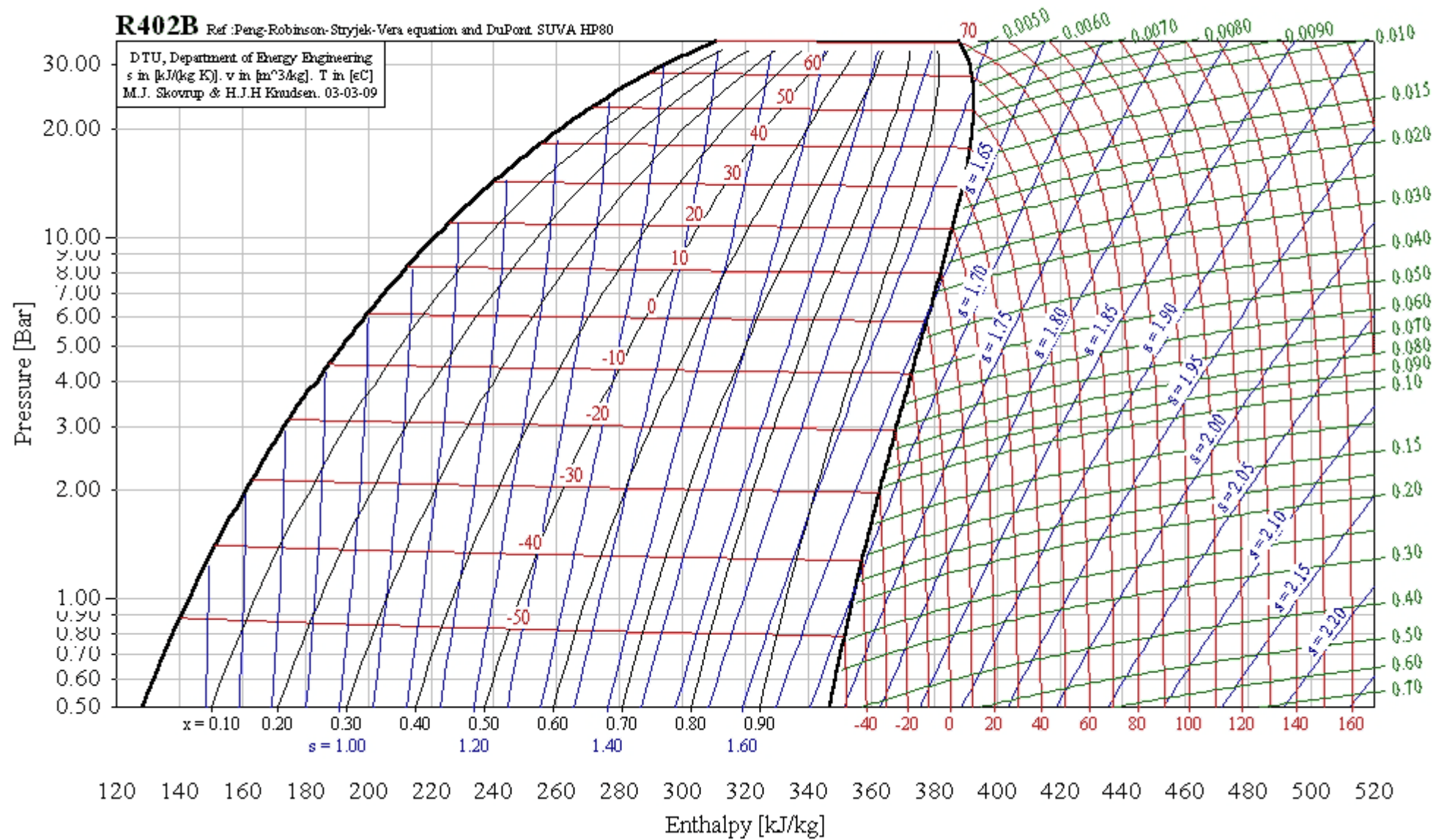
R402A, R125/290/22 (60/2/38), R402A

$T_{\text{critical}} = 75.50\text{ }^{\circ}\text{C}$, $p_{\text{critical}} = 41.34700\text{ Bar}$, $v_{\text{critical}} = 0.00185\text{ m}^3/\text{kg}$



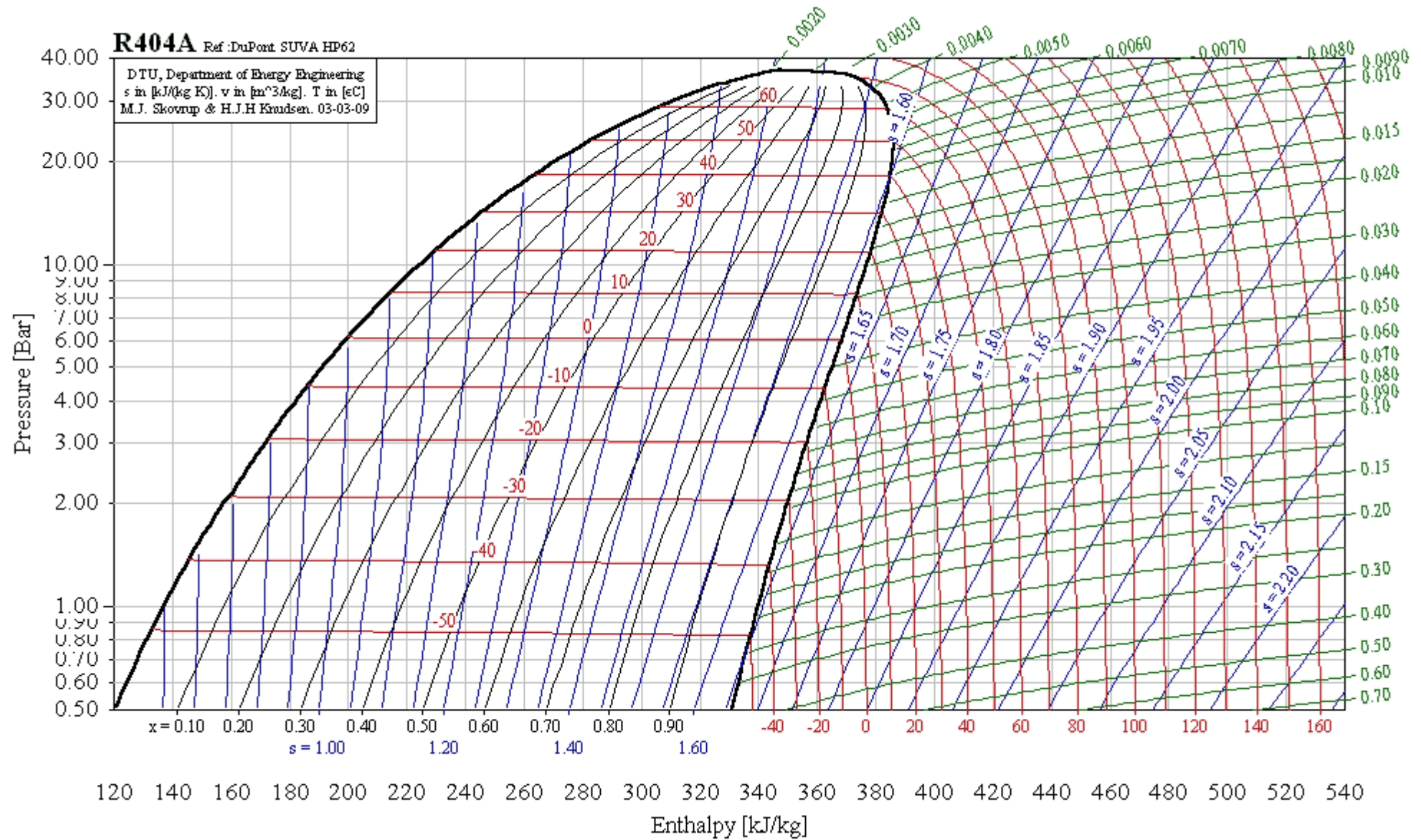
R402B, R125/290/22 (38/2/60), R402B

$T_{\text{critical}} = 87.05\text{ }^{\circ}\text{C}$, $p_{\text{critical}} = 45.31645\text{ Bar}$, $v_{\text{critical}} = 0.00200\text{ m}^3/\text{kg}$



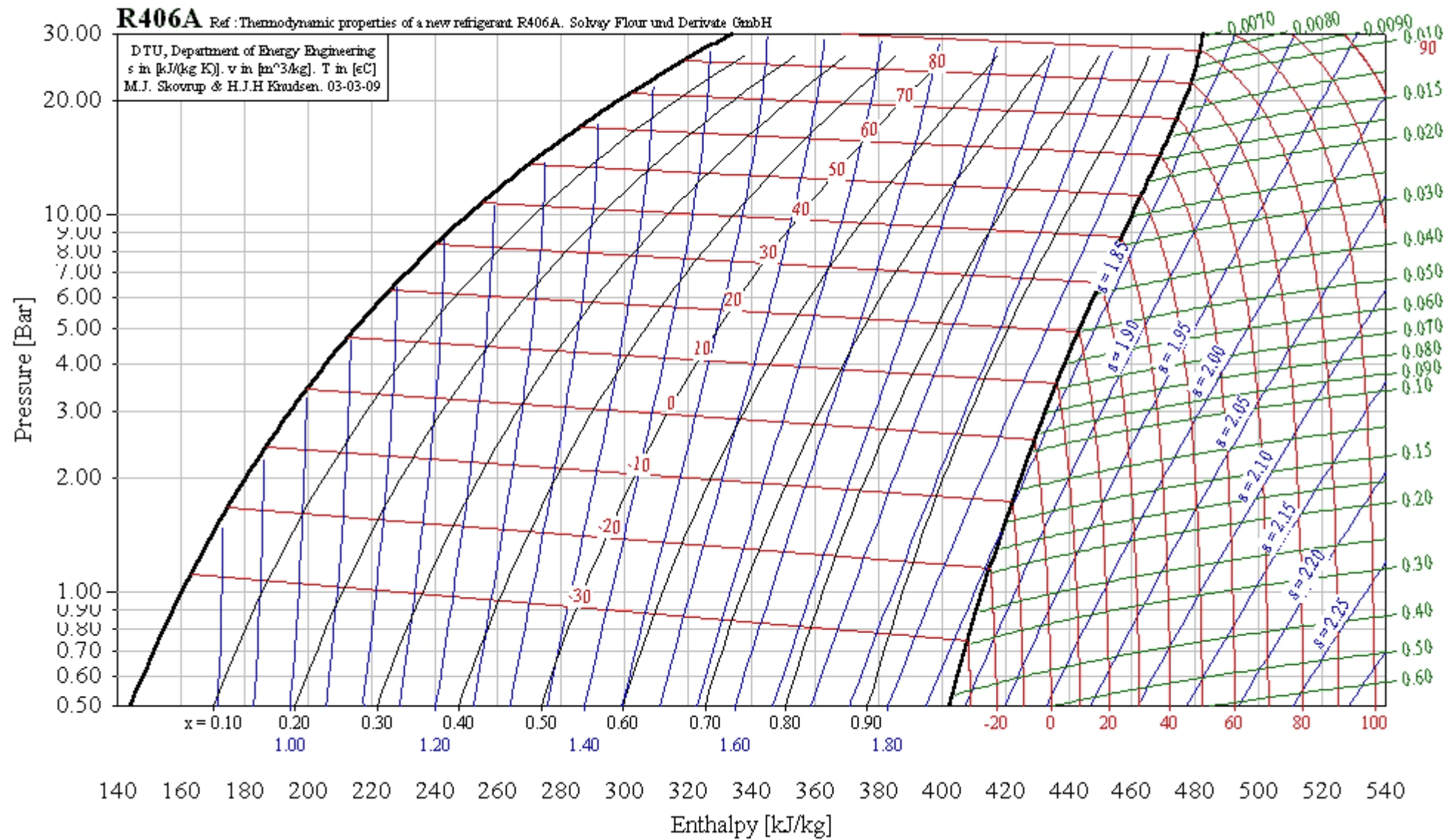
R404A, R125/143a/134a (44/52/4), R404A

$T_{\text{critical}} = 72.07\text{ }^{\circ}\text{C}$, $p_{\text{critical}} = 37.31500\text{ Bar}$, $v_{\text{critical}} = 0.00206\text{ m}^3/\text{kg}$



