



Podstawy chłodnictwa

część 2

Zasady termodynamiki i przemiany termodynamiczne, wykres ciśnienie entalpia

mgr inż. Grzegorz Toczek

W termodynamice parametry dzieli się głównie na:

- **intensywne** - niezależne od ilości substancji, mogą być określone dla dowolnego fragmentu układu, np.

temperatura T

ciśnienie p

gęstość właściwa

- **ekstensywne** - zależne od ilości substancji, addytywne, sumują się, opisują układ jako całość, np.

objętość V

masa m

energia wewnętrzna E lub U

- **parametry właściwe**, które są specyficzne dla substancji (np. gęstość właściwa, ciepło właściwe)

- **parametry stanu** (ciśnienie, temperatura, objętość), które jednoznacznie opisują stan termodynamiczny układu i są powiązane równaniem stanu (np. równanie gazu doskonałego:

$$pV=nRT$$

Przykłady parametrów w kontekście układów:

- **Układ otwarty**: Wymienia masę i energię.
- **Układ zamknięty**: Wymienia energię, ale nie masę.
- **Układ izolowany**: Nie wymienia ani masy, ani energii.

Pierwsza zasada termodynamiki

- Jest to zasada zachowania energii dla układów termodynamicznych.
- Energia wewnętrzna zaizolowanego układu termodynamicznego nie zmienia się, jest to stan ustalony.
- Praca dostarczona do układu w całości jest przeznaczana na ciepło odprowadzane z układu. Możemy zmienić energię z jednej formy w drugą bez żadnych strat.

$$Q = \Delta U + L$$

gdzie: Q — ciepło dostarczone do rozpatrywanego układu, ΔU — zmiana energii wewnętrznej tego układu, L — praca zewnętrzna wykonana przez ten układ.

$L > 0$ – do układu przepływa energia na sposób pracy

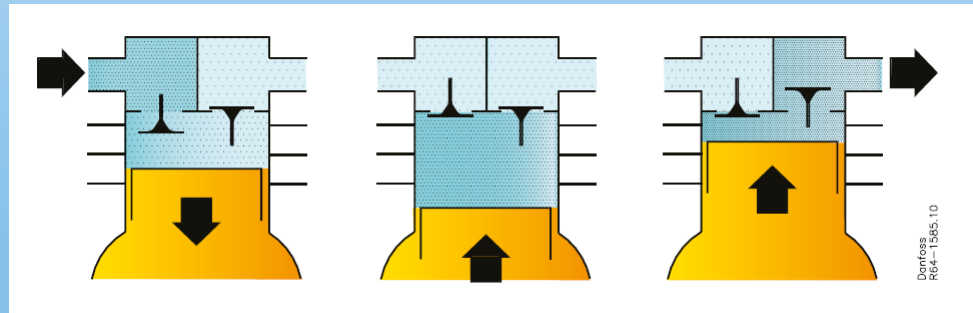
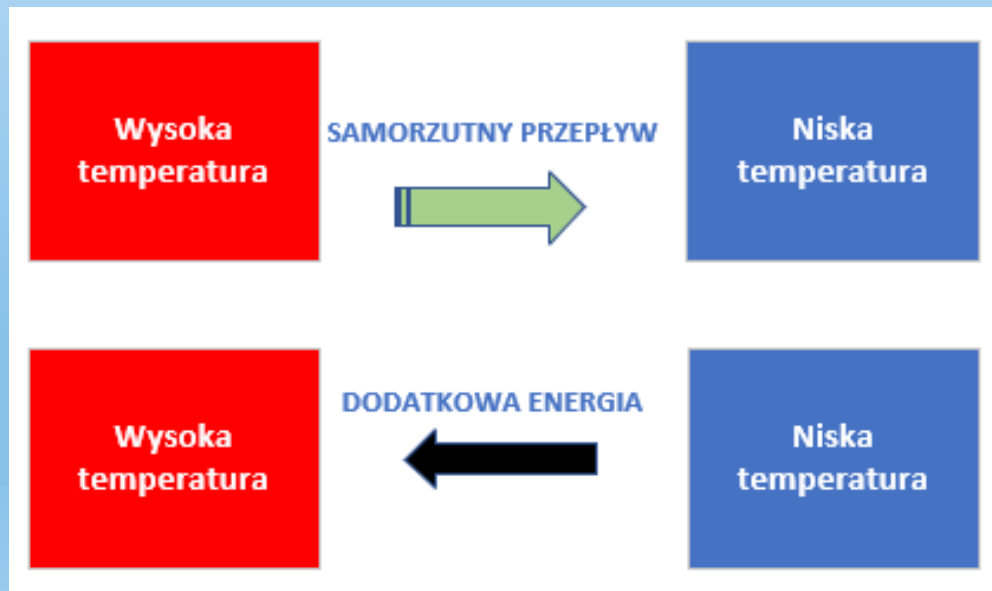
$L < 0$ – układ traci energię na sposób pracy

$Q > 0$ – energia przepływa do układu na sposób ciepła

$Q < 0$ – układ traci energię na sposób ciepła

Druga zasada termodynamiki

- Ciepło jest samorzutnie przekazywane od ośrodka o temperaturze wyższej do ośrodka o temperaturze niższej, przy czym ciepło to może zostać częściowo zamienione na pracę.
- Aby przekazać ciepło od ośrodka o temperaturze niższej do ośrodka o temperaturze wyższej należy wykonać dodatkową pracę.



Trzecia zasada termodynamiki

- **Nie jest możliwe osiągnięcie temperatury 0K.**

Alternatywne sformułowania:

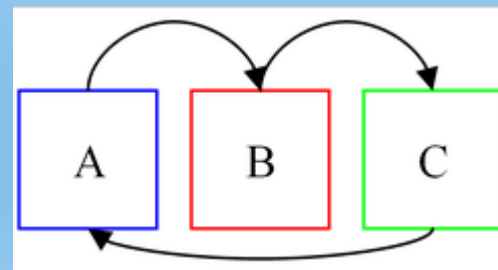
- Niemożliwe jest za pomocą jakiegokolwiek postępowania, niezależnie od stopnia jego wyidealizowania, sprowadzenie dowolnego układu do temperatury zera bezwzględnego poprzez skończony ciąg działań.
- Niemożliwe jest za pomocą jakiegokolwiek postępowania, niezależnie od stopnia jego wyidealizowania, sprowadzenie wartości entropii dowolnego układu do entropii zera bezwzględnego poprzez skończoną liczbę kroków.
- Entropia substancji tworzących doskonałe kryształy dąży do zera, gdy temperatura dąży do 0 K.

Czwarta zasada termodynamiki

- Macierz współczynników fenomenologicznych jest symetryczna

Zerowa zasada termodynamiki

- Jeśli układy A i B mogące ze sobą wymieniać ciepło są ze sobą w równowadze termicznej, i to samo jest prawdą dla układów B i C, to układy A i C również są ze sobą w równowadze termicznej.



Prawo Clapeyrona

- W analizach obiegów termodynamiczny używa się modelu gazu doskonałego. Równanie stanu gazu doskonałego opisuje równanie Clapeyrona. Jest to zależność pomiędzy ciśnieniem, temperaturą i objętością gazu doskonałego.

Prawo Clapeyrona

$$\frac{pv}{T} = \text{idem} = R$$

gdzie R jest indywidualną stałą gazową [J/(kg·K)]. (Skrót „idem” oznacza niezmiennosc wartości danej wielkości w określonych warunkach, w przeciwieństwie do skrótu „const”, który oznacza stałą fizyczną, która może przyjmować tylko jedną, ściśle określoną wartość). Równanie powyższe jest zwane *termicznym równaniem stanu*.

$$p = \frac{nRT}{V},$$

gdzie:

p – ciśnienie gazu (w Pa),

T – temperatura gazu (w K),

V – objętość zajmowana przez gaz podlegający przemianie (w m³),

n – liczba moli gazu podlegającego przemianie.

$$R = 8,31446261815324 \frac{\text{J}}{\text{mol} \cdot \text{K}}$$

Prawo Clapeyrona

$$\frac{pv}{T} = \text{idem} = R$$

gdzie R jest indywidualną stałą gazową [J/(kg·K)]. (Skrót „idem” oznacza niezmiennosc wartości danej wielkości w określonych warunkach, w przeciwieństwie do skrótu „const”, który oznacza stałą fizyczną, która może przyjmować tylko jedną, ściśle określoną wartość). Równanie powyższe jest zwane *termicznym równaniem stanu*.

Prawo Boyle'a i Mariotte'a

$$p_1v_1 = p_2v_2 \quad \text{dla } T = \text{idem}$$

Prawo Gay-Lussaca

$$\frac{v_1}{v_2} = \frac{T_1}{T_2} \quad \text{dla } p = \text{idem}$$

Prawo Avogadra

Dwa różne gazy znajdujące się w tej samej temperaturze ($T = \text{idem}$) i tym samym ciśnieniu ($p = \text{idem}$) oraz zajmujące tę samą objętość ($V = \text{idem}$) zawierają tę samą ilość cząsteczek ($N = \text{idem}$). Oznacza to, że stosunek mas tych gazów spełnia zależności:

$$\frac{m_1}{m_2} = \frac{m_1/V}{m_2/V} = \frac{\rho_1}{\rho_2} = \frac{v_2}{v_1}, \quad \frac{m_1}{m_2} = \frac{m_1/N}{m_2/N} = \frac{M_1}{M_2}$$

gdzie M jest masą molową [kg/kmol]. Z powyższych równań można wyciągnąć wniosek, że iloczyn masy molowej i objętości właściwej jest wielkością stałą

$$M_1 v_1 = M_2 v_2 = \text{const} = 22,42 \text{ [nm}^3\text{/kmol]}$$

Normalny metr sześcienny [nm³] jest odniesiony do warunków normalnych $t = 0^\circ\text{C}$ oraz ciśnienia $p = 101\,325 \text{ Pa}$. Podaną powyżej objętość w warunkach normalnych zajmuje jeden kmol gazu.

