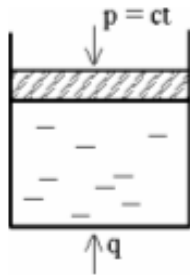


Vapori si diagrame termodinamice ale vaporilor

Capitol realizat în colaborare cu Prof. em. dr. ing. Teodor Mădărășan

Procesul de vaporizare

Vaporizarea este procesul izobar-izoterm de trecere a substanțelor din starea lichidă în starea de vapori (sau gazoasă). În figura alăturată este prezentată principial schema încălzirii la presiune constantă, în vederea vaporizării unei substanțe aflate inițial în stare lichidă. Dacă producerea vaporilor are loc numai la suprafața liberă a lichidului, procesul se numește *evaporare*. Dacă vaporii apar în toată masa lichidului, procesul este denumit *fierbere*.



Schema încălzirii în vederea vaporizării.

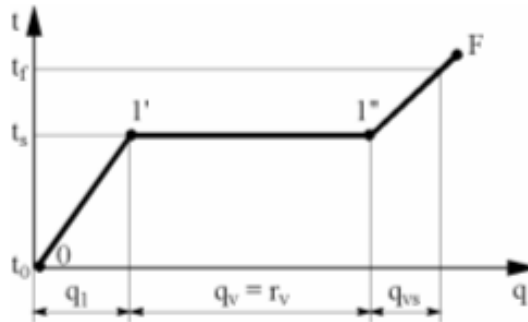
Într-un cilindru, se găsește o masă de un kilogram de lichid. Prin intermediul unui piston, se asigură pe toată durata procesului o presiune constantă p . În permanență, se introduce în sistem căldura q . Experimental, așa cum se observă în figura alăturată, se constată că odată cu creșterea cantității de căldură introdusă în sistem, temperatura lichidului din interiorul cilindrului se modifică. Starea inițială a lichidului, notată cu 0, este caracterizată de temperatura t_0 . La început, temperatura crește constant în timpul încălzirii, până se ajunge în starea 1', caracterizată de temperatura t_s .

Căldura specifică introdusă în sistem, notată q_1 se numește *căldura sensibilă a lichidului*.

$$q_1 = c_p \cdot (t_s - t_0)$$

Căldura specifică sensibilă a lichidului este proporțională cu produsul dintre căldura specifică la presiune constantă a lichidului (c_p) și variația temperaturii în timpul încălzirii ($t_s - t_0$).

Starea 1' este caracterizată de apariția primei bule de vapori în masa de lichid, deci este o stare de saturație și corespunde începutului procesului propriu-zis de vaporizare, fiind denumită stare de *lichid saturat*. Temperatura t_s , ce caracterizează această stare reprezintă *temperatura de saturație*.



Variația temperaturii unei substanțe, în timpul procesului de vaporizare.

Se consideră că bulele de vapori apar în vârful neregularităților (rugozităților) suprafeței solide, sau în jurul unor particule străine (impurități, sau gaze dizolvate în lichid), care devin nuclee (centre) de vaporizare. Lipsa acestor nuclee de amorsare a fierberii, face ca procesul de transformare de fază să se declanșeze mai greu, la o ușoară supratemperatură. Prin transfer termic și masic pe suprafața bulei, volumul acesteia crește până când forța ascensională devine mai mare decât forța de legătură, iar în acest moment bula de vapori se desprinde și se ridică spre suprafață.

După formarea primelor bule de vapori, continuând încălzirea se constată că până în starea 1'', temperatura rămâne constantă, ceea ce justifică afirmația că *procesul de vaporizare este atât izobar cât și izoterm*. Starea 1'' este caracterizată prin transformarea în vapori a ultimei picături din lichidul aflat inițial în cilindru, deci corespunde încheierii procesului de vaporizare propriu-zis, fiind denumită stare de *vapori saturați uscați*.

Căldura introdusă în sistem în timpul transformării de fază, căldura specifică de vaporizare, poartă denumirea consacrată de *căldură latentă de vaporizare* (r_v).

Stările intermediare M, dintre 1' și 1'' sunt caracterizate evident, prin aceeași presiune și temperatură ca 1' și 1'', dar reprezintă amestecuri de lichid saturat și vapori saturați uscați, în diferite proporții. Aceste stări se numesc *vapori saturați umezi*. Se precizează că vaporii care se separă la suprafața liberă a lichidului, având temperatura de saturație sunt vapori saturați uscați, dar în general, vaporii antrenează particule fine de lichid în suspensie. Amestecul de vapori uscați și lichid saturat reprezintă vapori saturați umezi.

Dacă se continuă procesul de încălzire, se observă o nouă creștere a temperaturii, proporțională cu căldura introdusă în sistem, până la atingerea stării finale, caracterizată de temperatura finală t_f , denumită stare de *vapori supraîncălziți*.