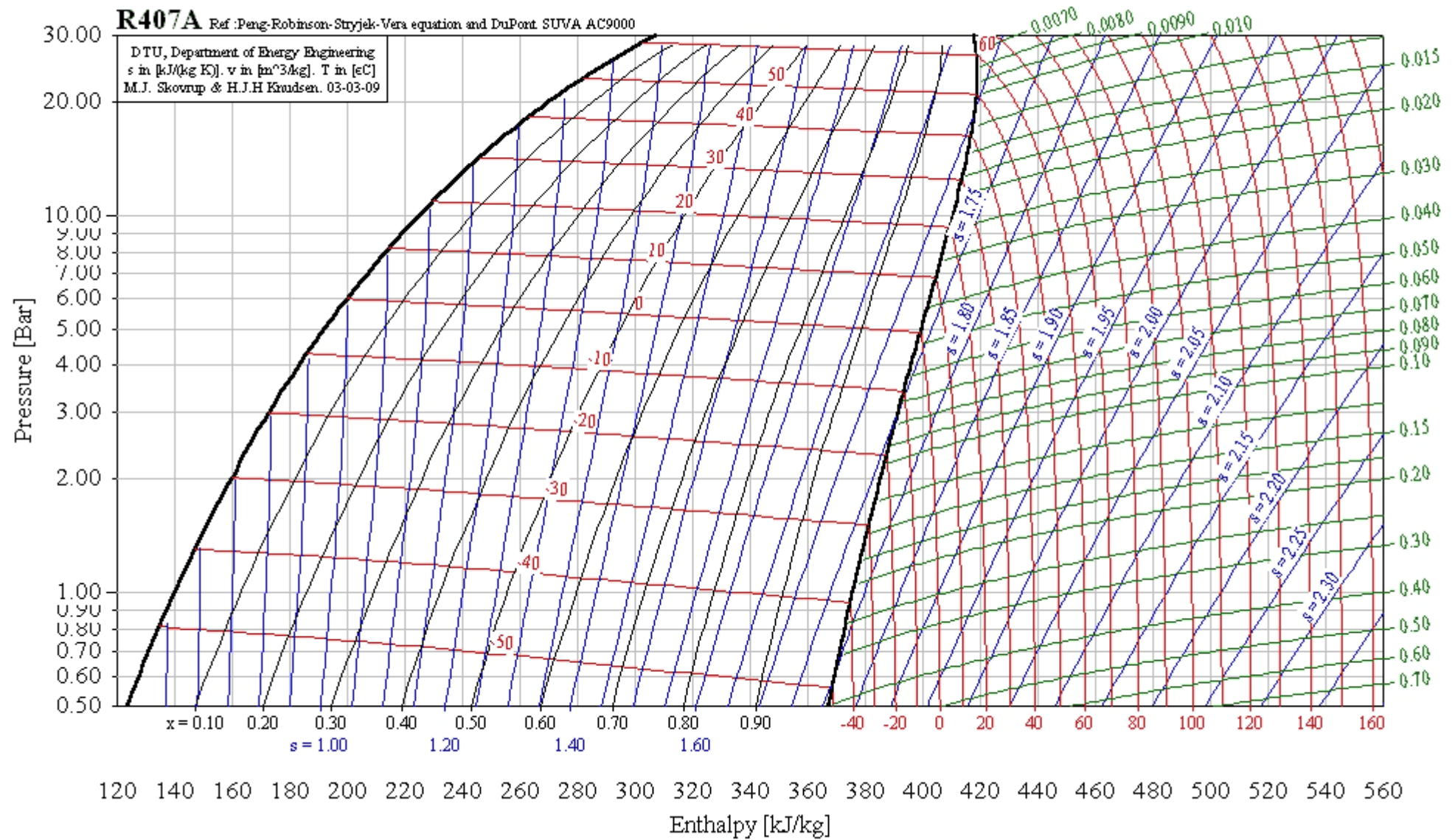
R406A, R22/142b/600a (55/41/4), R406A

T critical = 114.49 °C, p critical = 45.81000 Bar, v critical = 0.00219 m³/kg



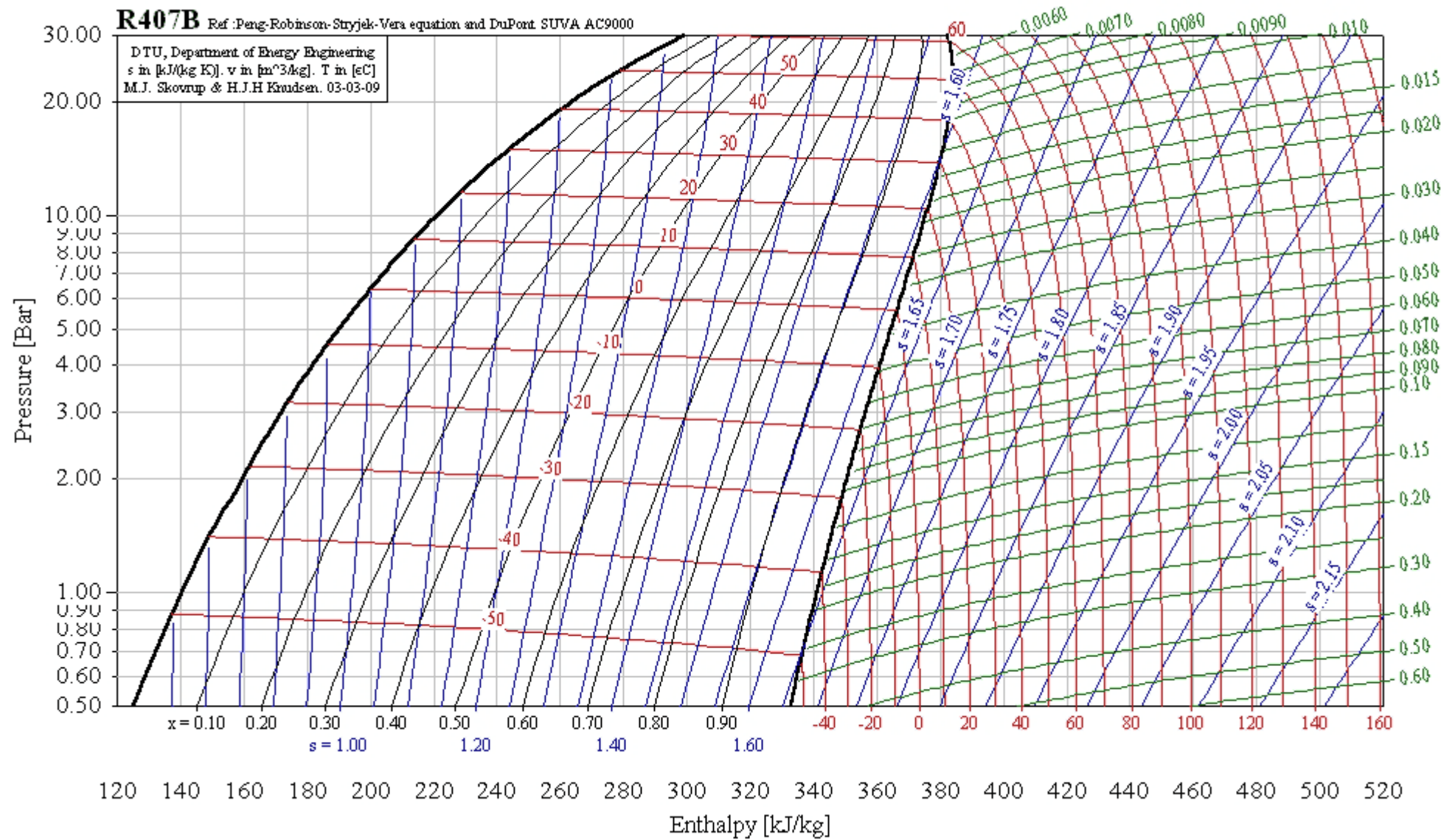
R407A, R32/125/134a (20/40/40), R407A

T critical = 82.36 °C, p critical = 45.32155 Bar, v critical = 0.00205 m³/kg



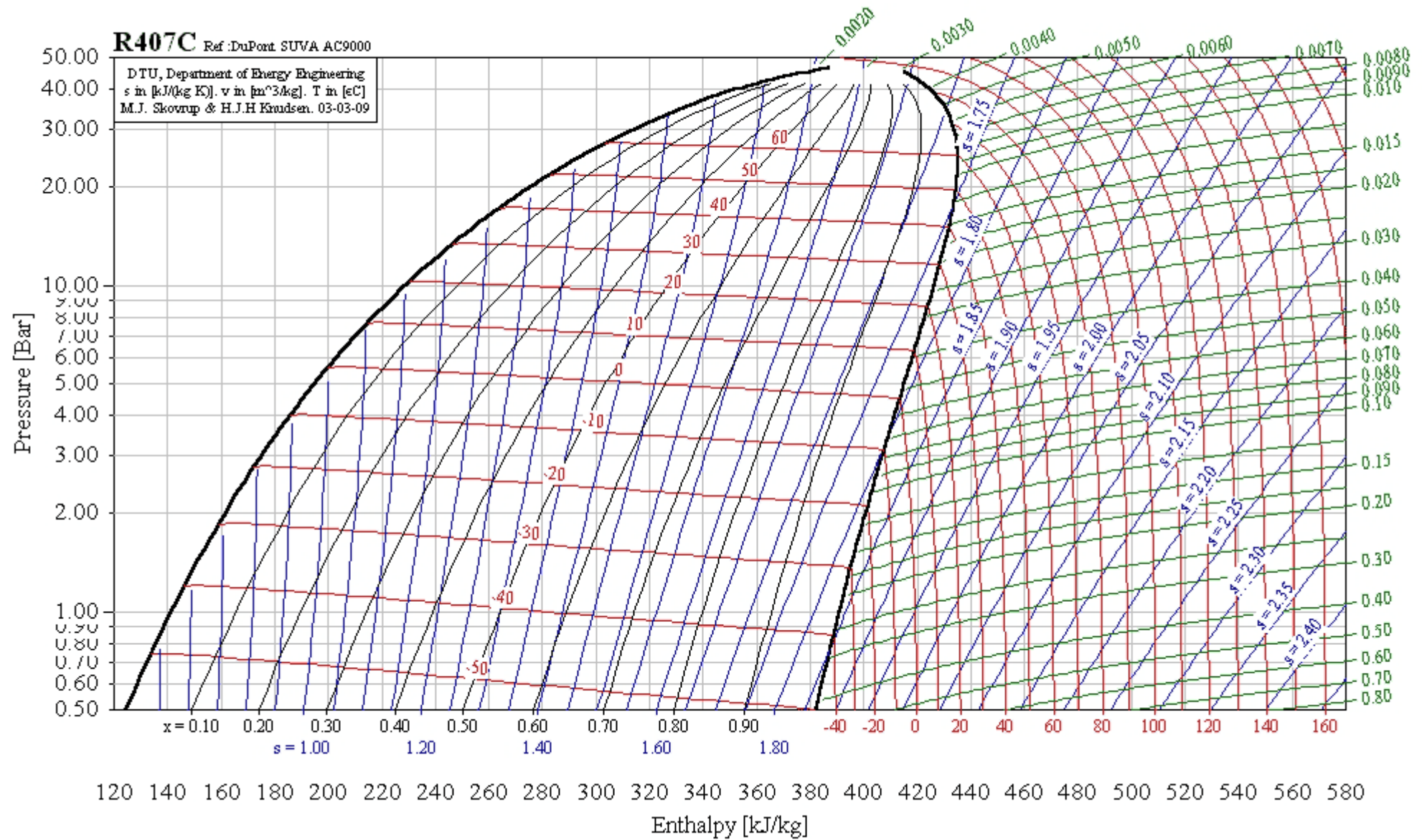
R407B, R32/125/134a (10/70/20), R407B

T critical = 75.36 °C, p critical = 41.30295 Bar, v critical = 0.00196 m³/kg



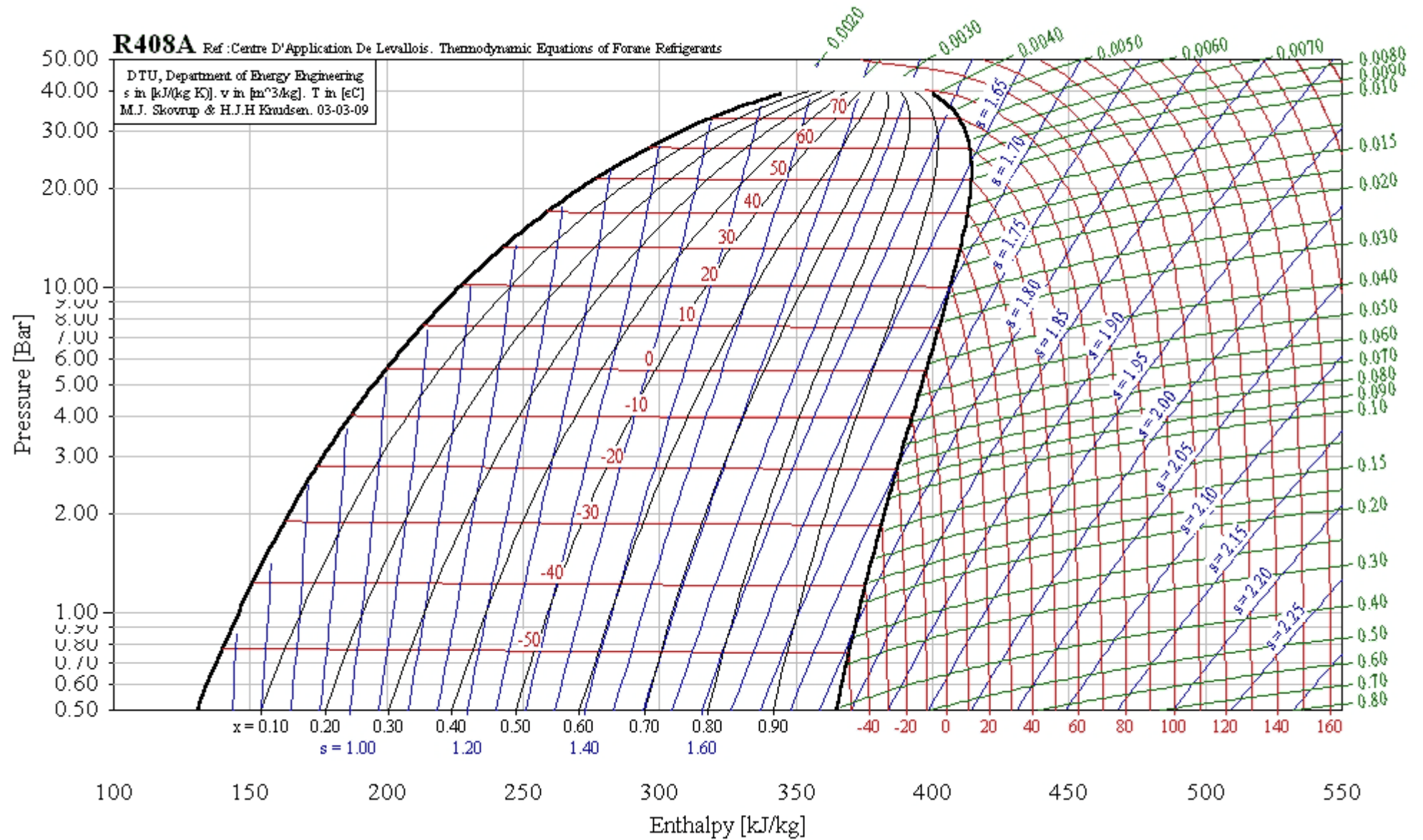