Prawo Daltona

Ciśnienie roztworu gazów doskonałych jest równe sumie ciśnień cząstkowych składników, przy założeniu że każdy ze składników zajmuje całą objętość roztworu

$$p = p_1 + p_2 + \dots + p_n, \quad V = V_1 = V_2 = \dots = V_n$$

Dla roztworów gazów doskonałych obowiązuje również **prawo Amagata**, według którego objętość zajmowana przez roztwór gazów jest równa sumie objętości zajmowanych przez poszczególne składniki roztworu, przy założeniu że każdy ze składników ma tę samą temperaturę i ciśnienie

$$V = V_1 + V_2 + \dots + V_n$$

Podstawowym kryterium odróżniającym gazy doskonałe od półdoskonałych oraz rzeczywistych jest postać zależności określająca ciepło właściwe (tab. 2).

Tabela 2. Ciepło właściwe gazów

Gazy doskonałe	Gazy półdoskonałe	Gazy rzeczywiste i pary
$c_v = \text{const}$	$c_v = f(T)$	$c_v = f(p, T)$
$c_p = \text{const}$	$c_p = f(T)$	$c_p = f(p, T)$
$\kappa = c_p / c_v = \text{const}$	$\kappa = c_p(T) / c_v(T)$	$\kappa = -v / \left[p \left(\frac{\partial v}{\partial p} \right)_T \right] \frac{c_p}{c_v}$

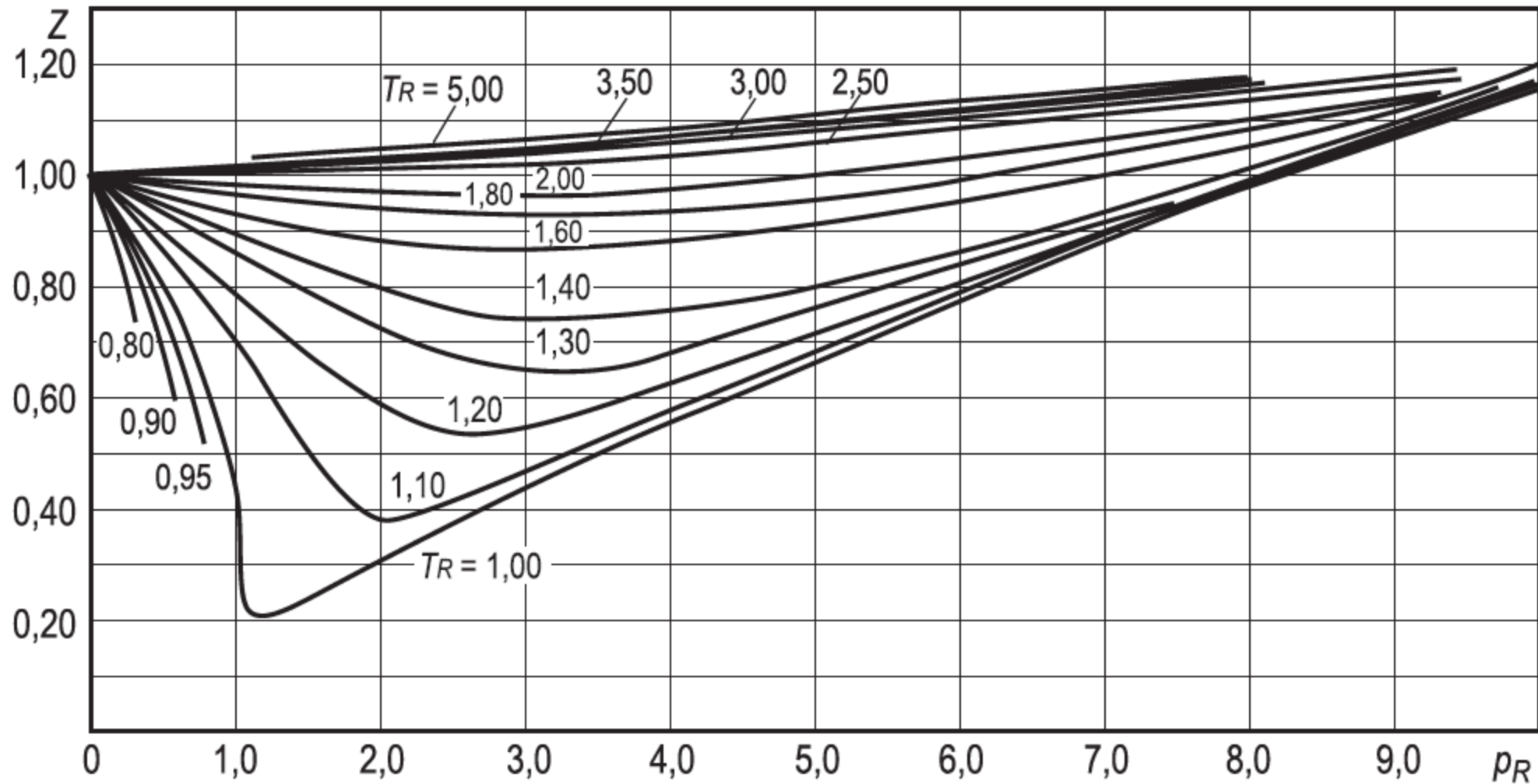
Wielkość κ jest dla gazów doskonałych i półdoskonałych *wykładnikiem izentropii*. Dla gazów doskonałych obowiązuje również następująca relacja:

$$c_p - c_v = R$$

Prawo Clapeyrona nie dotyczy w sposób ścisły większości czynników chłodniczych. Jest ono spełnione w sposób przybliżony jedynie w zakresie bardzo niskich ciśnień oraz bardzo dużych objętości właściwych. Aby wykorzystać zalety prostoty termicznego równania stanu gazów doskonałych, wprowadza się do tego równania poprawkę w postaci tak zwanego *współczynnika ściśliwości* Z

$$pv = ZRT$$

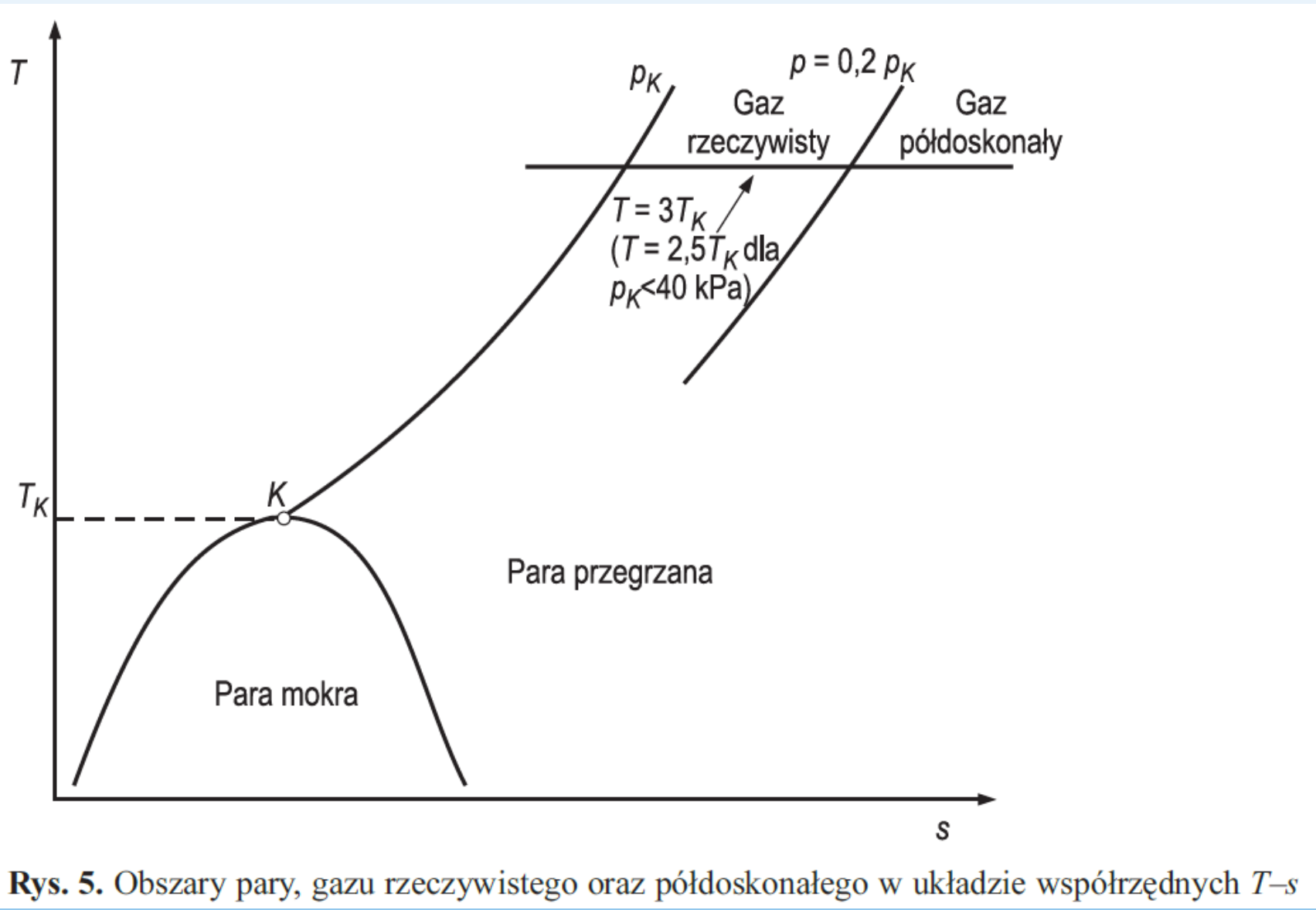
Współczynnik Z jest bezwymiarowy. Dla $Z = 1$ czynnik zachowuje się jak gaz doskonały. Równanie powyższe jest na tyle dokładne, na ile dokładna jest znajomość współczynnika ściśliwości, który dla danego czynnika zależy w określony sposób od temperatury oraz ciśnienia. Okazuje się jednak, że istnieje pewna prawidłowość rządząca tymże współczynnikiem. Mianowicie, jeżeli rozpatrywać zależność współczynnika ściśliwości od tak zwanego ciśnienia zredukowanego $p_R = p/p_K$ oraz temperatury zredukowanej $T_R = T/T_K$, gdzie indeks „ K ” dotyczy punktu krytycznego, to wówczas otrzymuje się dla czynników jednorodnych zależność uniwersalną. Zależność tę przedstawiono graficznie na rys. 6.