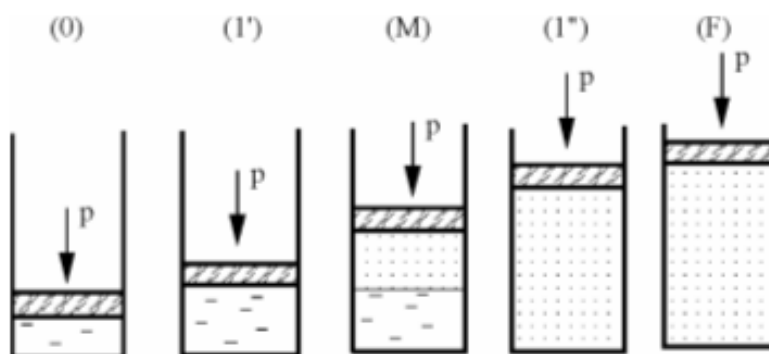
Căldura introdusă acum în sistem, notată (q_{vs}), este denumită *căldura sensibilă a vaporilor supraîncălziți*,

$$q_{vs} = c_{pv} \cdot (t_f - t_s)$$

Căldura specifică sensibilă a vaporilor este ca și în cazul lichidului, proporțională cu produsul dintre căldura specifică la presiune constantă a vaporilor supraîncălziți (c_{pv}) și variația temperaturii în timpul acestei încălziri ($t_f - t_s$).

În figura anterioară se observă că de fapt procesul de vaporizare este divizat în trei subprocese: încălzirea lichidului (0-1'), caracterizată prin creșterea temperaturii, vaporizarea propriu-zisă (1'-1''), proces izobar-izoterm și supraîncălzirea vaporilor (1''-F), caracterizată din nou de creșterea temperaturii.

Stările intermediare prin care trece substanța din cilindru sunt reprezentate în figura alăturată.



Stările intermediare în timpul procesului de vaporizare.

Se observă că în timpul încălzirii lichidului (0-1') se produce o ușoară creștere a volumului lichidului, deci o dilatare. Vaporizarea propriu-zisă (1'-M-1'') este caracterizată printr-o creștere considerabilă a volumului, iar supraîncălzirea vaporilor (1''-F) este însoțită din nou, de o ușoară creștere a volumului. Vaporizarea poate să fie urmărită prin trecerea din starea de lichid (0), în cea de lichid saturat (1'), apoi prin stările de vapori umezi (M), se ajunge în cea de vapori saturați uscați (1'') și în final într-o stare de vapori supraîncălziți (F).

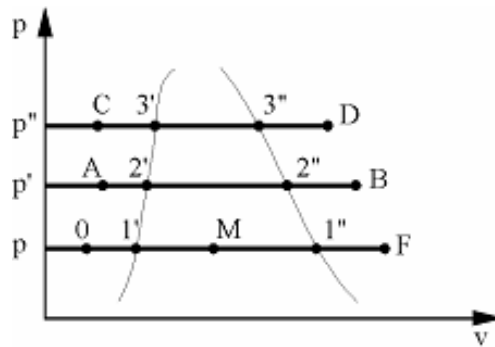
Stările de vapori umezi M, din punct de vedere calitativ reprezintă, așa cum s-a arătat, amestecuri de vapori saturați uscați și lichid.

Din punct de vedere cantitativ, aceste stări pot să fie descrise printr-o mărime care să desemneze calitatea acestui amestec neomogen, prin proporția de lichid și de vapori. Această mărime, numită *titlul vaporilor umezi*, sau mai scurt, *titlul* se notează cu x și reprezintă raportul dintre cantitatea de vapori saturați uscați m_v din amestec și masa amestecului m ($x = m_v/m$).

Dacă se notează m_ℓ cantitatea de lichid din amestec, este evident că $m = m_v + m_\ell$. Împărțind această relație cu m , se obține $1 = m_v/m + m_\ell/m$. Dacă se notează m_ℓ/m cu y , se obține $y = 1 - x$, mărime care desemnează cantitatea de lichid din amestec, denumită și *umiditate* sau uneori grad de umiditate. Este evident că $x+y=1$. Starea de lichid saturat, pentru care $m_v = 0$ și $m_\ell = m$, este caracterizată prin titlul $x = 0$ și umiditatea $y=1$.

Stările de vapori umezi au titlul cuprins între valorile 0 și 1. Cu cât cantitatea de vapori este mai redusă, deci cu cât vaporii umezi sunt mai apropiați de lichidul saturat, cu atât titlul are o valoare mai mică și cu cât cantitatea de vapori este mai mare, deci vaporii se apropie mai mult de starea de saturație, cu atât titlul are o valoare mai mare.

În în diagrama p-v din figura alăturată, poate fi urmărit procesul izobar de încălzire, vaporizare și supraîncălzire (0, 1', M, 1'', F) din experimentul descris anterior.



Reprezentarea în diagrama p-v a unor procese izobare de încălzire, vaporizare și supraîncălzire.

Pe figură se observă creșterea permanentă a volumului specific în procesele de încălzire, vaporizare și supraîncălzire.

Dacă se repetă experimentul la alte valori ale presiunii $p' > p$ (procesul A, 2', 2'', B), respectiv $p'' > p' > p$ (procesul C, 3', 3'', D), se constată că din punct de vedere calitativ vaporizarea se desfășoară la fel, dar se pot face unele comparații de natură cantitativă. Astfel, pe măsură ce crește presiunea, pe lângă creșterea temperaturii de saturație la care se desfășoară vaporizarea propriu-zisă, se pot face și următoarele constatări, evidențiate pe diagrama p-v.