R407C, R32/125/134a (23/25/52), R407C

T critical = 86.74 °C, p critical = 46.19100 Bar, v critical = 0.00190 m³/kg



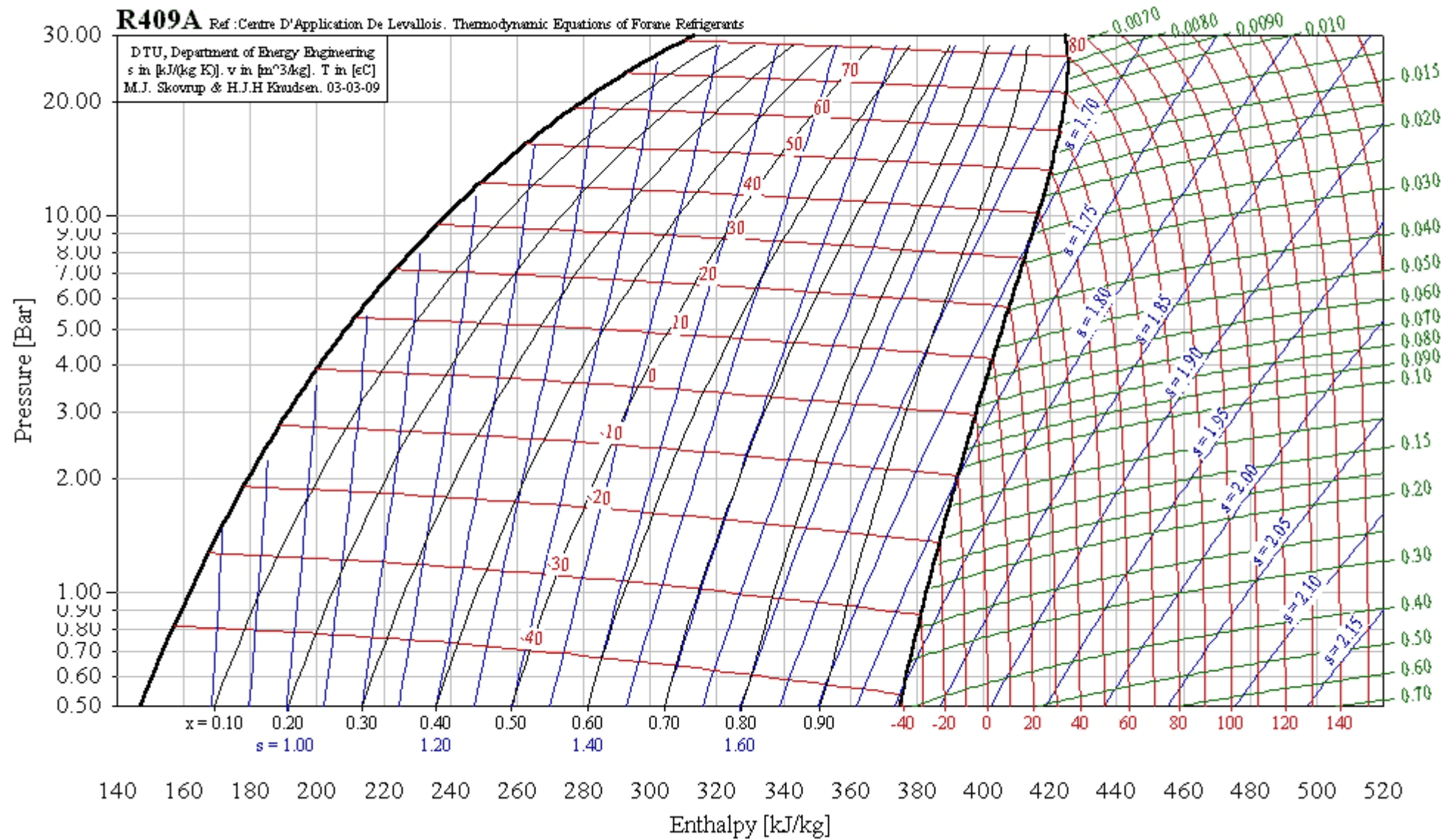
R408A, R22/143a/125 (47/46/7), R408A

T critical = 83.68 °C, p critical = 43.41828 Bar, v critical = 0.00208 m³/kg



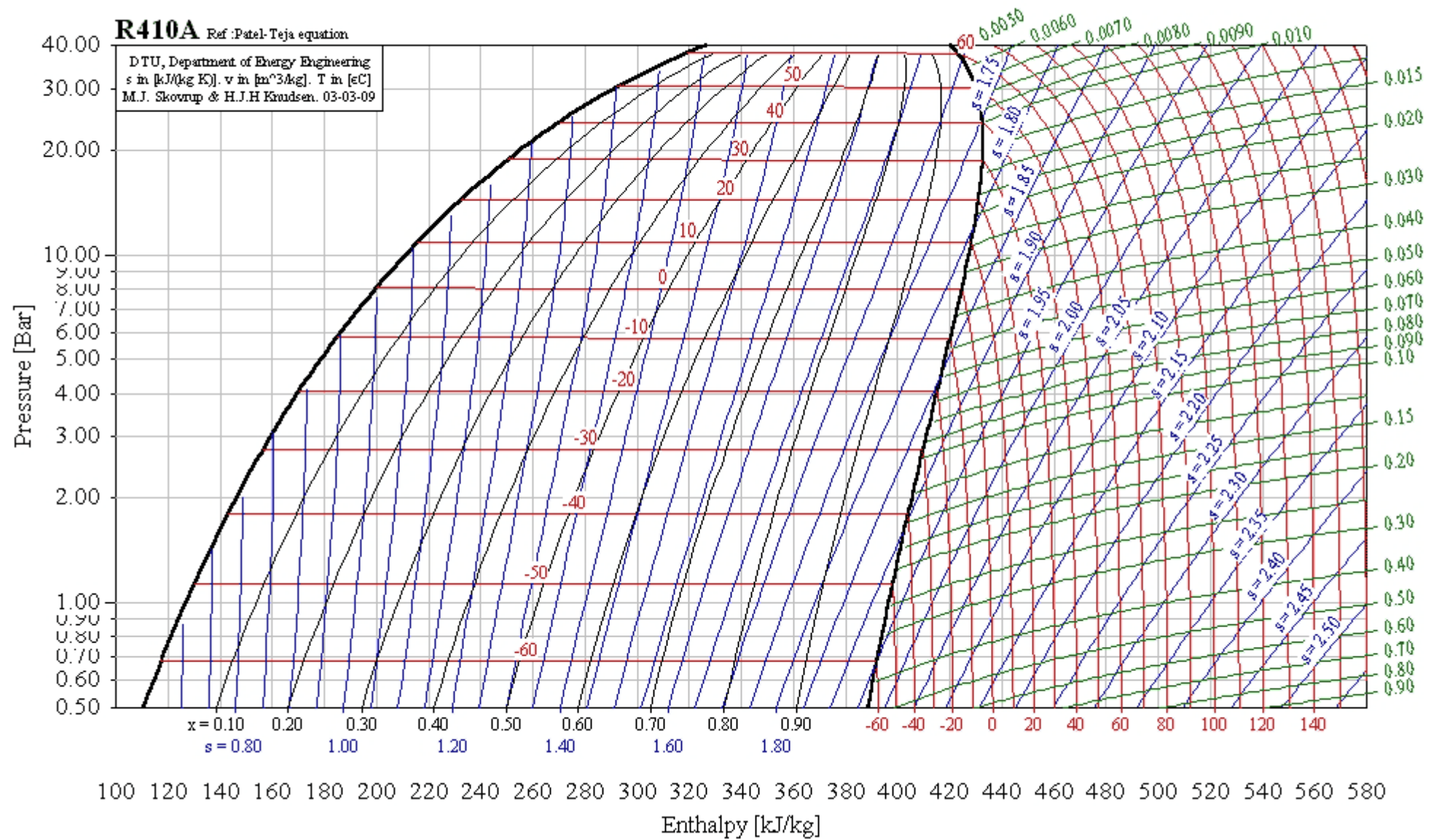
R409A, R22/124/142b (60/25/15), R409A

$T_{\text{critical}} = 106.80\text{ }^{\circ}\text{C}$, $p_{\text{critical}} = 46.21764\text{ Bar}$, $v_{\text{critical}} = 0.00194\text{ m}^3/\text{kg}$