Rys. 6. Uniwersalna zależność współczynnika ściśliwości Z od zredukowanych parametrów stanu: ciśnienia p_R oraz temperatury T_R , wg [40]

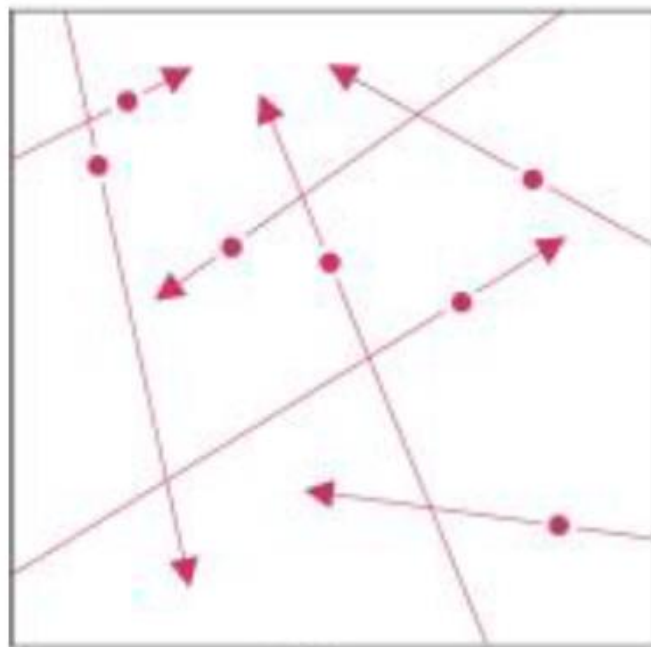
Gazy doskonałe (idealne), półdoskonałe i rzeczywiste

Gaz można traktować jak bardzo mocno przegrzaną parę. Gazami, które uważa się w warunkach dalekich od punktu krytycznego za *gazy doskonałe*, są: hel, neon oraz argon. Są to gazy szlachetne, jednoatomowe. Dla gazów dwuatomowych, takich jak azot, tlen, tlenek węgla, powietrze (będących roztworem głównie azotu i tlenu), istnieją odstępstwa od praw gazów doskonałych, lecz można je traktować jako *półdoskonałe* (rys. 5). Należy podkreślić, że wszystkie te gazy zachowują się podobnie do gazów doskonałych. *Gazami rzeczywistymi* są gazy wieloatomowe, takie jak dwutlenek węgla oraz większość czynników chłodniczych. W celu dokonania analiz termodynamicznych często używa się modelu gazu doskonałego. Rzeczywiste gazy oraz pary wykazują w pewnych warunkach wiele odchylenia od modelu gazu doskonałego. *Gazy doskonałe* spełniają w szczególności znane prawa: Clapeyrona, Boyle'a i Mariotte'a, Gay-Lussaca, Avogadra oraz Daltona.



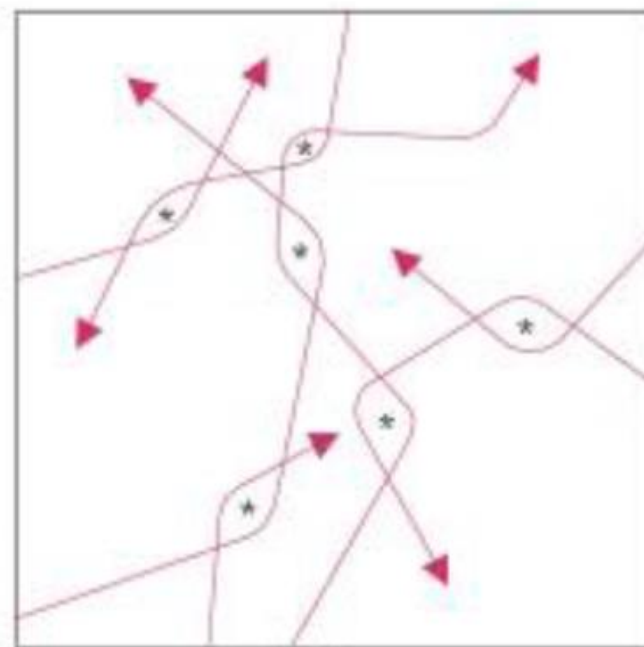
Gaz idealny (doskonały) a gaz rzeczywisty

- ▶ Parametry opisujące stan gazowy - masa, objętość, ciśnienie, temperatura.
- ▶ Gaz idealny to gaz o cząsteczkach doskonale sprężystych, o znikomo małej objętości. Jego molekuly nie oddziałują na siebie i są w ciągłym ruchu.
- ▶ Gaz rzeczywisty - gaz, którego cząsteczki nie spełniają podanych powyżej założeń.



(a)

Ideal gas



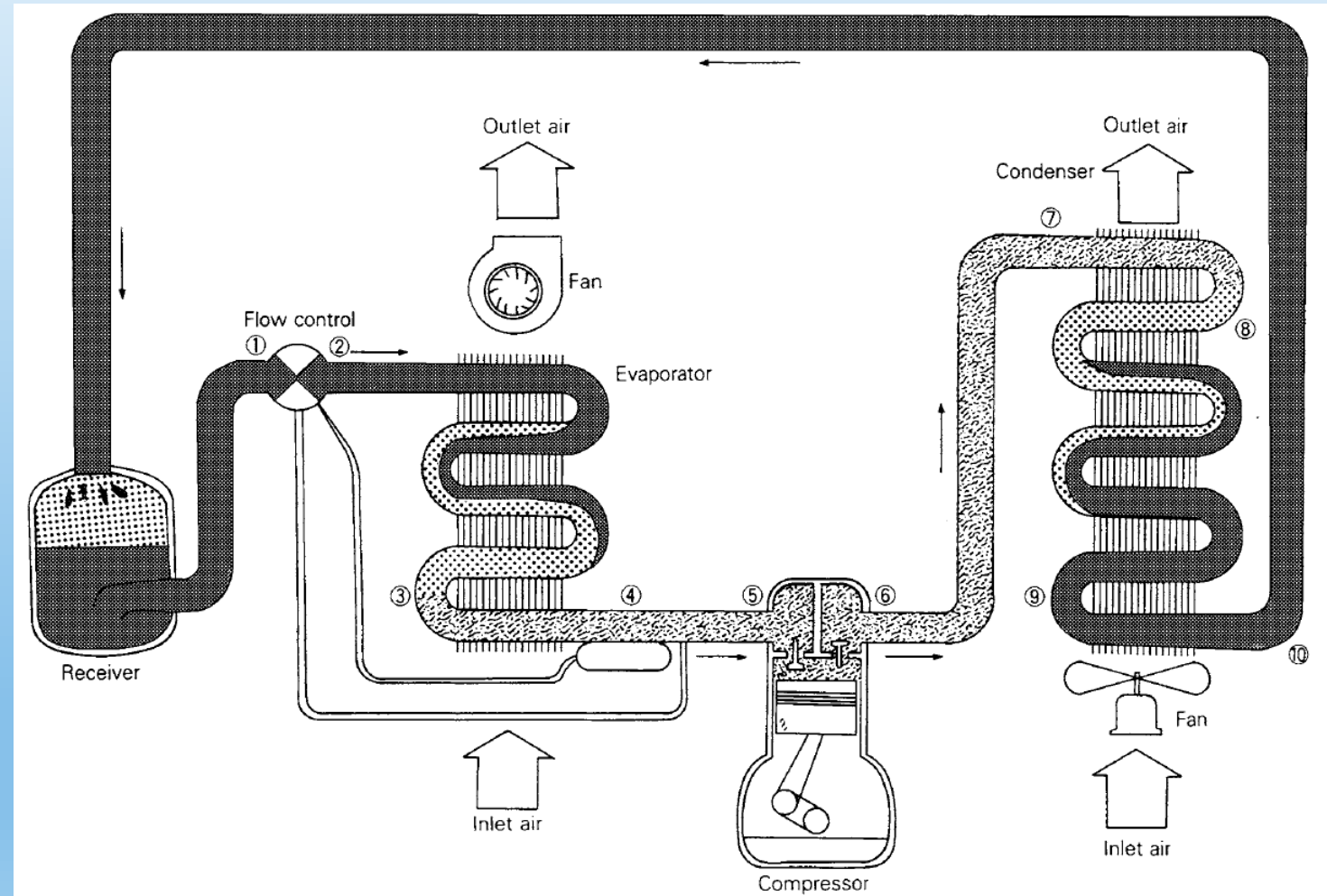
(b)