- La creșterea presiunii se observă o ușoară creștere a volumului specific pentru stările de lichid saturat $v_{3'} > v_{2'} > v_{1'}$,
- La creșterea presiunii se observă o scădere sensibilă, mult mai pronunțată a volumului specific, pentru stările de vapori saturați uscați $v_{3''} \ll v_{2''} \ll v_{1''}$.

Ca o consecință, apare evident că variația volumului specific în timpul vaporizării propriu-zise, scade odată cu creșterea presiunii $(v_{3''} - v_{3'}) < (v_{2''} - v_{2'}) < (v_{1''} - v_{1'})$.

Prin unirea stărilor de lichid saturat 1', 2', 3' etc., la diferite presiuni p, p', p'' etc., se obține *curba lichidului saturat*, sau *curba limită inferioară* caracterizată prin $x = 0$.

Analog, prin unirea stărilor de vapori saturați uscați 1'', 2'', 3'', corespunzătoare acelorași valori ale presiunii, se obține *curba vaporilor saturați uscați*, sau *curba limită superioară*, caracterizată prin $x = 1$.

Aceste curbe sunt reprezentate cu linii subțiri în figura anterioară și cu linii continue în figura următoare.

Pe diagrama p-v din figura alăturată se observă că cele două curbe limită denumite și curbe de saturație, se unesc în punctul K, denumit punct critic. În acest punct vaporizarea se produce brusc, deci substanța trece din stare de lichid în stare de vapori, fără creșterea volumului specific, evidențiată în cazul proceselor descrise anterior.

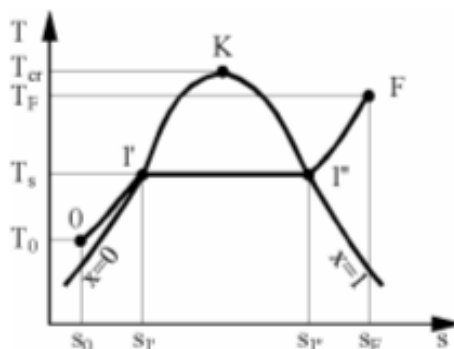


Curbele limită și domeniile de lichid și vapori în diagrama p-v.

La valori ale presiunii mai ridicate decât presiunea critică p_{cr} , a punctului critic, prin încălzire, atunci când se atinge temperatura critică T_{cr} , vaporizarea se produce de asemenea brusc. Astfel, pot să fie ușor identificate domeniile diagramei p-v.

- La stânga curbei limite inferioare $x = 0$ și sub izoterma critică $T = T_{cr}$ la presiuni mai mari decât presiunea critică, până la punctul critic K, se găsește domeniul de lichid.
- Între curba limită inferioară ($x = 0$) și curba limită superioară ($x = 1$), se găsește domeniul vaporilor umezi (bifazic).
- La dreapta curbei limită superioară ($x = 1$) și pentru presiunile supracritice, la dreapta izotermei critice $T = T_{cr}$, se găsește domeniul vaporilor supraîncălziți.

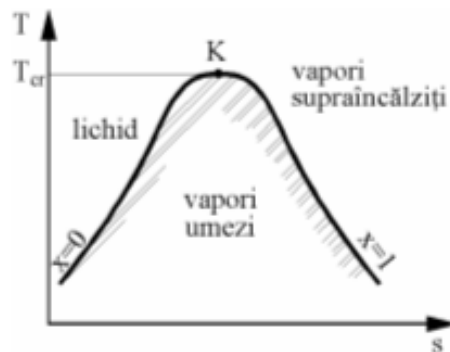
Procesul de vaporizare poate să fie reprezentat nu numai în coordonate p-v, ci și în diagrama T-s sau în alte diagrame termodinamice. Alura curbelor limită în diagrama T-s, este cea prezentată în figura alăturată. Se observă că și aici, cele două curbe limită se întâlnesc în punctul critic K, acesta fiind la fel ca și în diagrama p-v, un punct de maxim pe curba de saturație.



Procesul de vaporizare izobară în diagrama T-s.

Forma izobarei în coordonate T-s, este justificată prin variația entropiei în timpul procesului de încălzire izobară.

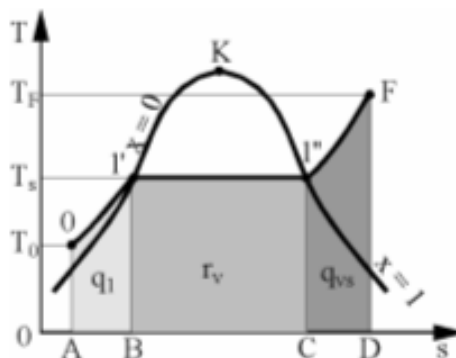
În figura alăturată sunt reprezentate domeniile de lichid și vapori în diagrama T-s.



Domeniile de lichid și vapori în diagrama T-s

Se observă că lichidul se găsește sub izoterma critică T_{cr} și la stânga curbei de lichid saturat. Între curbele limită, este delimitat domeniul vaporilor umezi, iar la dreapta curbei limită superioară și deasupra izotermei critice se găsește domeniul în care vaporii sunt supraîncălziți.