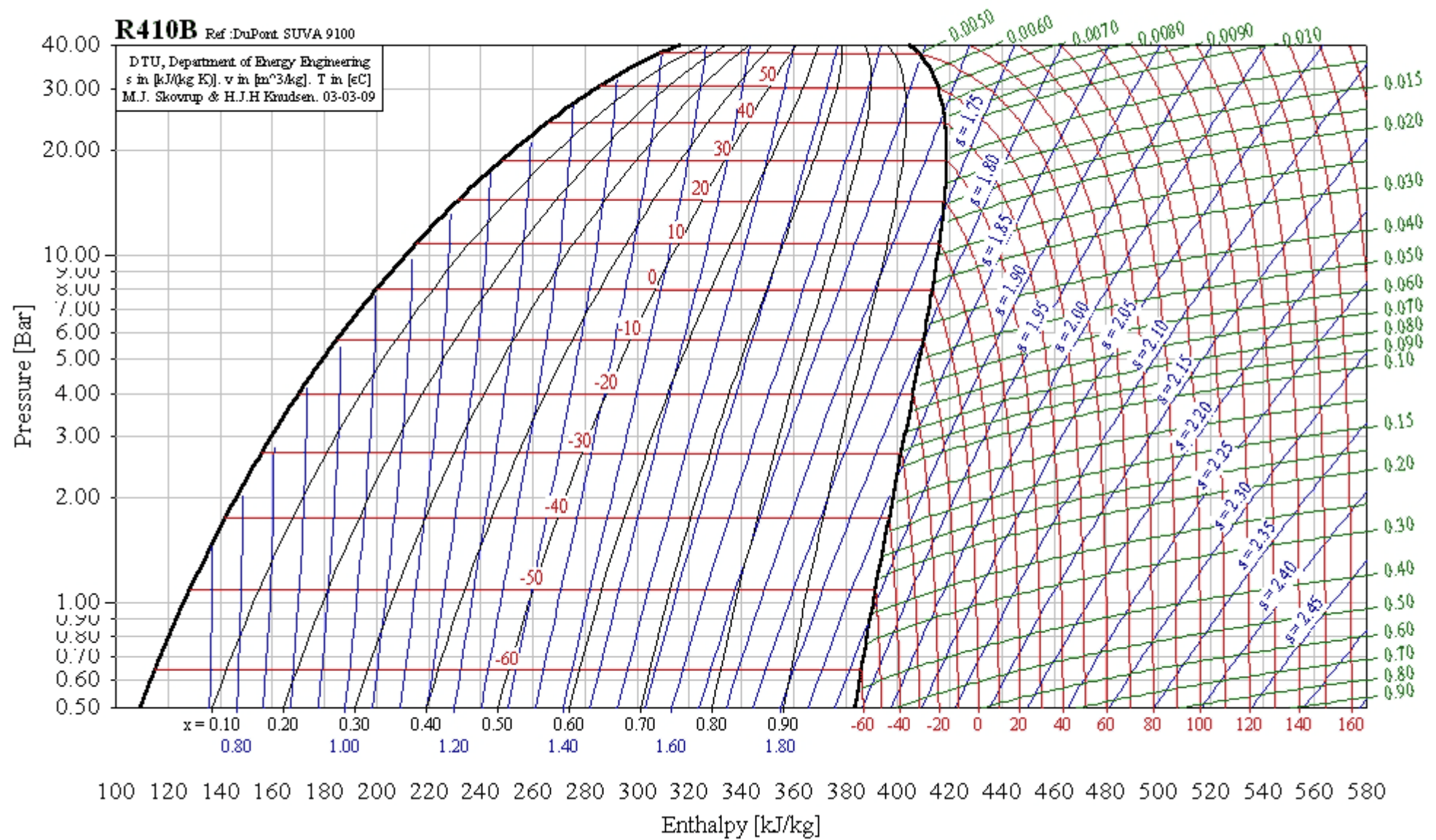
R410A, R32/125 (50/50), R410A

$T_{\text{critical}} = 74.67\text{ }^{\circ}\text{C}$, $p_{\text{critical}} = 51.73703\text{ Bar}$, $v_{\text{critical}} = 0.00162\text{ m}^3/\text{kg}$



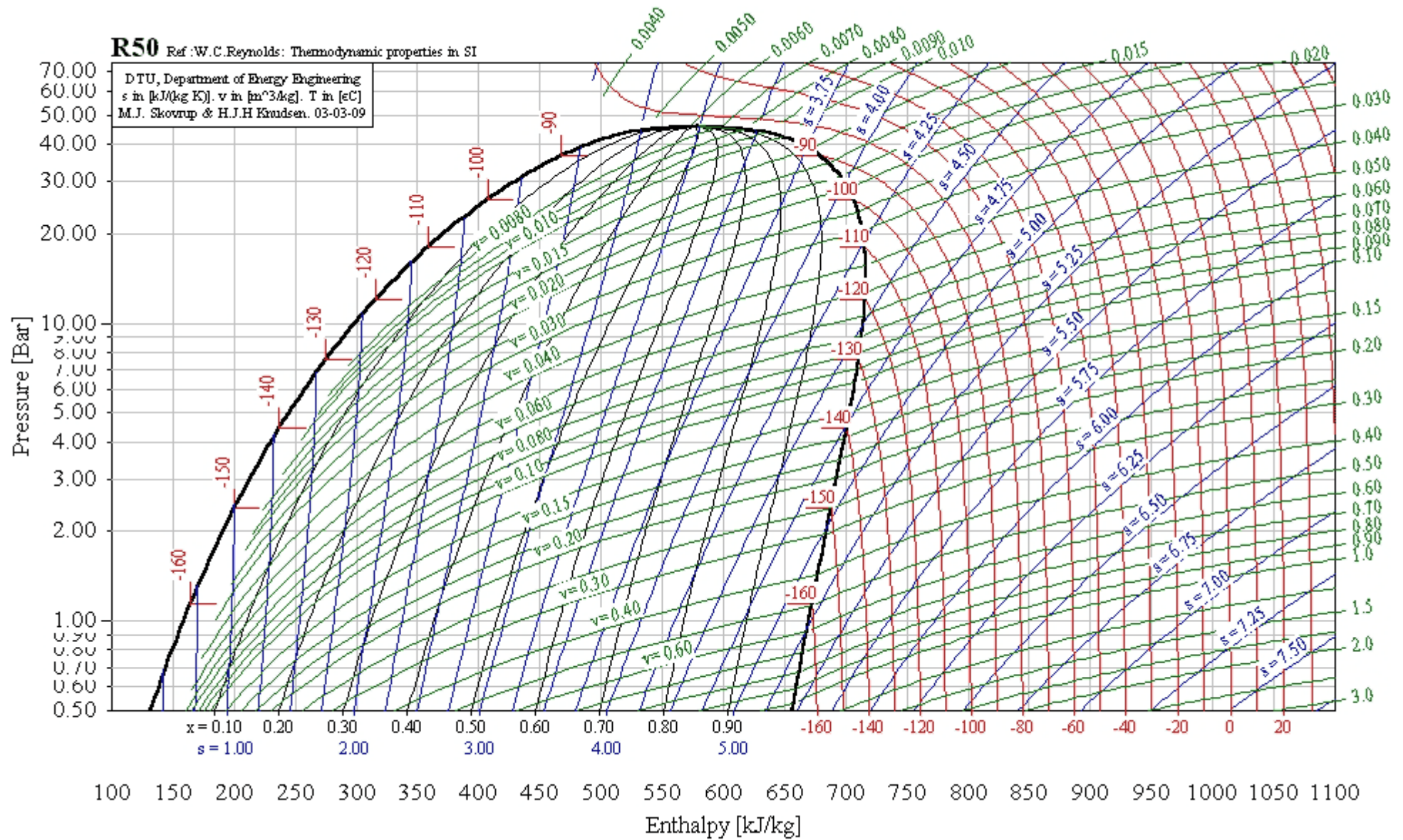
R410B, R32/125 (45/55), R410B

$T_{\text{critical}} = 71.03\text{ }^{\circ}\text{C}$, $p_{\text{critical}} = 47.79500\text{ Bar}$, $v_{\text{critical}} = 0.00202\text{ m}^3/\text{kg}$