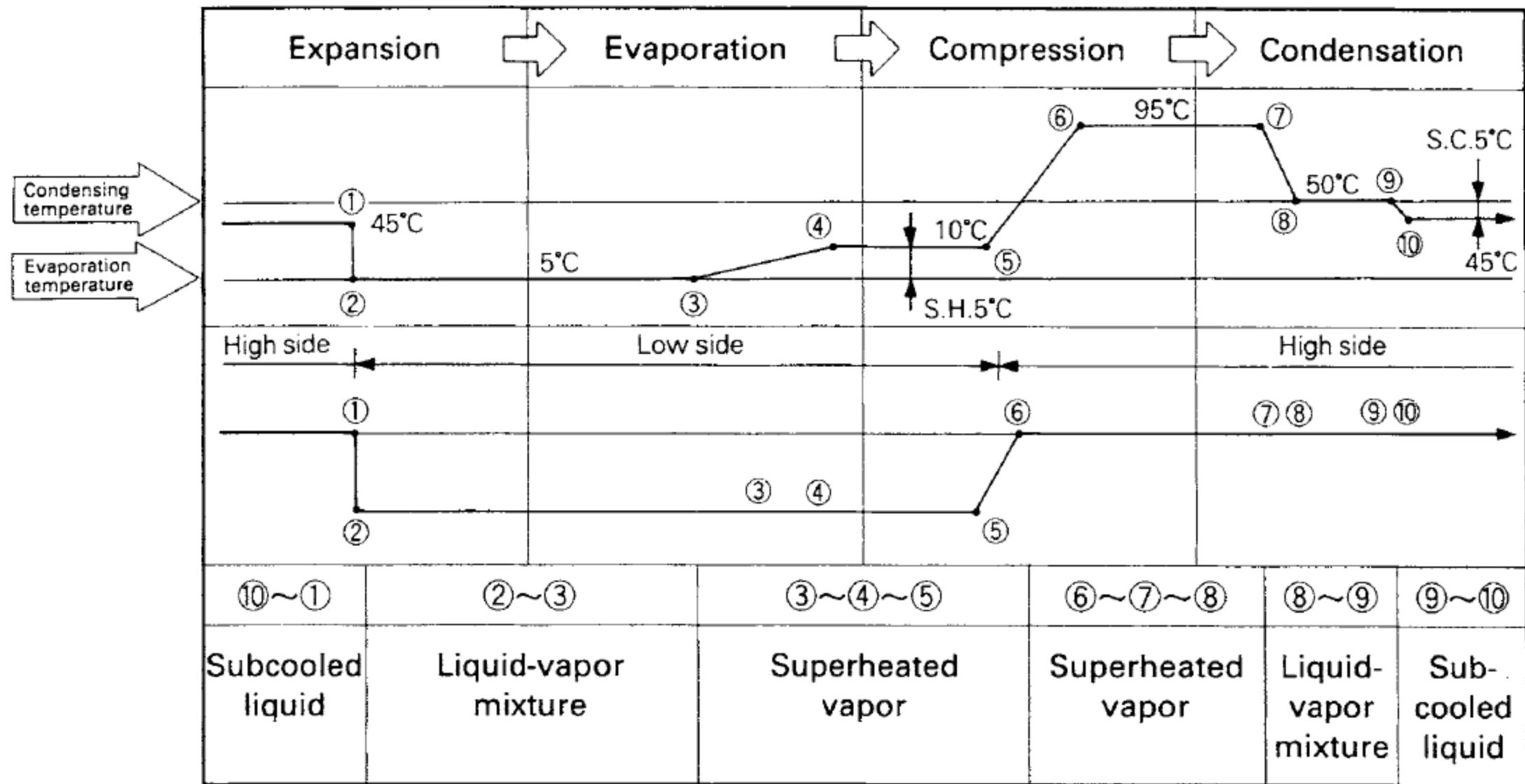
Real gas

(a) Gaz idealny, cząsteczki przemieszczają się w linii prostej, (b) gaz rzeczywisty, droga przemieszczania się cząsteczek nie jest prosta na skutek sił przyciągania pomiędzy nimi

Przemiany termodynamiczne

- **Przemiana termodynamiczna** jest to zmiana parametrów układu. Charakteryzują ją parametry początkowe i parametry końcowe przemiany.
- **Obieg termodynamiczny** jest to zamknięty i powtarzalny obieg zrealizowany przy pomocy różnych przemian termodynamicznych.
- W urządzeniach chłodniczych i pompach ciepła zachodzą złożone procesy fizyczne. Stanowią one zamknięty obieg, cykl. Czynnik chłodniczy po zrealizowaniu wszystkich przemian zachodzących w poszczególnych elementach składowych urządzenia chłodniczego powraca do swoich początkowych parametrów roboczych





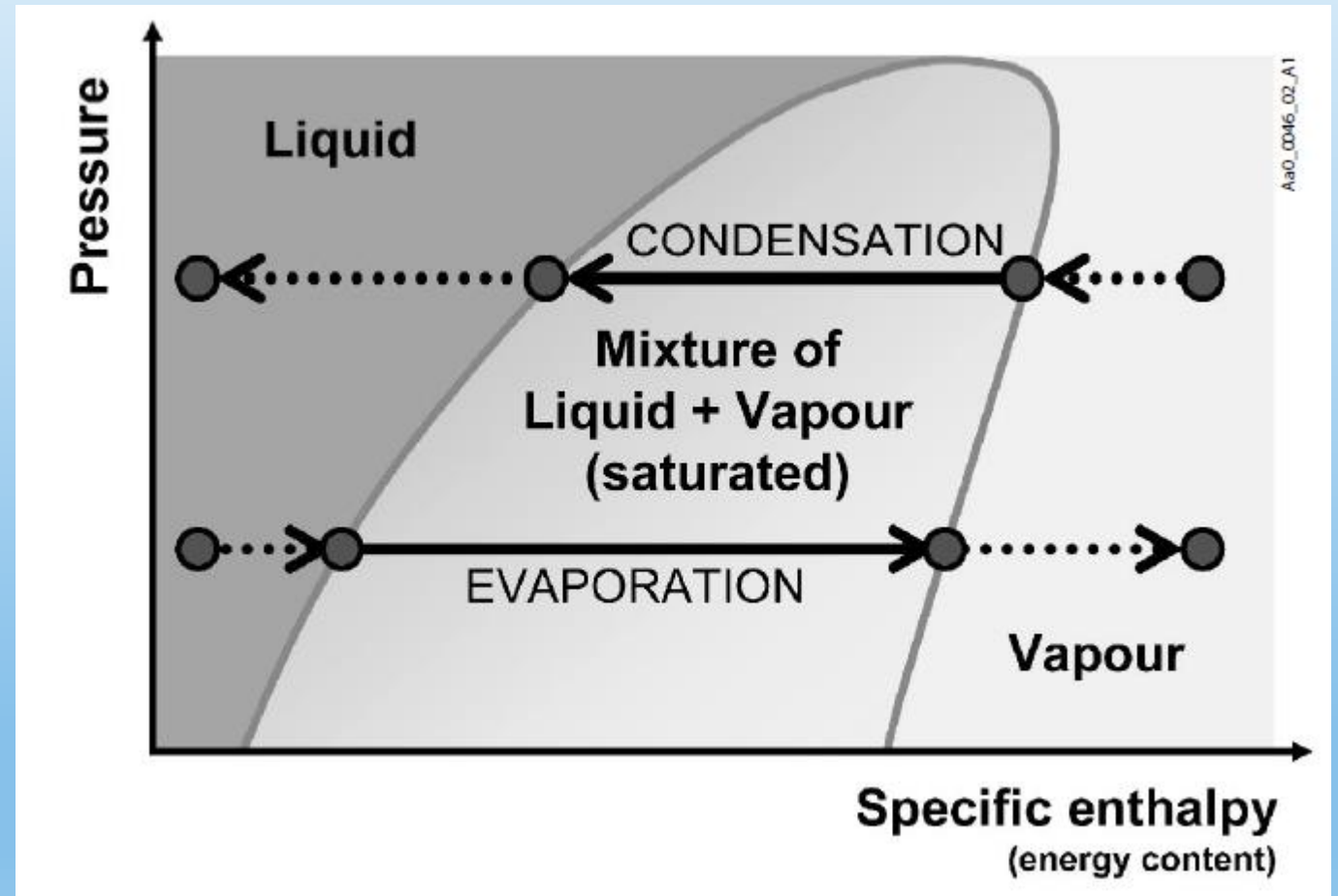
Obiegi porównawcze

- Do opisu termodynamicznych obiegów ziębnych stosuje się pojęcie tzw. obiegów porównawczych. Są to obiegi teoretyczne, różniące się stopniem złożoności opisu; od prostych do złożonych i rozbudowanych.
- Ważną cechą każdego obiegu teoretycznego jest jego zdolność do odwzorowywania, z różnym stopniem uproszczenia, obiegu rzeczywistego.
- Stąd pojawia się potrzeba porównywania obiegów: teoretycznego z rzeczywistym, ale ważna jest też możliwość porównania różnych obiegów teoretycznych.
- Obiegi porównawcze będą omówione na następnym wykładzie