În diagrama T-s, așa cum se vede în figura alăturată, se poate reprezenta, căldura necesară pentru producerea vaporilor.



Reprezentarea căldurilor pentru încălzirea lichidului, vaporizare și supraîncălzirea vaporilor

Pentru 1 kilogram de lichid, se pot calcula căldurile corespunzătoare celor trei subprocese distincte.

- Căldura pentru încălzirea lichidului de la T_0 la T_s este $q_l = c_{pl} (T_s - T_0)$, se măsoară în kJ/kg, iar această mărime este reprezentată în coordonate T-s, prin aria 0, 1', B, A, 0.
- Căldura pentru vaporizarea propriu-zisă între stările de lichid saturat 1' și vapori saturați uscați 1'', se determină cu relația: $q_v = r_v = T_s(s_1'' - s_1')$, se măsoară în kJ/kg, și este reprezentată grafic prin aria 1', 1'', C, B, 1'.
- Căldura pentru supraîncălzirea vaporilor de la T_s , la T_F este $q_{vs} = c_{pv}(T_F - T_s)$, se măsoară tot în kJ/kg și se reprezintă grafic prin aria 1'', F, D, C, 1''.

2. Diagramele termodinamice ale vaporilor

Mărimile termodinamice de stare ale vaporilor pot să fie determinate utilizând relațiile de calcul prezentate în paragraful anterior, sau utilizând ecuațiile de stare ale gazelor reale. În practică, pentru marea majoritate a agenților termodinamici utilizați în tehnică, valorile parametrilor și a mărimilor termodinamice de stare, au fost calculate în diferite condiții de presiune și temperatură, fiind prezentate în tabele termodinamice. Asemenea tabele există atât pentru stările de saturație, cât și pentru cele de vapori supraîncălziți, fiind mult mai ușor de utilizat decât relațiile de calcul menționate. Folosind aceste tabele, pentru aflarea valorilor parametrilor de stare sunt necesare numai operații simple de interpolare, sau calcule aritmetice elementare.

O altă metodă rapidă pentru estimarea mărimilor de stare ale vaporilor, este utilizarea diagramelor termodinamice, care permit aflarea acestor mărimi pe cale grafică și în plus au avantajul că permit reprezentarea și studierea ciclurilor termodinamice ale mașinilor, instalațiilor și echipamentelor termice, care funcționează cu vapori. Bineînțeles că aceste diagrame au fost trasate utilizând relațiile pentru calculul mărimilor de stare ale vaporilor, prezentate anterior, existând asemenea diagrame pentru o mare diversitate de agenți termodinamici.

În continuare, vor fi prezentate diagramele termodinamice disponibile în programul CoolPack, realizat de Universitatea Tehnică din Danemarca și disponibil gratuit pe internet, la adresa:

<http://www.et.web.mek.dtu.dk/Coolpack/UK/index.html>

Această aplicație software complexă, a fost realizată cu ajutorul programului Engineering Equation Solver (EES).

Diagramele termodinamice sunt disponibile în modulul „Refrigeration Utilities”, așa cum se indică în figura alăturată.



Modulul „Refrigeration Utilities” din CoolPack

Sunt disponibile diagramele Igp-h, T-s, h-s și h-x, ultima fiind utilizabilă pentru aerul umed.

2.1. Diagrama p-v a vaporilor

Diagrama p-v a vaporilor, prezentată în figura alăturată, este foarte utilă în primul rând pentru că permite evaluarea lucrului mecanic schimbat de vapori cu exteriorul, prin aria de sub curba transformărilor termodinamice. Determinarea acestor suprafețe se face prin planimetrare.

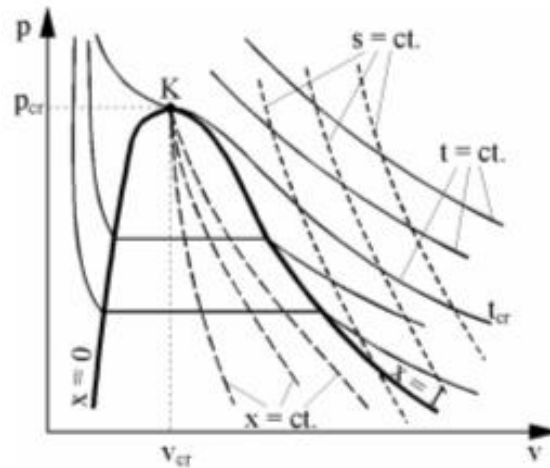


Diagrama p-v a vaporilor.

Pe aceste diagrame este evident că izobarele sunt drepte orizontale, iar izocorele sunt drepte verticale. Sunt reprezentate pe diagramă, curbele limită, punctul critic K, curbele de titlu constant, izotermele în domeniul vaporilor supraîncălziți și curbele de entropie constantă, adică adiabatele reversibile. Un alt avantaj al diagramei p-v, este că permite studierea formei izotermelor, în comparație cu izotermele gazului perfect.