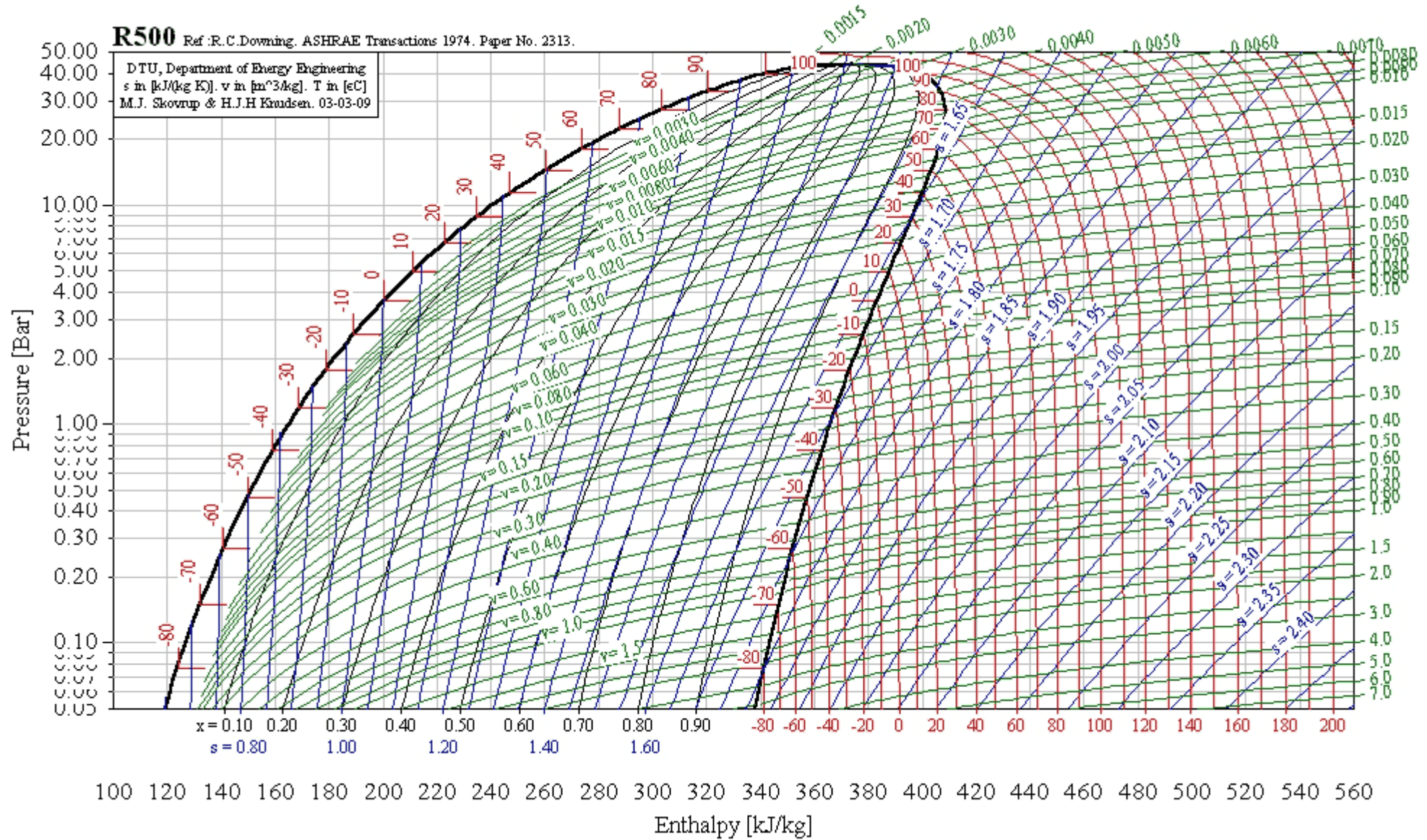
R50, CH₄, Methane

T critical = -82.59 °C, p critical = 45.98800 Bar, v critical = 0.00623 m³/kg



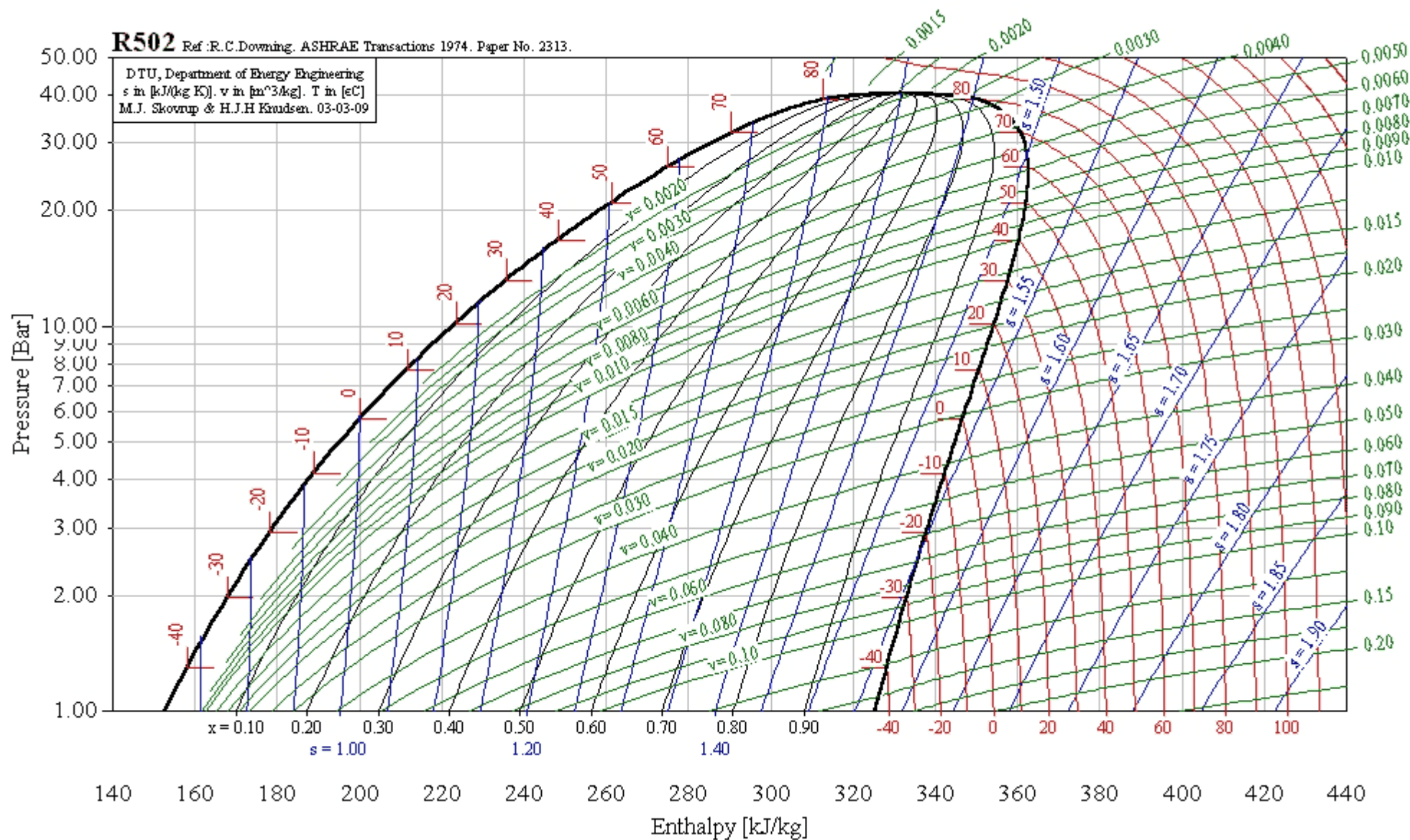
R500, R12/152a (73.8/26.2), R500

$T_{\text{critical}} = 105.50\text{ }^{\circ}\text{C}$, $p_{\text{critical}} = 44.23000\text{ Bar}$, $v_{\text{critical}} = 0.00202\text{ m}^3/\text{kg}$