- Do praktycznej oceny zjawisk zachodzących w urządzeniu chłodniczym obieg chłodniczy dzieli się na charakterystyczne przemiany termodynamiczne.
- Na przebieg tych procesów mają wpływ właściwości termodynamiczne czynnika chłodniczego, parametry robocze układu oraz uwarunkowania wynikające z konstrukcji urządzenia, sposobu i okresu jego eksploatacji.
- Dla uzupełnienia: czynnik chłodniczy jest to substancja robocza, zmieniająca stan skupienia w obiegu chłodniczych. Nie zawiera wody. Występuje w postaci ciecicy, pary mokrej i pary przegrzanej. Może być substancją jednorodną lub mieszaniną. Może być naturalna lub syntetyczna. Nie może mieszać się z azotem, powietrzem, wodą.
- Każdy z tych procesów zachodzi w rzeczywistości nieodwracalnie

- Wyróżniamy następujące przemiany termodynamiczne:

- Przemiana izobaryczna
- Przemiana izochoryczna
- Przemiana izotermiczna
- Przemiana izentropowa
- Przemiana izentalpowa
- Przemiana politropowa
- Przemiana adiabatyczna

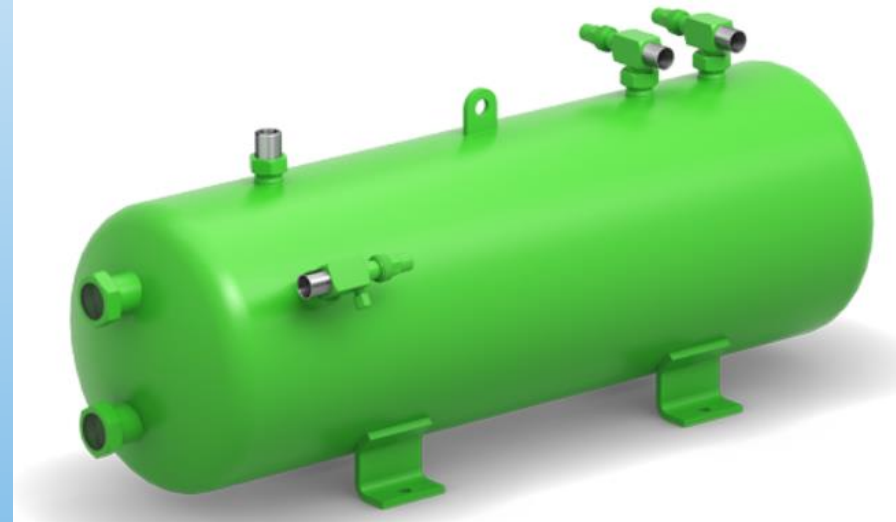


Przemiana izobaryczna

- Przemiana izobaryczna zachodzi w warunkach stałego ciśnienia. Zakłada się, że przemiana taka zachodzi w wymiennikach ciepła (parowniki, skraplacze).
- $p = \text{idem}$, $V/T = \text{idem}$ **Prawo Clapeyrona**
 $\frac{pv}{T} = \text{idem} = R$
- Ciśnienie czynnika chłodniczego przepływającego przez kanały wymiennika spada w wyniku oporów przepływu (liniowych i miejscowych).
- Do uproszczonej analizy pracy urządzenia chłodniczego zjawisko to pomija się.
- Zakładamy zatem, że przemiany zachodzące w parowniku i skraplaczu lub innych wymiennikach ciepła przebiegają izobarycznie (przy stałym ciśnieniu, $p = \text{const.}$)

Przemiana izochoryczna

- Przemiana izochoryczna zachodzi w stałej objętości. Przemiana ta występuje w trakcie procesów ogrzewania i ochładzania czynnika zawartego w butli lub w zbiorniku, lub zamkniętej części instalacji.



- Przemiana taka występuje także podczas pompowania cieczy.
- $V = \text{idem}$, $p/T = \text{idem}$

Prawo Clapeyrona

$$\frac{pv}{T} = \text{idem} = R$$

- Szczególny przypadek przemiany izochorycznej w chłodnictwie dotyczy pary mokrej czynnika chłodniczego. W butli zawierającej czynnik chłodniczy, o ile jest ona niemal zupełnie pusta, w dolnej części znajduje faza ciekła, nad lustrem cieczy zaś w równowadze z nią znajduje się para nasycona.
- Ciśnienie czynnika zawartego w butli zależy od temperatury. Wraz ze wzrostem temperatury wzrasta ciśnienie w butli stosownie do krzywej nasycenia danego czynnika.
- Zmieniają się jednak proporcje między ilością cieczy zawartej w butli a pary.
- Po zaniknięciu fazy ciekłej wzrost temperatury czynnika zamkniętego w butli powoduje znacznie większy wzrost ciśnienia niż wtedy, gdy w butli znajdują się obydwie fazy.

- Siła wybuchu butli zależy od iloczynu ciśnienia i objętości (pV). Oznacza to, że stosunkowo niewielkie ciśnienie pary przegrzanej lub gazu znajdującego się w zbiorniku o znacznej pojemności może się okazać – pod względem zagrożenia wybuchem – znacznie groźniejsze niż wysokie ciśnienie czynnika znajdującego się w zbiorniku lub butli o bardzo małej pojemności.
- W procesie pompowania cieczy występuje przemiana izochoryczna. W warunkach umiarkowanie wysokiego ciśnienia ciecz można traktować jako substancję nieściśliwą – zatem wzrost ciśnienia nie powoduje zmiany objętości.
- Przyjęcie takiego założenia pozwala wyznaczyć moc napędową P pompy

$$P = \frac{\dot{V} \Delta p}{\eta} \quad [\text{W}]$$

Przemiana izotermiczna

- Przemiana izotermiczna zachodzi w warunkach stałej temperatury.
- $T = \text{idem}$, $pV = \text{idem}$ **Prawo Clapeyrona**
 $\frac{pv}{T} = \text{idem} = R$
- W technice chłodniczej przemiany takie są stosowane do opisu:
 - Przepływu czynnika chłodniczego jednorodnego w parowniku oraz w skraplaczu. W warunkach określonego stałego ciśnienia procesy wrzenia i skraplania zachodzą izotermicznie, a jednocześnie izobarycznie (przy pominięciu oporów przepływu w tych wymiennikach)
 - Teoretycznego procesu sprężania pary w warunkach doskonałego chłodzenia, bez udziału tarcia

Przemiana izentropowa

- Przemiana adiabatyczna zachodzi w warunkach całkowitego braku przepływu ciepła. Jeżeli dodatkowo założy się brak strat wywołanych tarciem, to wówczas przemiana ta zachodzi w warunkach stałej entropii i z tej racji określa się ją mianem przemiany izentropowej.
- W podstawowych analizach obiegów chłodniczych przyjmuje się, że procesy sprężania zachodzą izentropowo. Założenie takie przyjmuje się nawet wtedy, gdy sprężarka jest chłodzona. Wynika to stąd, że proces sprężania w sprężarkach chłodniczych przebiega w bardzo krótkim czasie.
- $s = \text{idem}$

Przemiana izentalpowa

- Przemiana ta zachodzi przy stałej wartości entalpii właściwej czynnika. Ma to miejsce w procesach dławienia czynnika chłodniczego w zaworze rozprężnym. Do zaworu rozprężnego dopływa pod wysokim ciśnieniem ciecz ze skraplacza. W zaworze rozprężnym następuje spadek ciśnienia do ciśnienia parowania.
- Podczas procesu dławienia izentalpowego zachodzi spadek ciśnienia czynnika bez wykonania żadnej pracy. Z tego powodu entalpia właściwa czynnika pozostaje stała: ilość energii wnoszonej wraz z czynnikiem chłodniczym do zaworu i odprowadzonej przy wypływie czynnika z zaworu jest taka sama.
- $h = \text{idem}$

- Przemianę izentalpową można interpretować jako przemianę tarciową, „wzorcowo” nieodwracalną.
- Jest to najgorsza przemiana pod względem termodynamicznym. Jest to spadek ciśnienia, który musi być zrównoważony pracą sprężania sprężarki.
- Proces dławienia jest przyczyną znacznego obniżenia efektywności energetycznej parownikowych urządzeń chłodniczych i pomp ciepła.
- Jest to jednak najprostszy i dogodny do celów regulacji automatycznej proces obniżania ciśnienia ciekłego czynnika chłodniczego, dostarczanego do parowników chłodniczych.