2.2. Diagrama T-s a vaporilor

În figura alăturată este reprezentată diagrama T-s a vaporilor de apă afișată de CoolPack, având avantajul că permite evaluarea cantității de căldură schimbată în transformările termodinamice, prin planimetrarea ariilor de sub curbele transformărilor termodinamice.

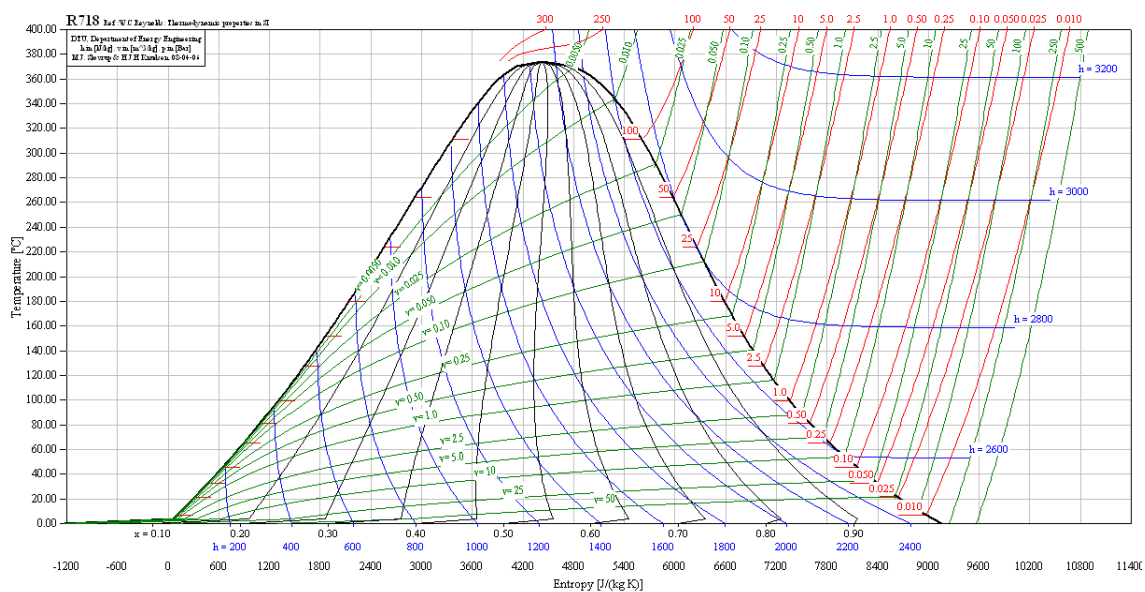


Diagrama T-s a vaporilor.

Pentru toate substanțele, alura curbei de lichid saturat, este asemănătoare cu cea prezentată în figura alăturată, dar curba de vapori saturați uscați se obține adăugând de la curba lichidului saturat, segmente orizontale de lungime r_v/T_s , unde r_v este căldura latentă de vaporizare, care depinde de natura substanței, iar T_s este temperatura de saturație. În consecință, alura curbei limită superioară, diferă de la o substanță la alta. Pentru unele substanțe cum este apa, alura este cea prezentată în figura alăturată, iar pentru altele, cum sunt de exemplu unele hidrocarburi, concavitățile poate să fie în jos, deci curbele limită nu sunt pentru orice substanță simetrice, ca în cazul apei.

În figura alăturată este prezentată ca exemplu, diagrama T-s nesimetrică pentru R134a.

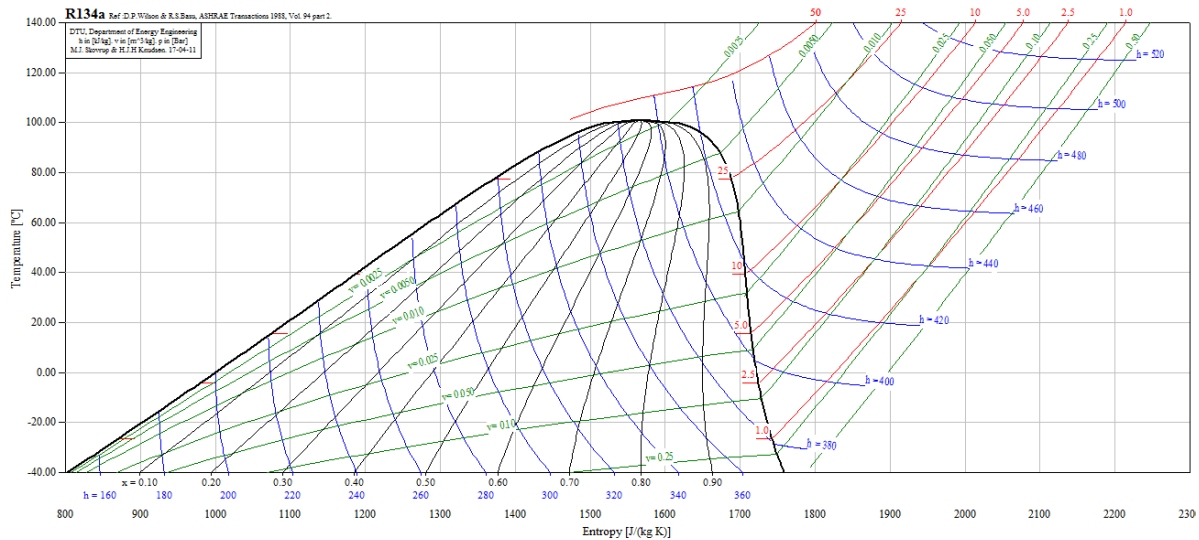


Diagrama T-s pentru R134a

În domeniul de vapori umezi, sunt reprezentate curbele de titlu constant. Izotermele sunt drepte orizontale pe tot câmpul diagramei, iar izentropiile, deci adiabatetele reversibile sunt drepte verticale.