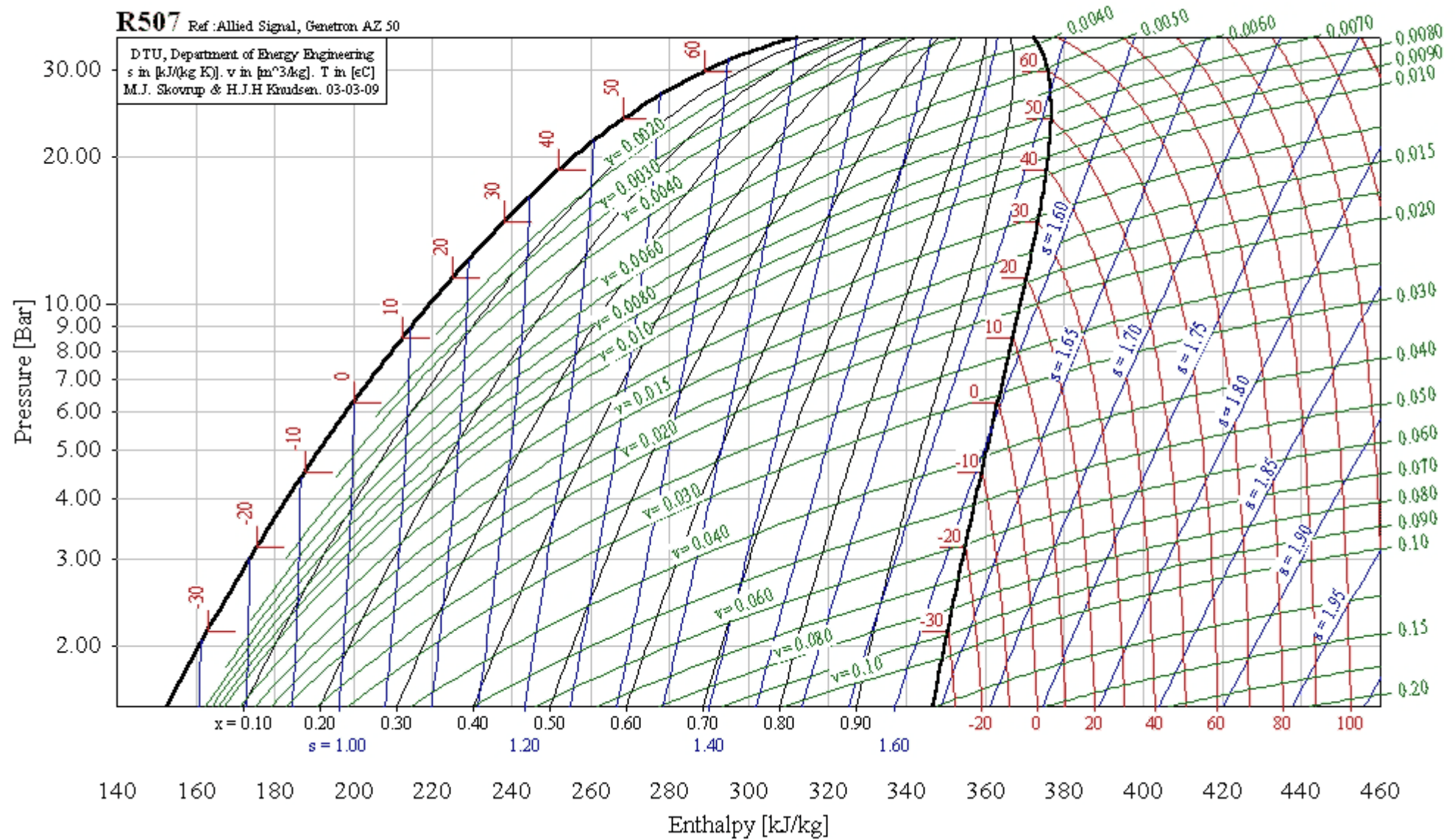
R502, R22/115 (48.8/51.2), R502

T critical = 82.20 °C, p critical = 40.81800 Bar, v critical = 0.00178 m³/kg



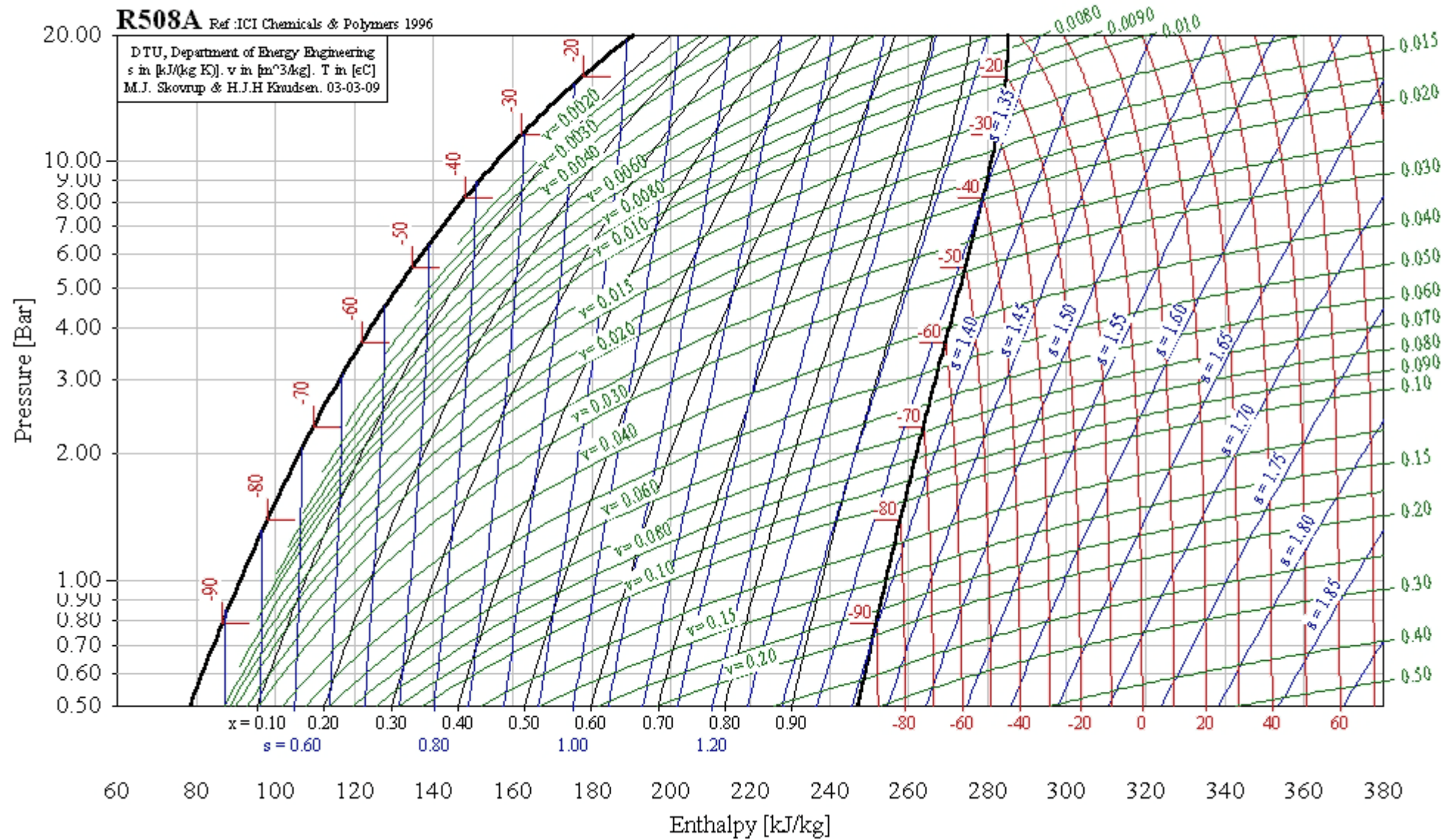
R507, R125/143a (50/50), R507

T critical = 70.90 °C, p critical = 37.93559 Bar, v critical = 0.00200 m³/kg



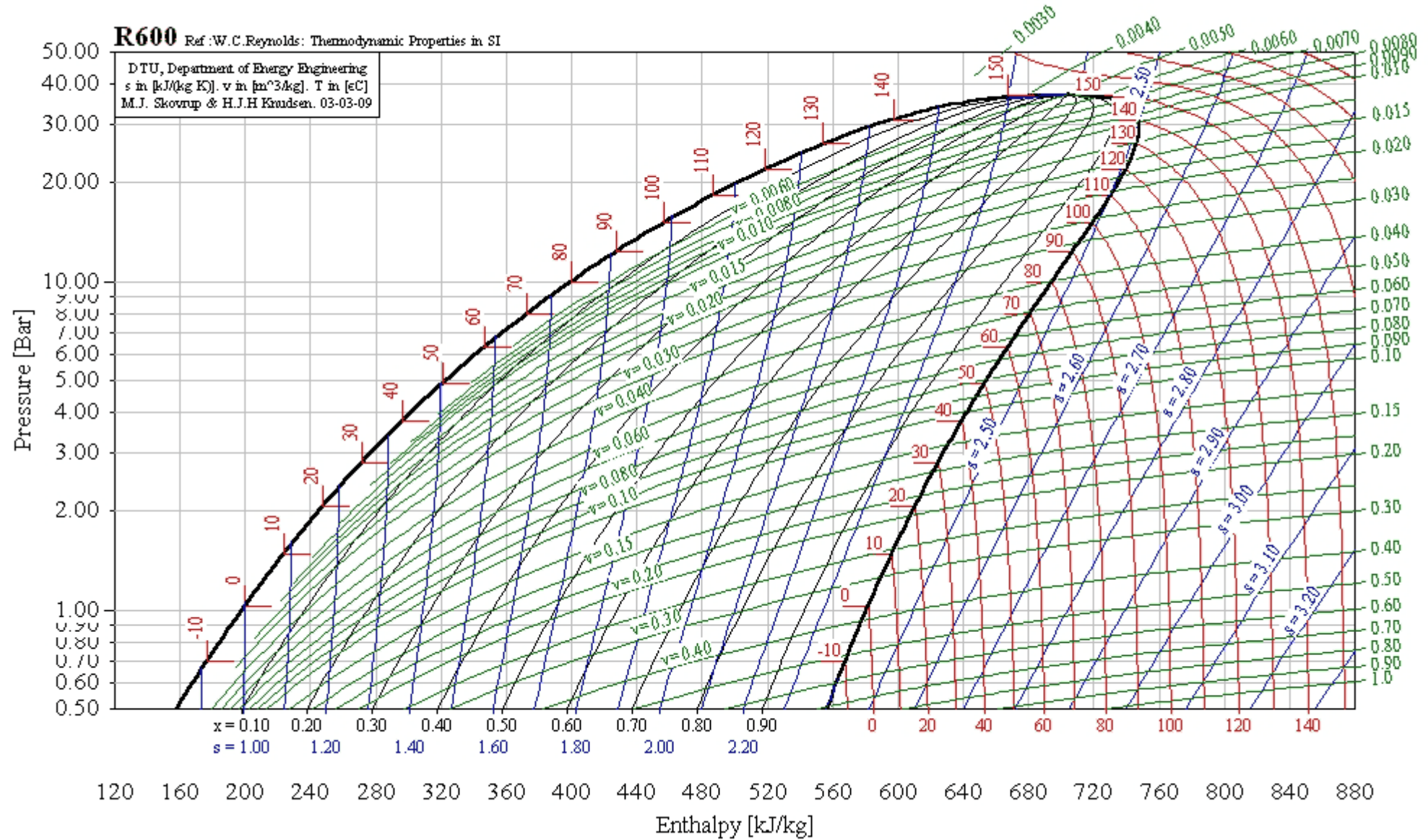
R508A, R23/116 (39/61), R508A

T critical = 23.00 °C, p critical = 40.60000 Bar, v critical = 0.00177 m³/kg



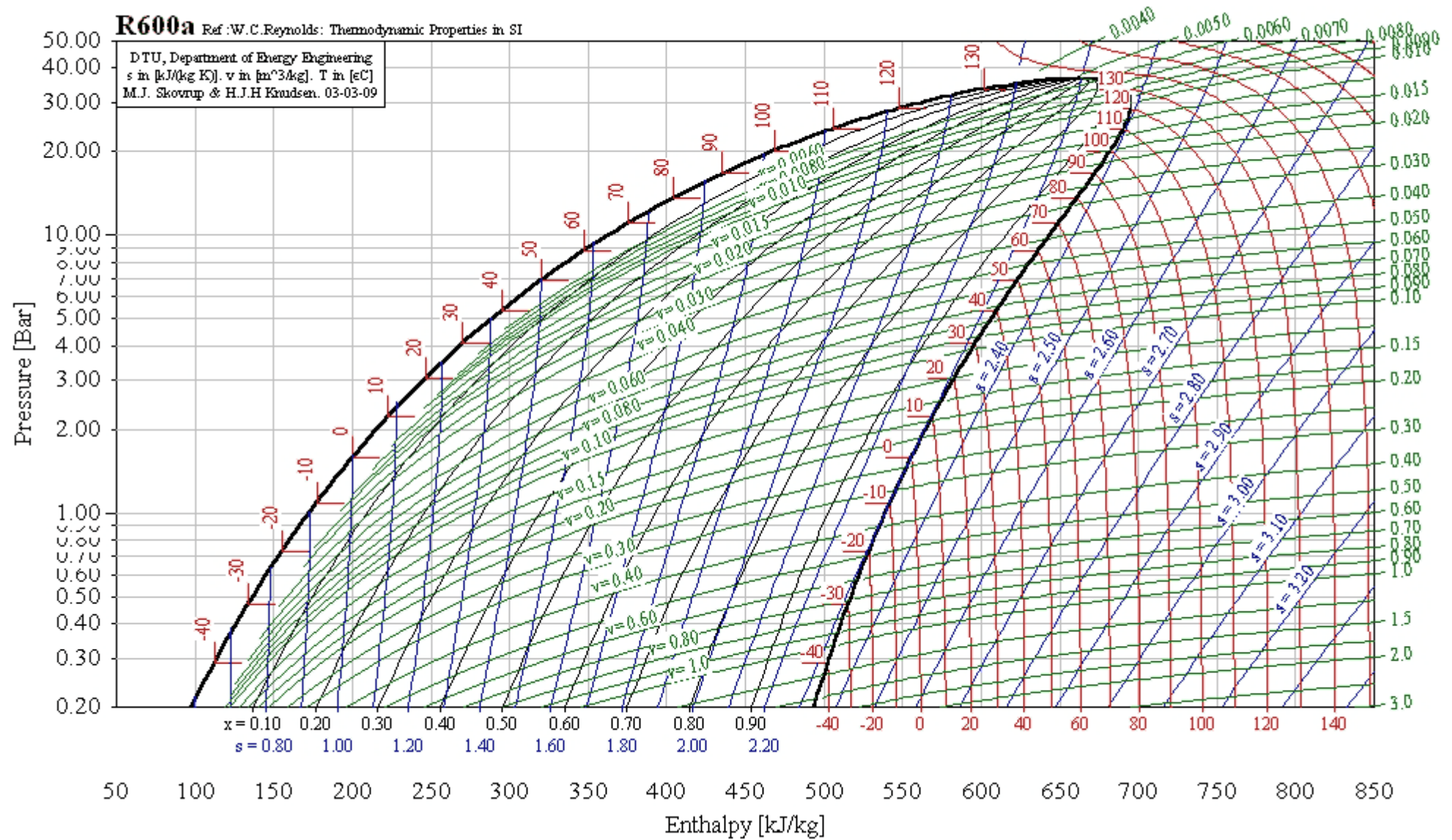
R600, CH₃CH₂CH₂CH₃, Butane

T critical = 150.80 °C, p critical = 37.18096 Bar, v critical = 0.00490 m³/kg



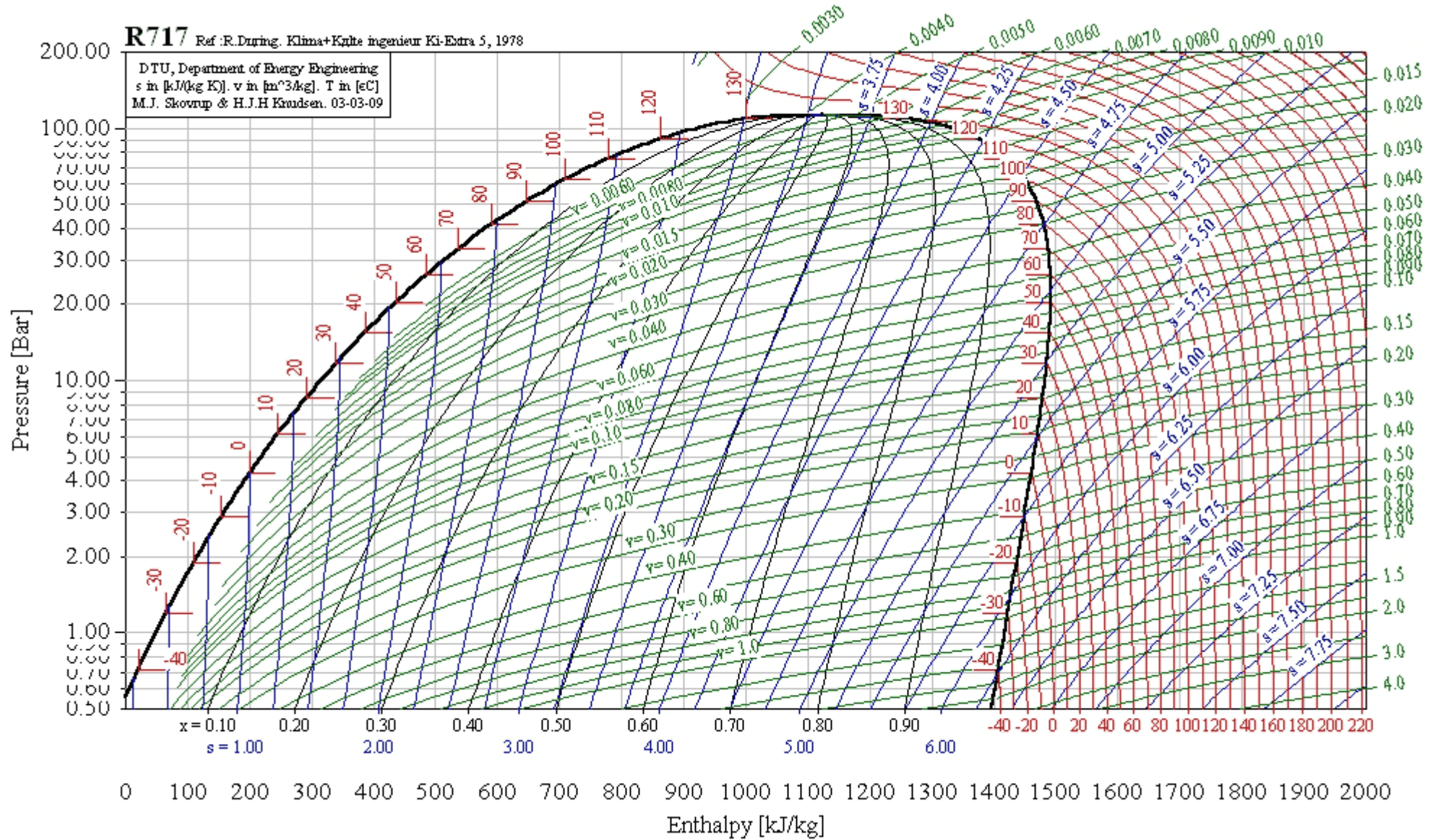
R600a, CH(CH₃)₃, 2-methyl propane (isobutane)