Przemiana politropowa

- Przemiana ta może być uważana jako uogólnienie wszystkich przemian termodynamicznych. Można uznać ją za zachodzącą przy stałym cieple właściwym c czynnika chłodniczego i zmiennej entropii $s = \text{var}$.
- Przemianę charakteryzuje wykładnik politropy

$$\nu = \frac{c - c_p}{c - c_v} = \text{idem}$$

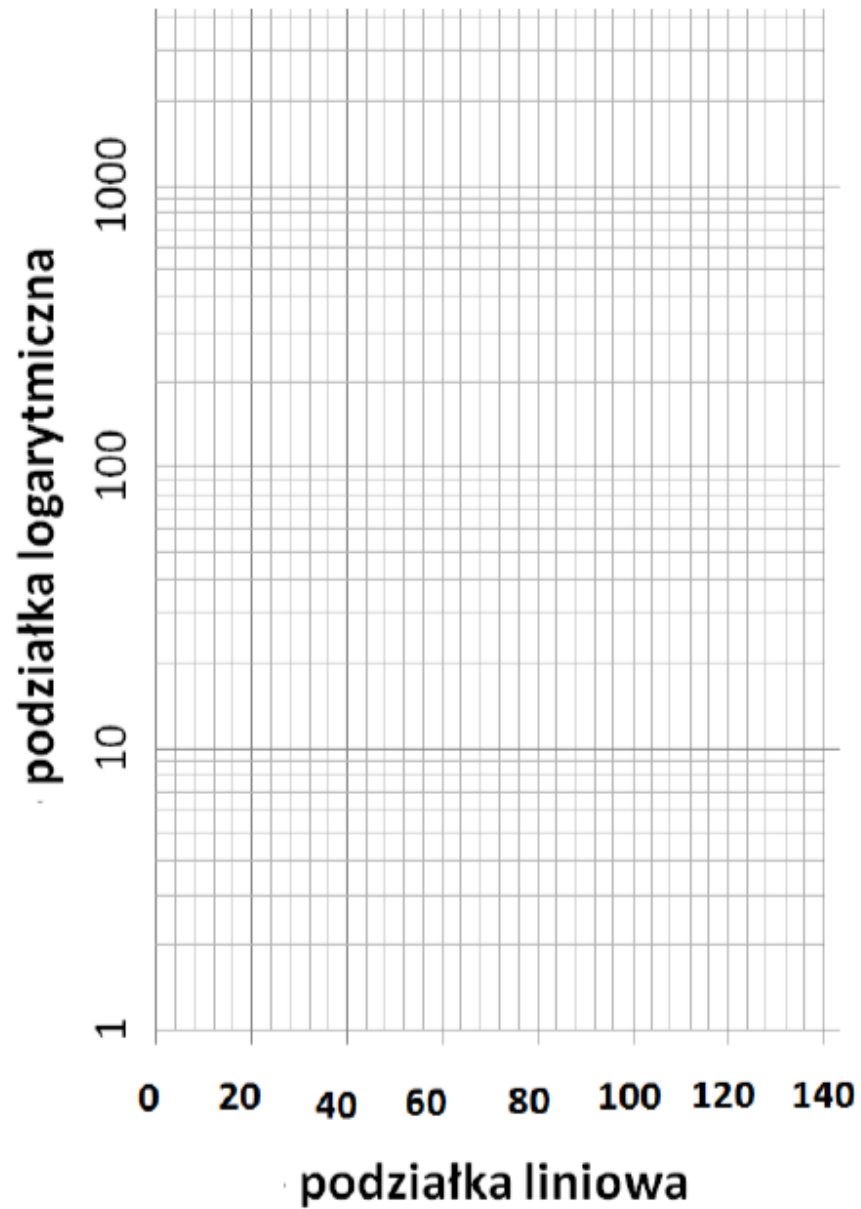
c – ciepło właściwe przemiany politropowej [J/(kgK)]

Przemiana adiabatyczna

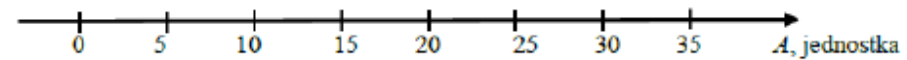
- Jest to przemiana bez wymiany ciepła z otoczeniem.
- To proces termodynamiczny, podczas którego izolowany układ nie nawiązuje wymiany ciepła, lecz całość energii jest dostarczana lub odbierana z niego jako praca. Jest to idealizacja niemożliwa do zrealizowania w praktyce.
- Podczas szybkiego zwiększania lub zmniejszania ciśnienia gazu, w rzeczywistej maszynie energetycznej wymiana cieplna jest wielokrotnie mniejsza od wykonywanej nad gazem pracy; dlatego szybkie sprężanie lub rozprężanie, ze względu na znikomy błąd, można traktować jako przemianę adiabatyczną.
- $\Delta Q=0$

Wykres ciśnienie entalpia

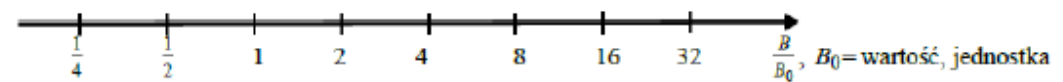
- Jest to wykres na którym przedstawiamy obieg termodynamiczny sprężarkowego układu chłodniczego.
- Wykres służy do odczytywania parametrów układu, takich jak np. entalpia czy objętość właściwa danego czynnika chłodniczego. Zatem możemy obliczać moce chłodnicze, grzewcze wymienników ciepła, elektryczne sprężarek w danych obiegach.
- Wykres jest nazywany ciśnienie-entalpia. Skala ciśnienia jest ujęta w sposób logarytmiczny, skala entalpii jest ujęta w sposób liniowy.
- Jednostki ciśnienia na wykresie mogą być przedstawione w barach, MPa lub innych. Jednostką entalpii najczęściej na tych wykresach jest kJ/kg
- Na tym wykresie występują następujące wielkości fizyczne: ciśnienie, entalpia, entropia, temperatura, objętość właściwa i linie stałego nasycenia.
- Tylko ciśnienie i entalpia są prostymi, pozostałe wielkości na wykresie to są krzywe lub w przypadku temperatury krzywe i proste.
- Na wykresie jest obszar cieczy, pary mokrej i pary suchej (przegrzanej).

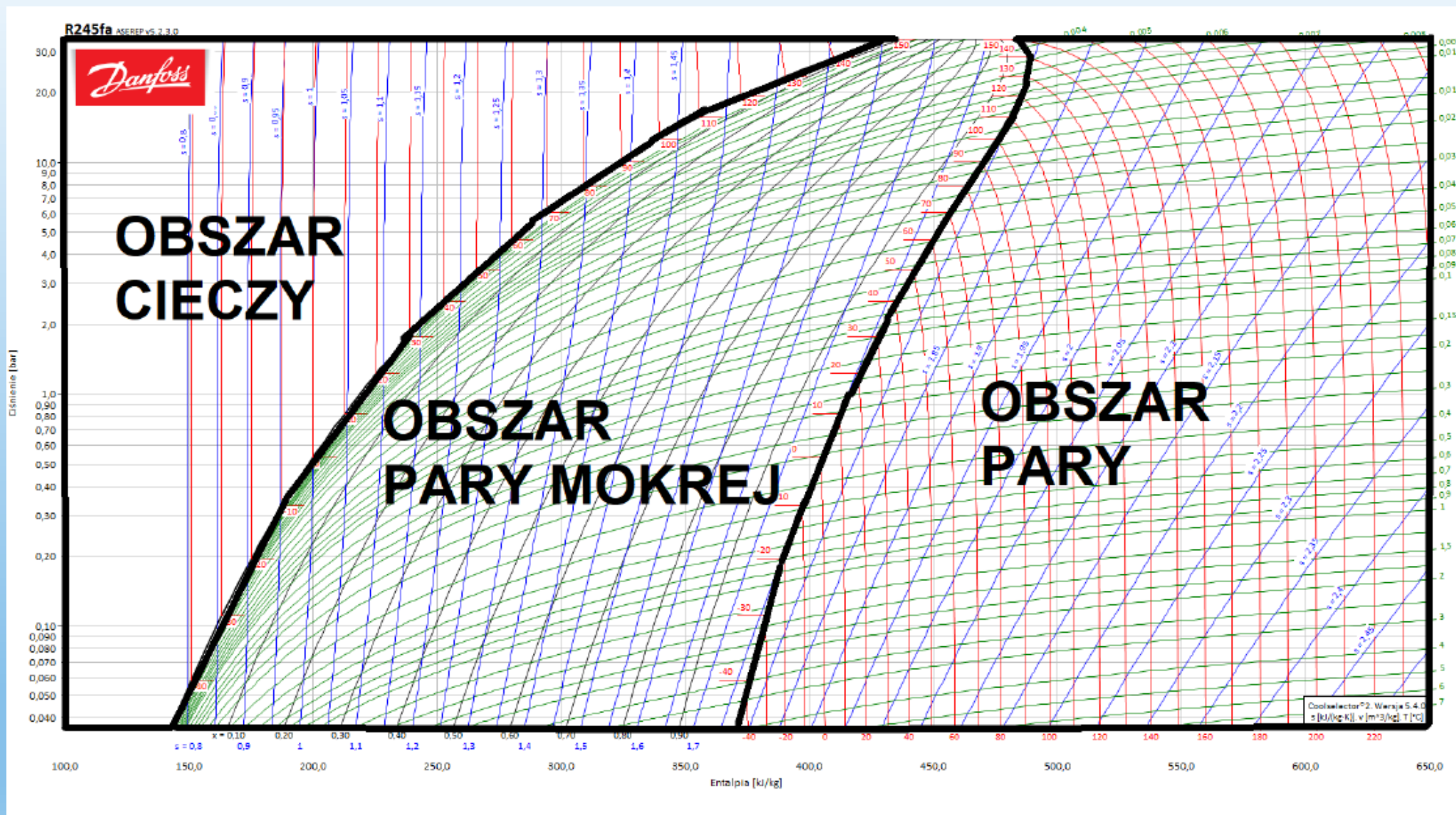


Oś wyskalowana liniowo, oznaczona i z dobranym zakresem.