Forma izobarelor, este cea reprezentată prin curbele de culoare roșie. Se observă că în domeniul vaporilor umezi, unde izobarele sunt drepte orizontale, fiind și izoterme.

Izocorele, reprezentate cu culuarea verde, sunt curbe având concavitățile în jos.

Pe diagramă mai sunt reprezentate curbele de entalpie constantă, care corespund proceselor de laminare adiabatică.

Unul din avantajele utilizării diagramelor termodinamice din programul CoolPack, este acela că pentru citirea parametrilor termodinamici, se poate utiliza cursorul programului, iar în starea reprezentată de cursor, valorile parametrilor termodinamici sunt afișate în partea inferioară a diagramei. Astfel sunt mult simplificate procesele de citire a parametrilor termodinamici din diagramă.

2.3. Diagrama h-s a vaporilor

Această diagramă a fost propusă pentru apă, în anul 1904 de Mollier, iar în prezent este cea mai utilizată diagramă termodinamică a apei, deoarece permite determinarea rapidă a schimburilor de energie sub formă de lucru mecanic și căldură, în toate procesele termodinamice precum și viteza de curgere a vaporilor la destinderea în ajutaje.

Schimburile energetice specifice, sunt reprezentate sub forma unor segmente verticale, pentru că axa ordonatelor este reprezentată de entalpia specifică.

Richard Mollier (1863-1935) a fost un profesor german de fizică aplicată și mecanică, în Göttingen și în Dresda.



Richard Mollier (1863-1935)

<http://www.mollier.nl/wp-content/uploads/2014/02/Richard-Mollier.jpg>

A fost unul din pionierii cercetărilor experimentale în termodinamică, referitoare în special la apă, abur și aer umed.

În anul 1923, la conferința de termodinamică din Los Angeles, s-a luat decizia ca în onoarea sa, toate diagramele care au entalpia pe una din axe, să fie denumite diagrame Mollier. Astfel de diagrame sunt diagrama h-s a vaporilor de apă, sau diagrama h-x a aerului umed.

În figurile alăturate este prezentată diagrama h-s, cu mențiunea că de exemplu în cazul apei, este utilizată doar porțiunea din dreapta punctului critic K, așa cum se observă în a doua figură, pentru a fi reprezentat mai detaliat în principal domeniul vaporilor supraîncălziți și al vaporilor umezi având titlul mare. În aceste domenii se desfășoară cele mai importante procese de lucru din echipamentele energetice funcționând cu abur, în special în turbine.

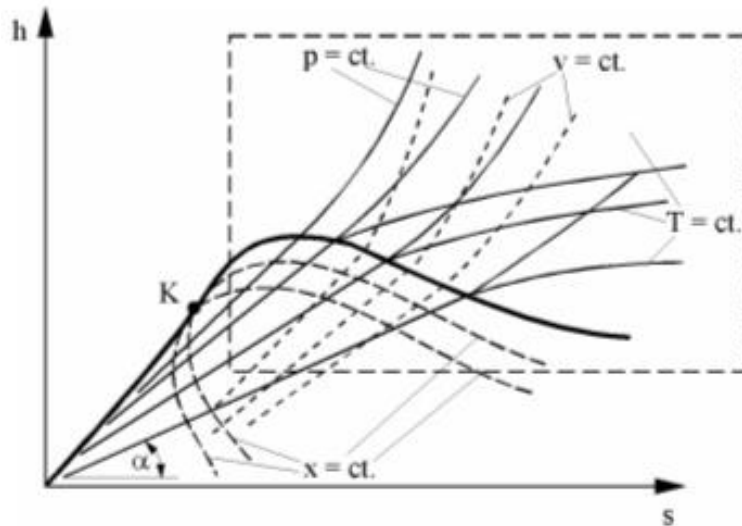
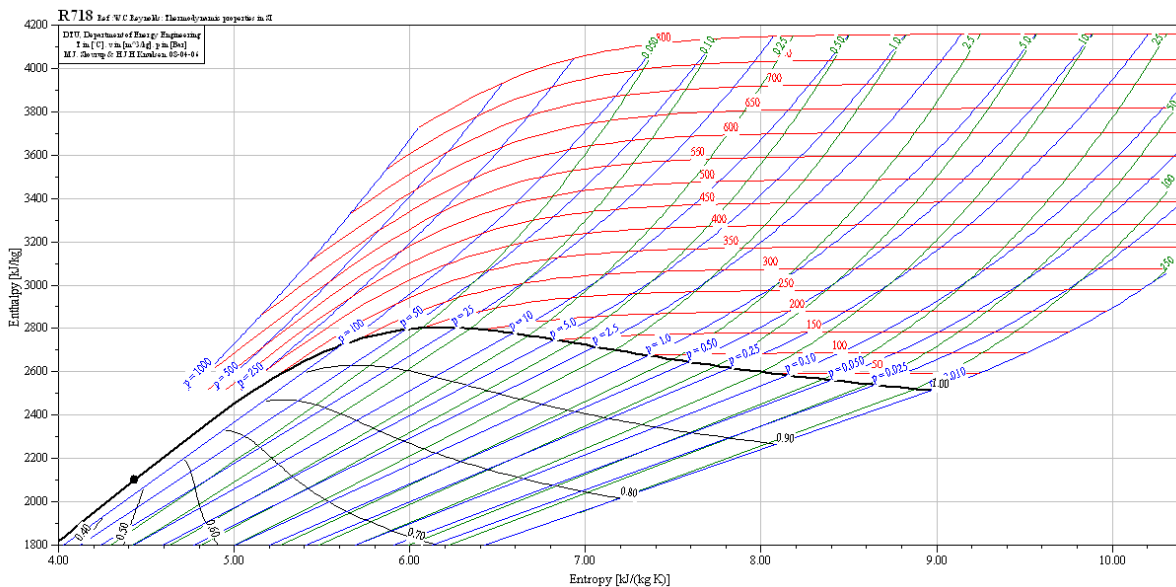