T critical = 135.92 °C, p critical = 36.84547 Bar, v critical = 0.00514 m³/kg



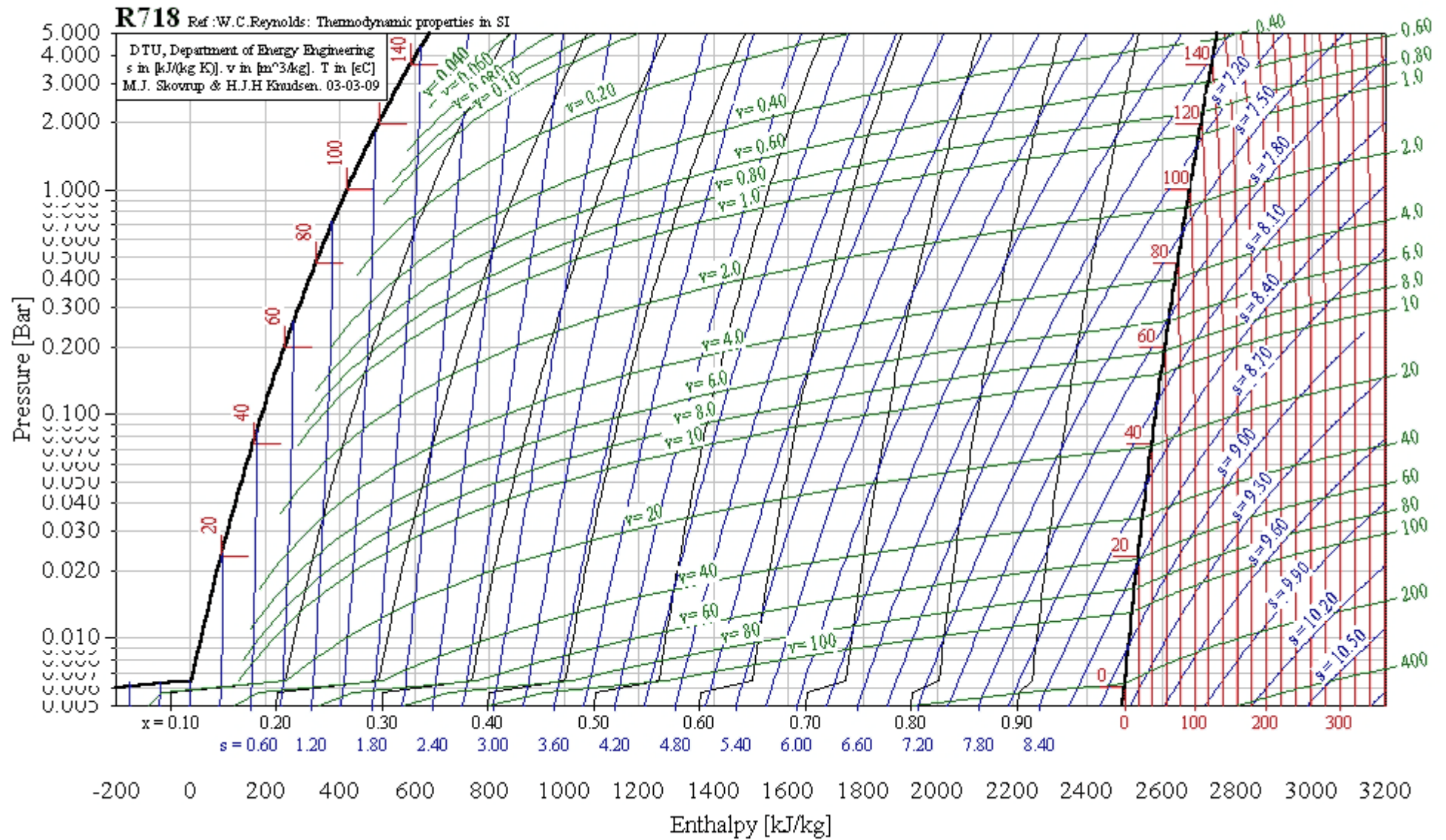
R717, NH₃, Ammonia

T critical = 132.35 °C, p critical = 113.53000 Bar, v critical = 0.00427 m³/kg



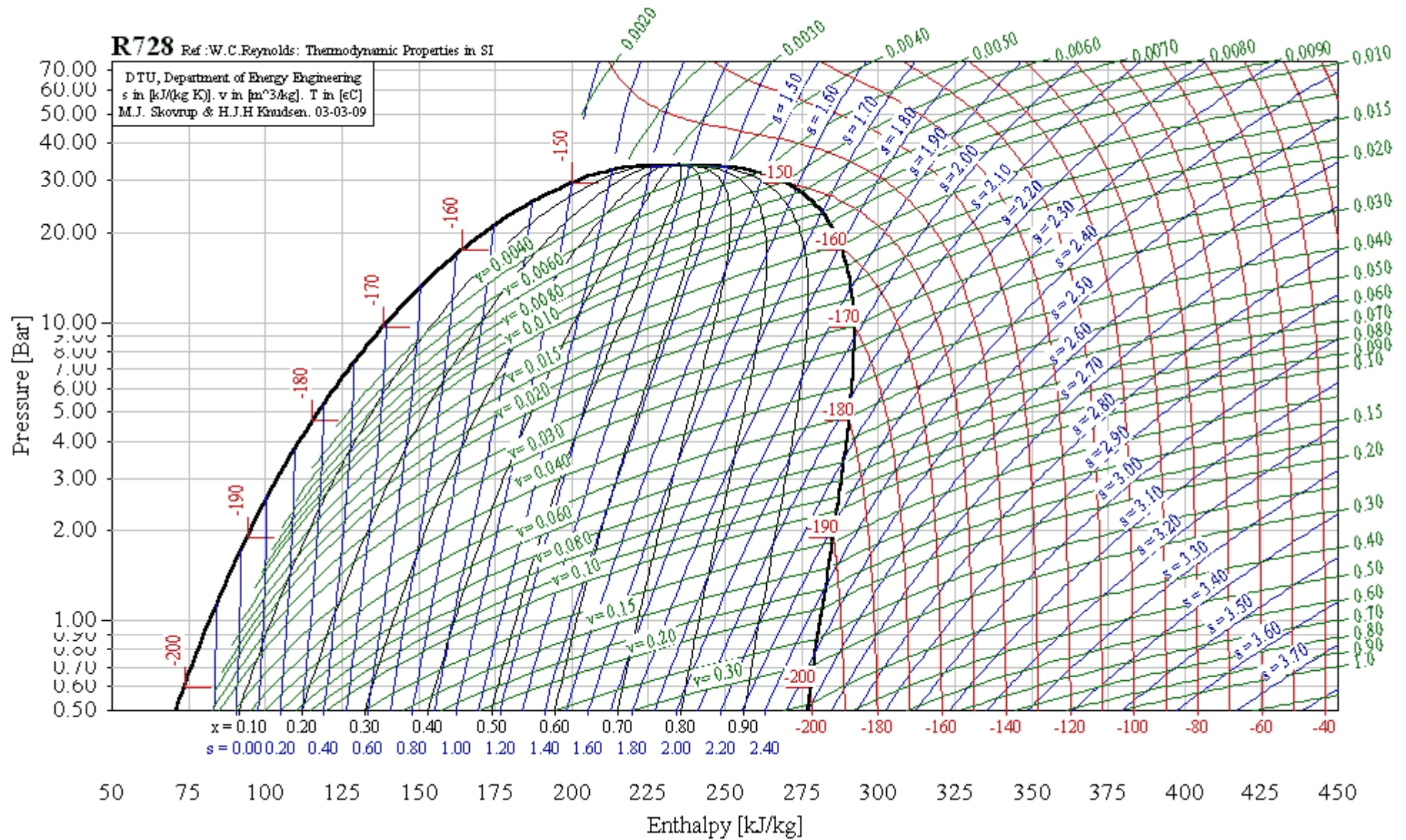
R718, H₂O, Water

T critical = 374.14 °C, p critical = 220.89000 Bar, v critical = 0.00315 m³/kg



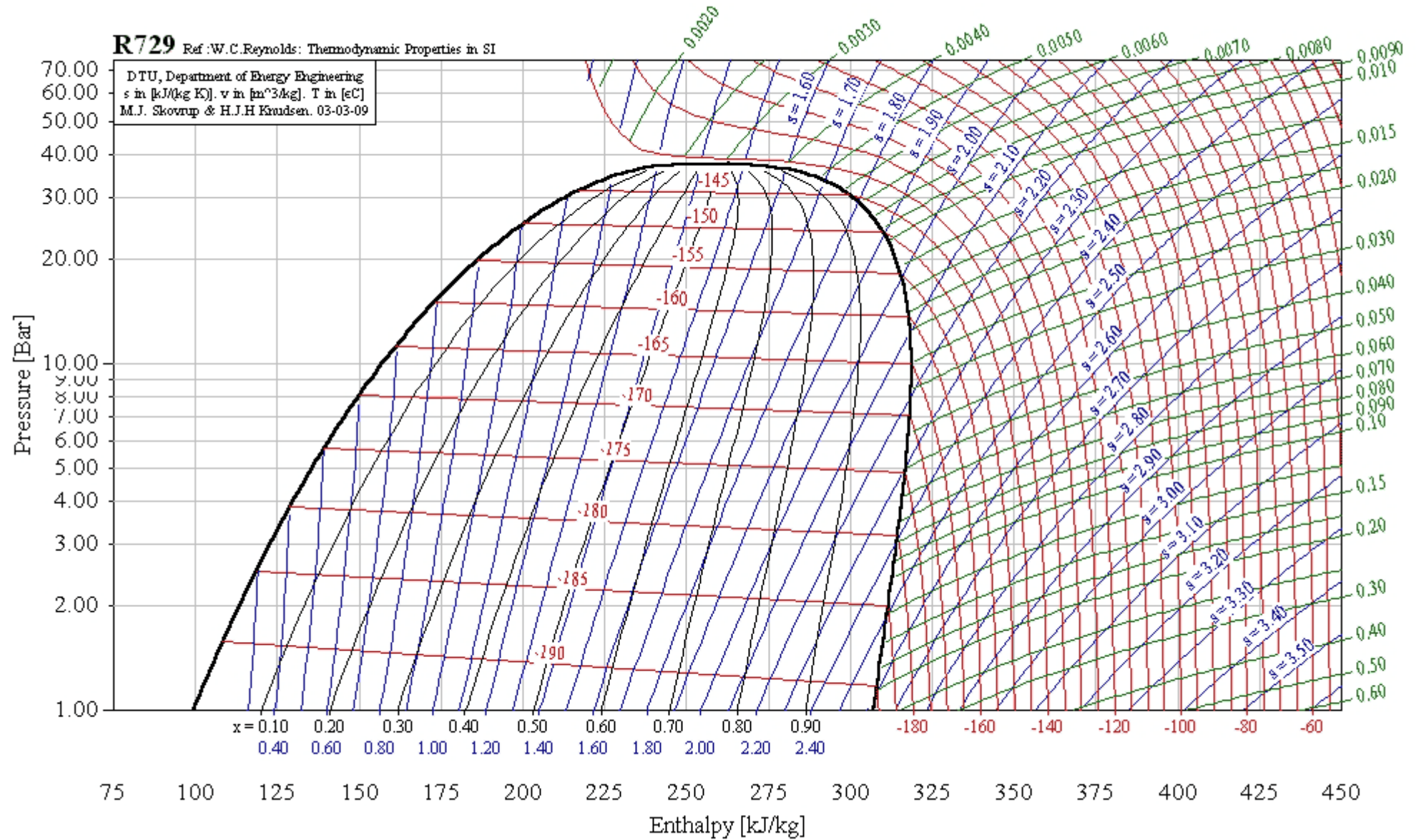
R728, N₂, Nitrogen

T critical = -146.95 °C, p critical = 34.00000 Bar, v critical = 0.00318 m³/kg



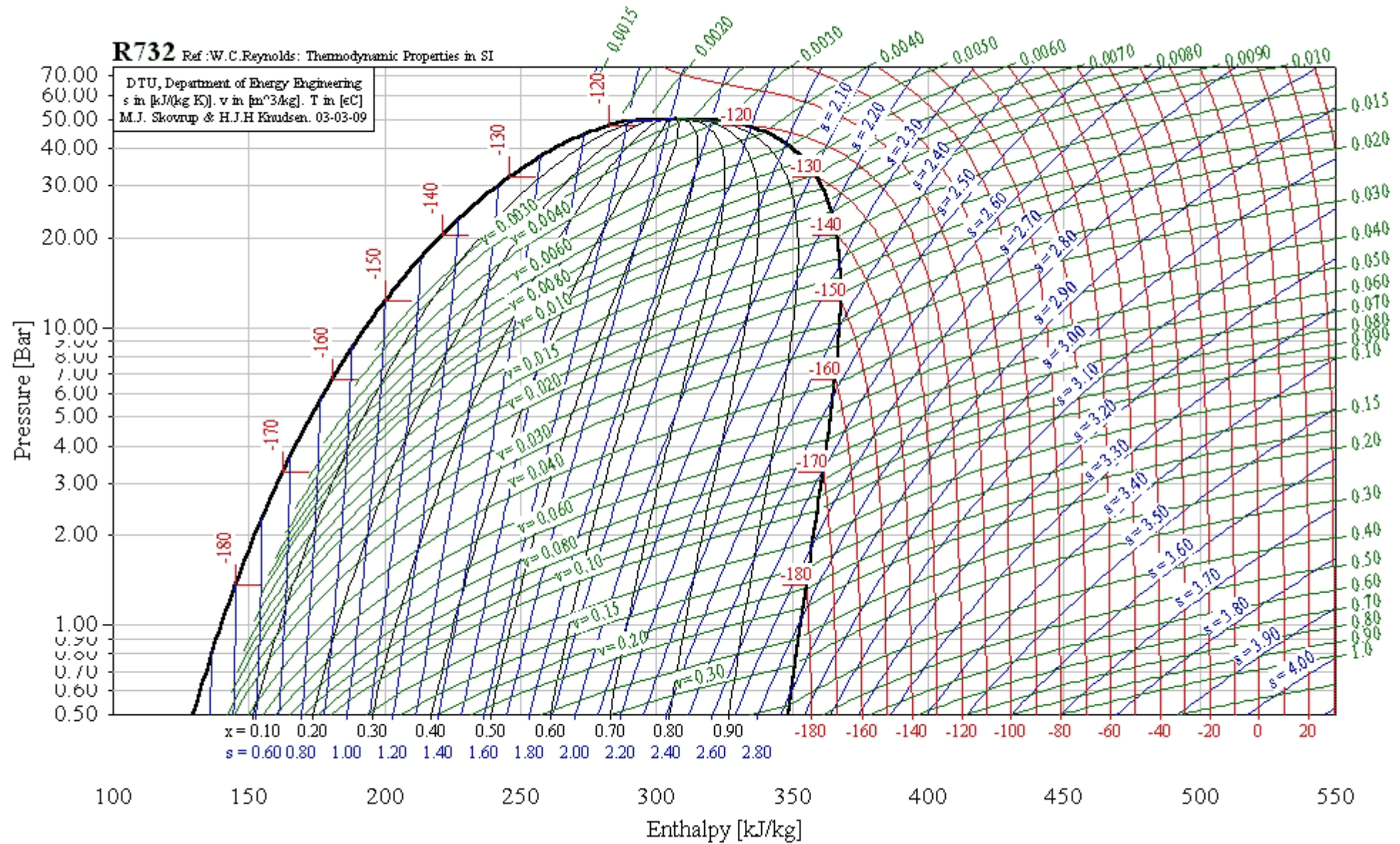
R729, N₂/O₂/A (76/23/1), Air