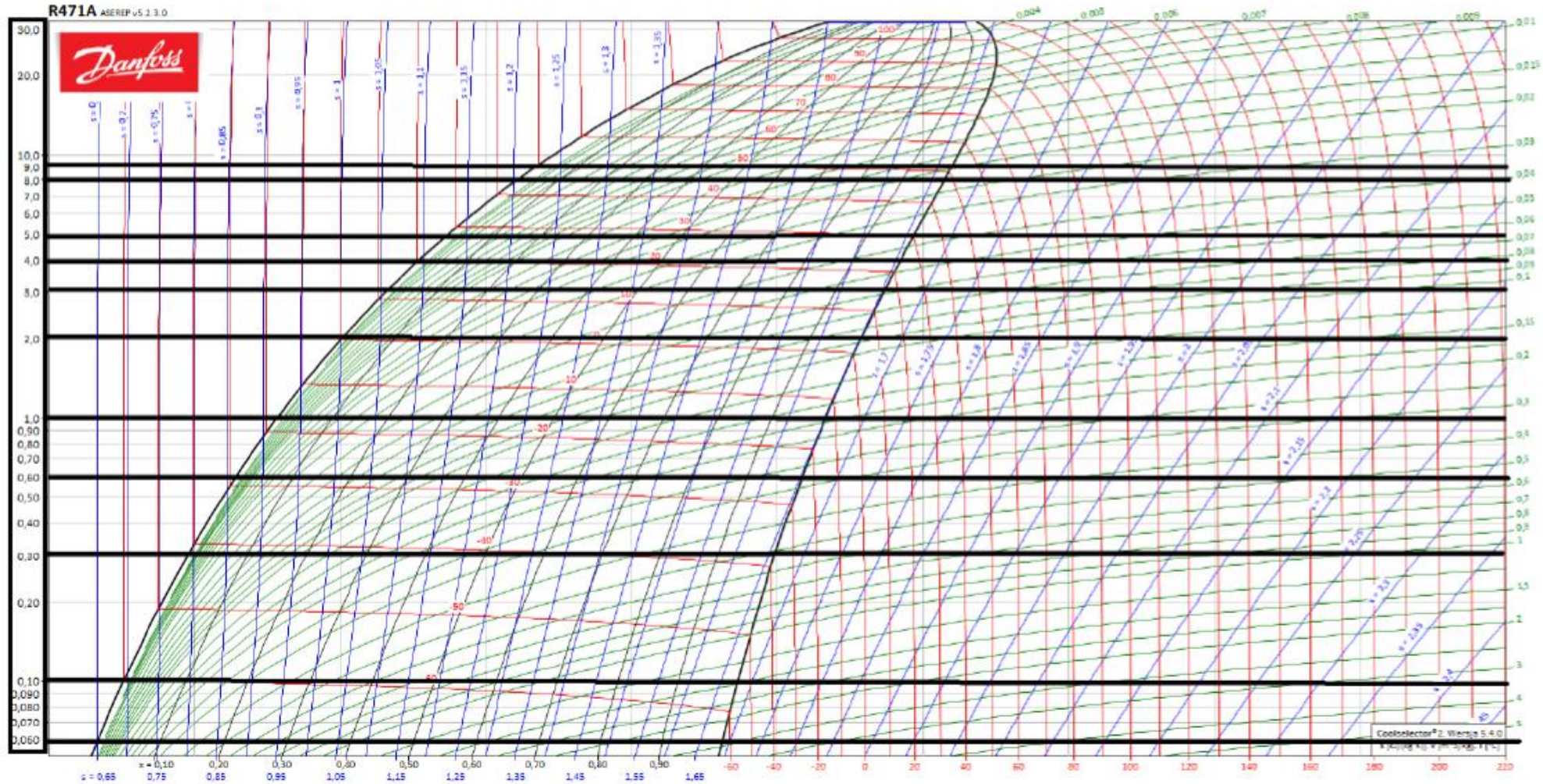


Oś wyskalowana logarytmicznie, oznaczona i z dobranym zakresem.





Linie stałego ciśnienia, izobary



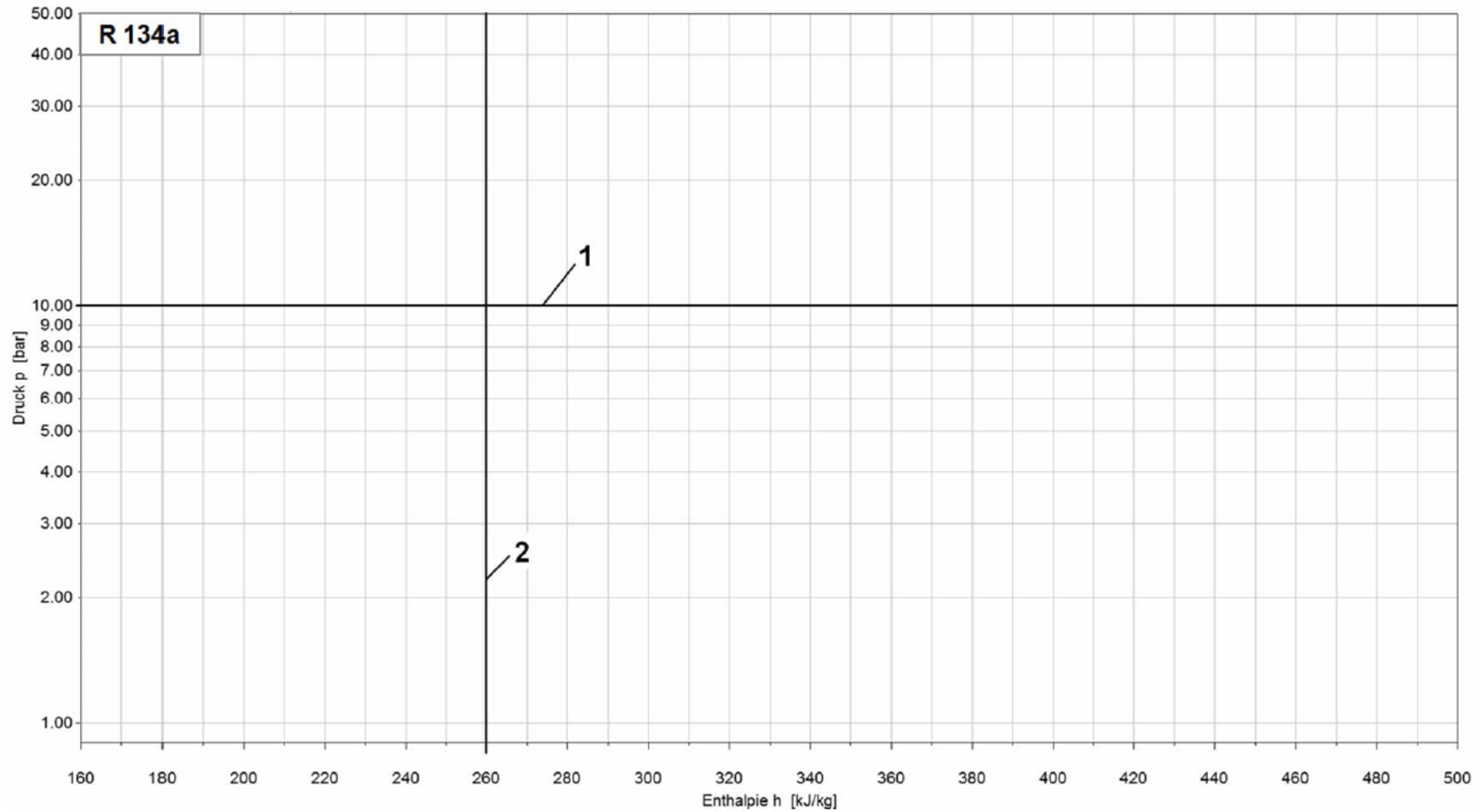
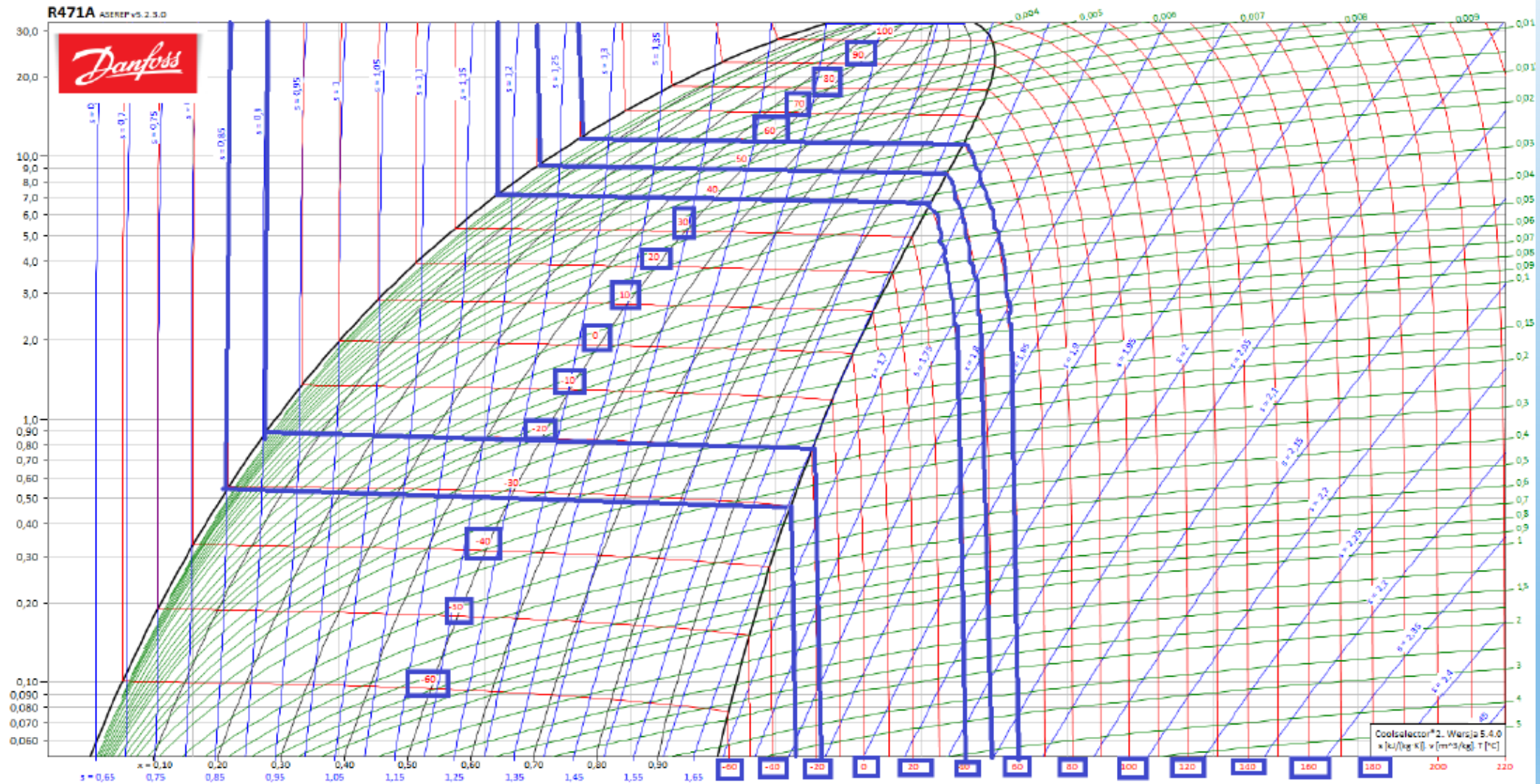
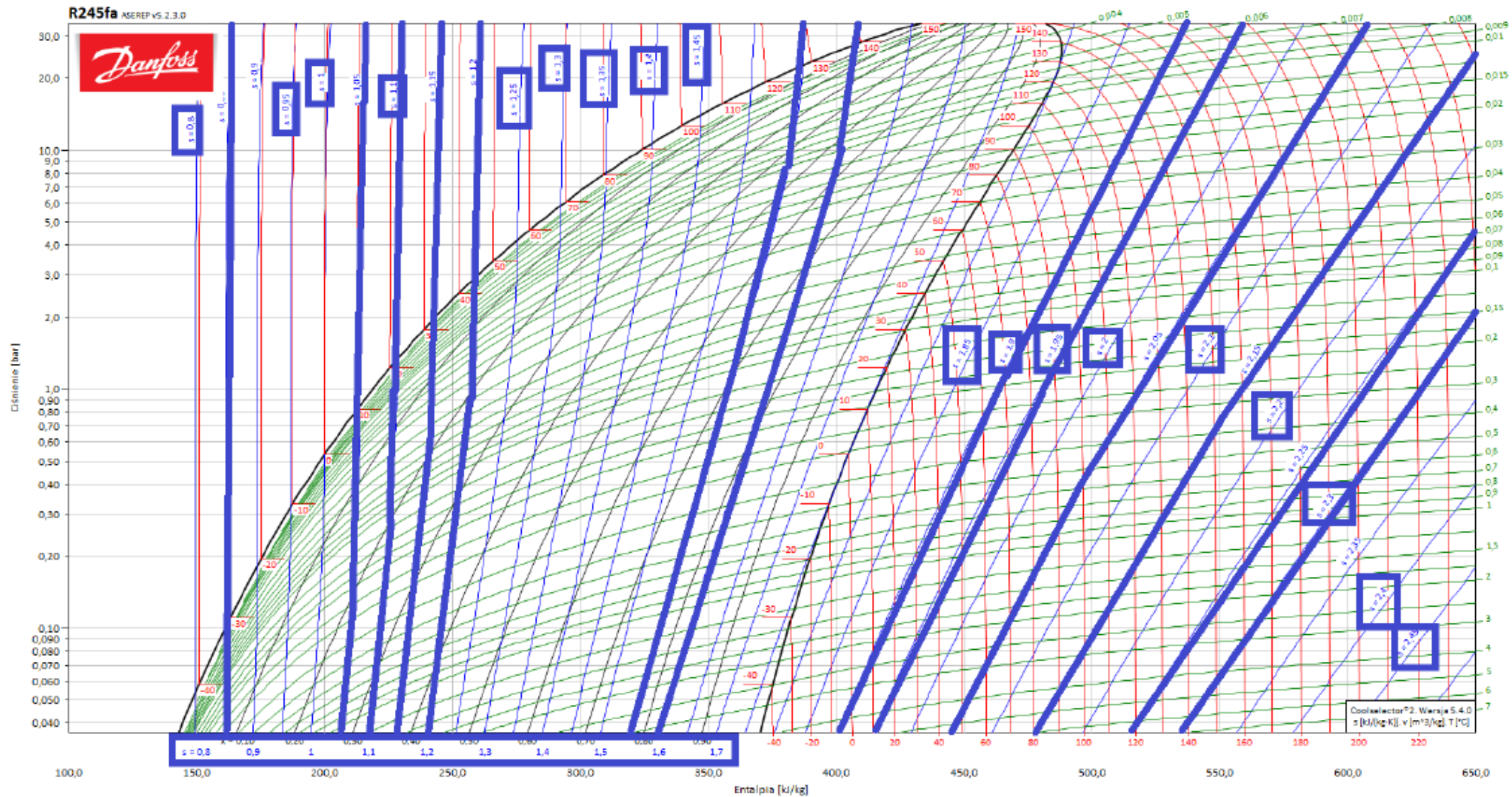