Diagrama h-s a vaporilor.



Zona din dreapta punctului critic, a diagramei h-s pentru apă

Se observă că în această diagramă, punctul critic nu mai este punctul de maxim al curbelor limită, ci un punct de inflexiune și cel puțin pentru apă, curba lichidului saturat pornește din origine.

În domeniul de vapori umezi, este prezentată alura curbelor de titlu constant. Pentru izobare, în domeniul de vapori umezi, alura este cea a unor drepte convergente în origine, având panta cu atât mai mare cu cât valoarea presiunii este mai ridicată. Panta izobarelor în coordonate h-s se poate calcula din ecuația generală a termodinamicii scrisă sub forma: $dh = Tds + vdp$, unde $dp = 0$, deci se obține: $(tg\alpha)_p = (dh/ds)_p = T$. Astfel se explică ușor de ce izobarele sunt drepte,

în domeniul de vapori umezi, pentru că fiind și izoterme, panta are valoare constantă, cu atât mai mare cu cât presiunea, deci și temperatura de saturație este mai ridicată.

În domeniul vaporilor supraîncălziți, izobarele continuă sub forma unor curbe exponențiale. Izocorele au și în domeniul vaporilor umezi și în cel al vaporilor supraîncălziți, panta mai mare decât a izobarelor, iar alura este a unor curbe exponențiale. Se observă de asemenea că izotermele, în domeniul vaporilor supraîncălziți, unde nu mai coincid cu izobarele, sunt curbe având concavitățile în jos, care tind asimptotic la drepte horizontale.

2.4. Diagrama lgp-h a vaporilor

Diagrama logaritmică din presiune – entalpie (lgp-h), prezentată în figura alăturată, este utilizată în special în tehnica frigului, existând asemenea diagrame pentru toți agenții frigorifici și pentru majoritatea hidrocarburilor.

O particularitate întâlnită numai la această diagramă, este reprezentată de scara logaritmică a presiunilor, care permite acoperirea unui domeniu foarte larg de presiuni, atât zecimi de bar cât și zeci de bari, cu menținerea relativ constantă a preciziei de citire a presiunilor.