T critical = -140.65 °C, p critical = 37.74360 Bar, v critical = 0.00291 m³/kg



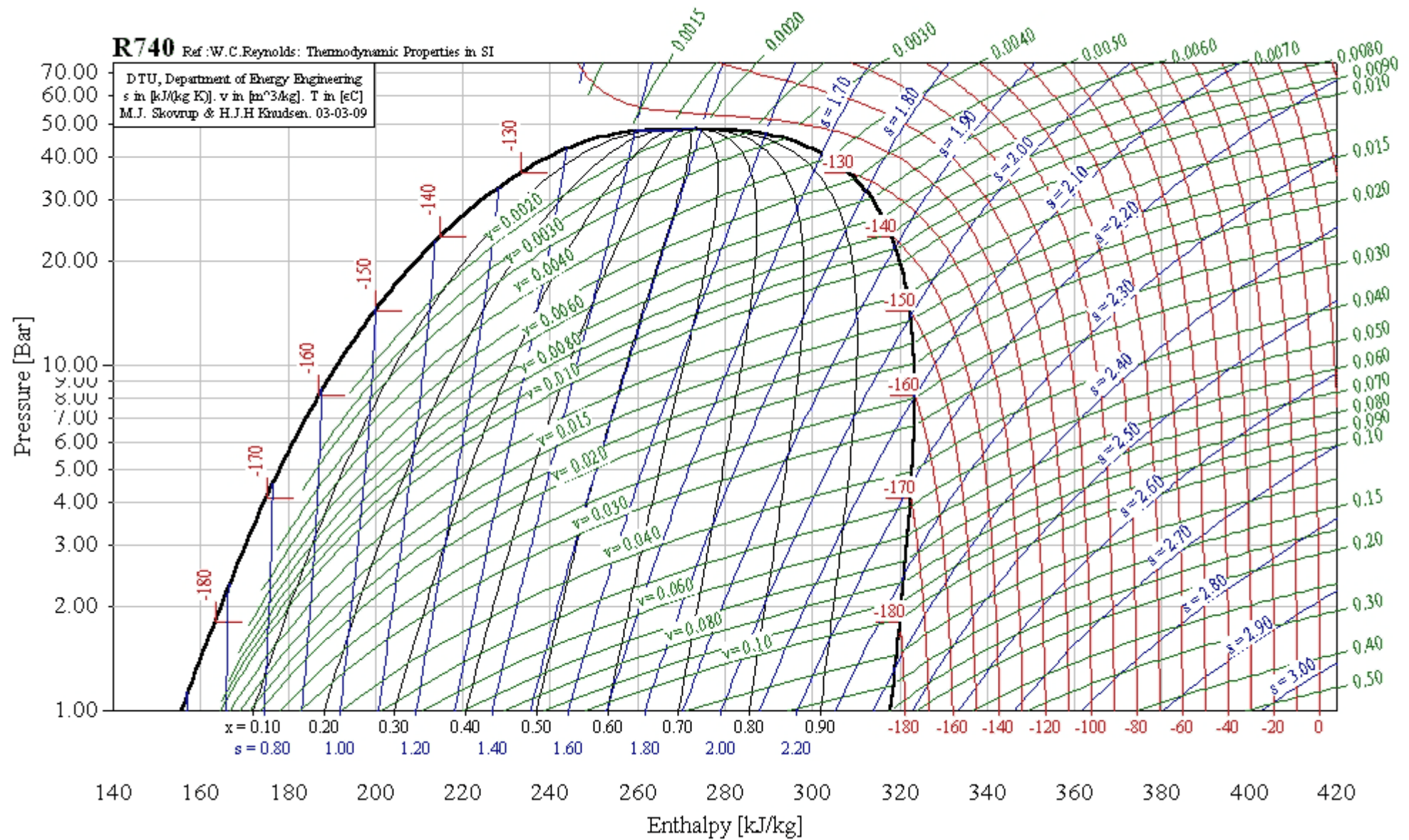
R732, O₂, Oxygen

T critical = -118.57 °C, p critical = 50.42900 Bar, v critical = 0.00229 m³/kg



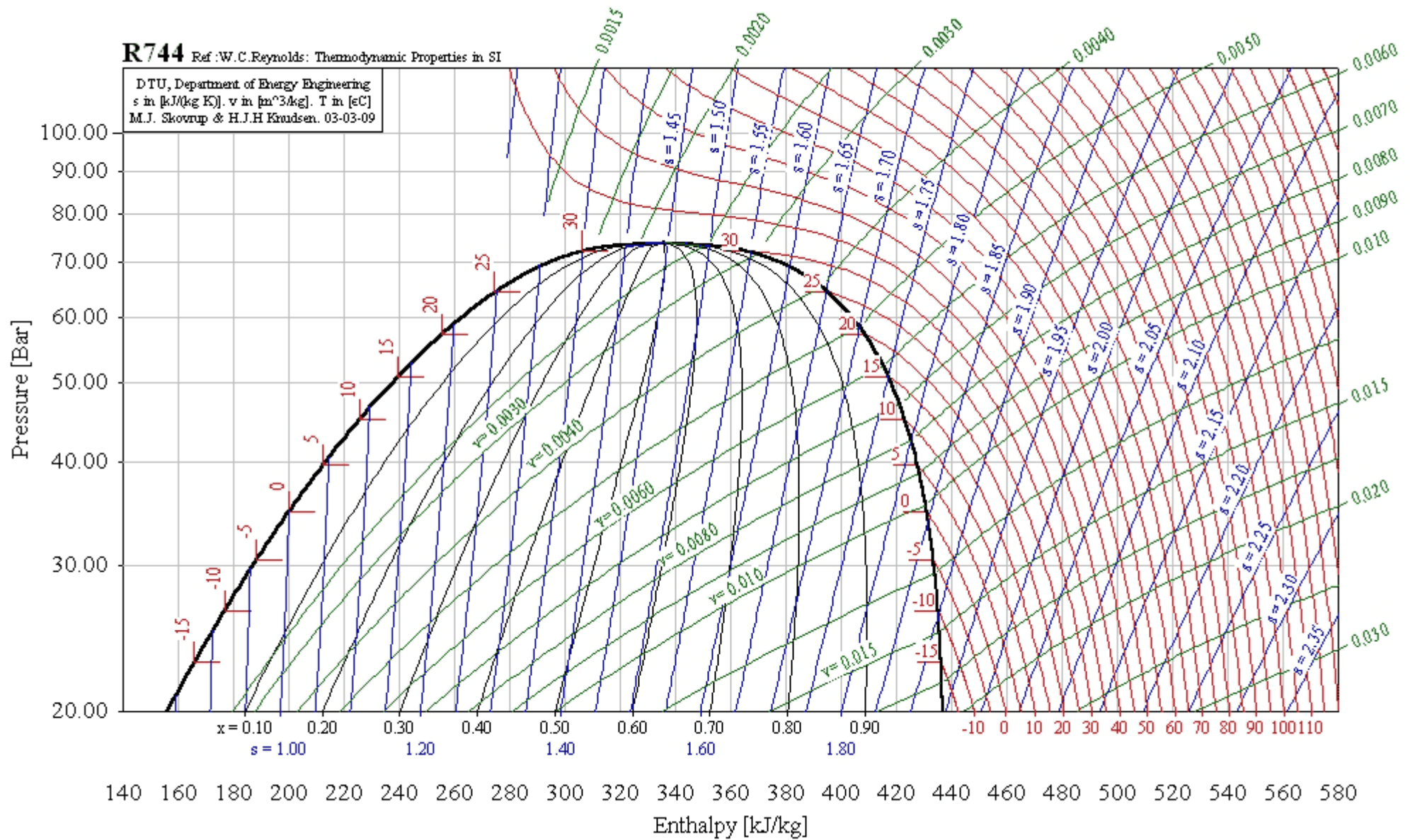
R740, A, Argon

T critical = -122.45 °C, p critical = 48.64920 Bar, v critical = 0.00195 m³/kg



R744, CO₂, Carbon dioxide

T critical = 31.06 °C, p critical = 73.83400 Bar, v critical = 0.00216 m³/kg



RC318, C₄F₈, Octafluorocyclobutane

T critical = 115.30 °C, p critical = 27.81000 Bar, v critical = 0.00161 m³/kg