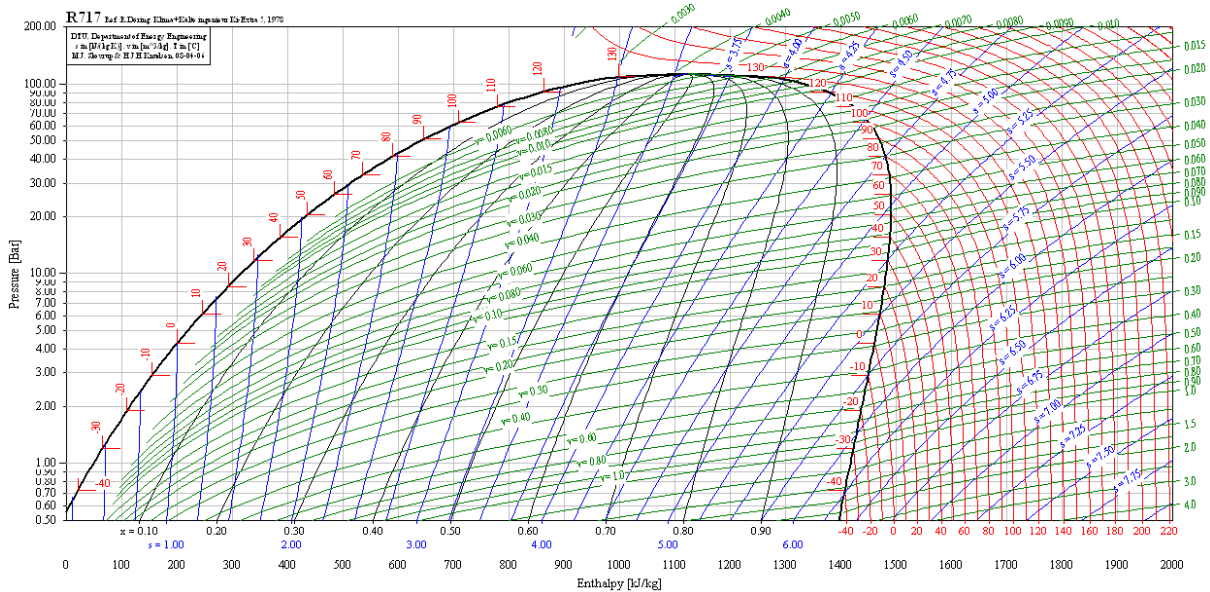


Diagrama lgp-h a vaporilor

Se observă că la această diagramă, ca și la diagramele p-v și T-s, punctul critic este punct de maxim. Este prezentată alura izotermelor, pe tot câmpul diagramei, la fel ca și forma curbelor izentropice ($s = \text{constant}$), foarte utile mai ales în domeniul vaporilor supraîncălziți, unde se desfășoară procesele de comprimare, teoretic adiabatice, din ciclurile mașinilor frigorifice. În domeniul vaporilor supraîncălziți au fost reprezentate și curbele izocore, iar în cel al vaporilor umezi, cele de titlu constant.

2.5. Tabele cu valori ale parametrilor termodinamici ai vaporilor

Pentru citirea parametrilor termodinamici, pot fi utilizate și tabele ale acestor valori, în stările de saturație, de tipul celui indicat în figura alăturată.

T	p	v_l	v_g	h_l	h_g	R	s_l	s_g
°C	Bar	dm ³ /kg	m ³ /kg	kJ/kg	kJ/kg	kJ/kg	kJ/(kg K)	kJ/(kg K)
10.00	0.012	1.0005	106.38525	41.10	2519.42	2478.32	0.1478	8.9005
20.00	0.023	1.0022	57.79418	82.87	2537.74	2454.87	0.2928	8.6669
30.00	0.042	1.0047	32.89268	125.22	2555.92	2430.71	0.4348	8.4530

Tabele cu valori ale parametrilor termodinamici ai vaporilor, la saturație

Sunt disponibile și tabele cu valori ale parametrilor termodinamici ai vaporilor supraîncălziți, ca cel din figura alăturată.

T	p	H gas
°C	Bar	kJ/kg
110.000	1.000	2696.133367
110.000	2.000	2684.450643
110.000	3.000	2672.157418

Tabele cu valori ale parametrilor termodinamici supraîncălziți

Aplicații

1. Citiți dintr-un tabel termodinamic și reprezentați grafic, cu ajutorul programului Excel, variația presiunii de saturație cu temperatura, pentru apă, în domeniul de temperaturi 0...350 °C, cu un pas de variație de 50°C.

T	p	v _l	v _g	h _l	h _g	R	s _l	s _g
°C	Bar	dm ³ /kg	m ³ /kg	kJ/kg	kJ/kg	kJ/kg	kJ/(kg K)	kJ/(kg K)
0.00	0.0061	0.9999	206.19903	-333.53	2501.01	2834.54	-1.2212	9.1560
50.00	0.1235	1.0123	12.03159	209.69	2591.74	2382.05	0.7046	8.0759
100.00	1.0135	1.0436	1.67287	419.71	2675.72	2256.02	1.3087	7.3546
150.00	4.7584	1.0909	0.39277	631.95	2746.12	2114.17	1.8413	6.8376
200.00	15.5380	1.1565	0.12735	852.74	2792.85	1940.12	2.3315	6.4320
250.00	39.7294	1.2511	0.05013	1085.85	2801.20	1715.35	2.7938	6.0727
300.00	85.8086	1.4042	0.02167	1344.63	2748.62	1403.98	3.2546	5.7042

2. Citiți din diagrama T-s, sau h-s, valorile parametrilor termodinamici lipsă din tabelul parametrilor de stare alăturat.

Agent	t [°C]	p [bar]	h' [kJ/kg]	h'' [kJ/kg]	s' [kJ/kg·K]	s'' [kJ/kg·K]	v'' [m ³ /kg]
apă	20						
apă	100						
apă	300						

3. Citiți din diagramele lgp-h valorile parametrilor termodinamici lipsă din tabelul parametrilor de stare alăturat.

Agent	p [bar]	t [°C]	h' [kJ/kg]	h'' [kJ/kg]	s' [kJ/kg·K]	s'' [kJ/kg·K]	v'' [m ³ /kg]
R134a	1						
R22	10						
R404a	1						
NH ₃	5						

4. Citiți din diagramele lgp-h valorile parametrilor termodinamici lipsă din tabelul parametrilor de stare alăturat.

Agent	p [bar]	t [°C]	h [kJ/kg]	s [kJ/kg·K]	v'' [m ³ /kg]
R134a	1	0			
R134a	10	50			
R22	10	50			
R22	1	0			
R404a	1	0			
R404a	10	50			
NH ₃	1	0			
NH ₃	10	50			

5. Rezolvați aplicația 2, cu ajutorul programului Engineering Equation Solver (EES).