Fig. 3-4 Grundraster
1 Isobaren (Druck p = konstant)
2 Isenthalpen (Enthalpie h = konstant)

Linie stałej temperatury, izotermy



Linie stałej entropii, izentropy



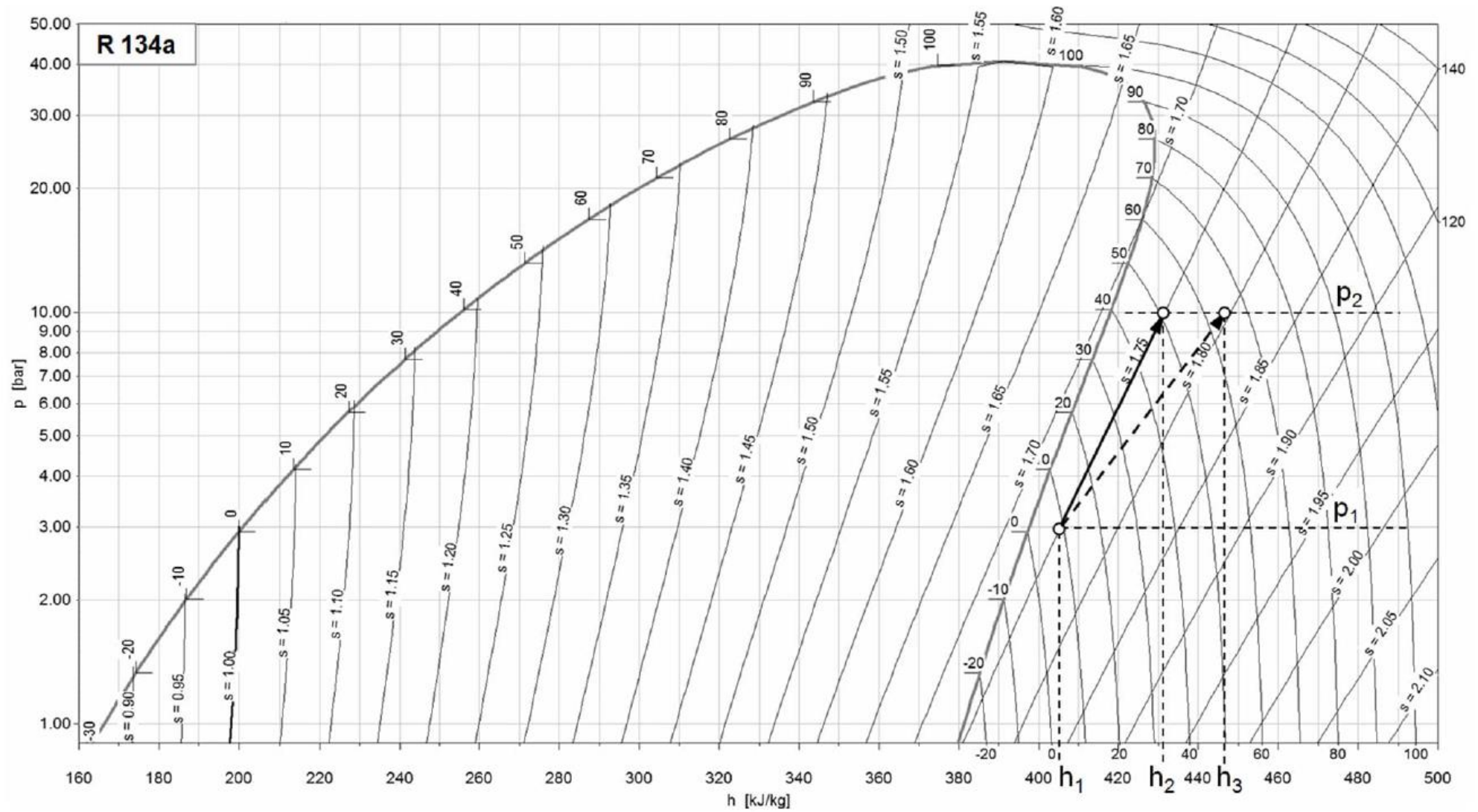
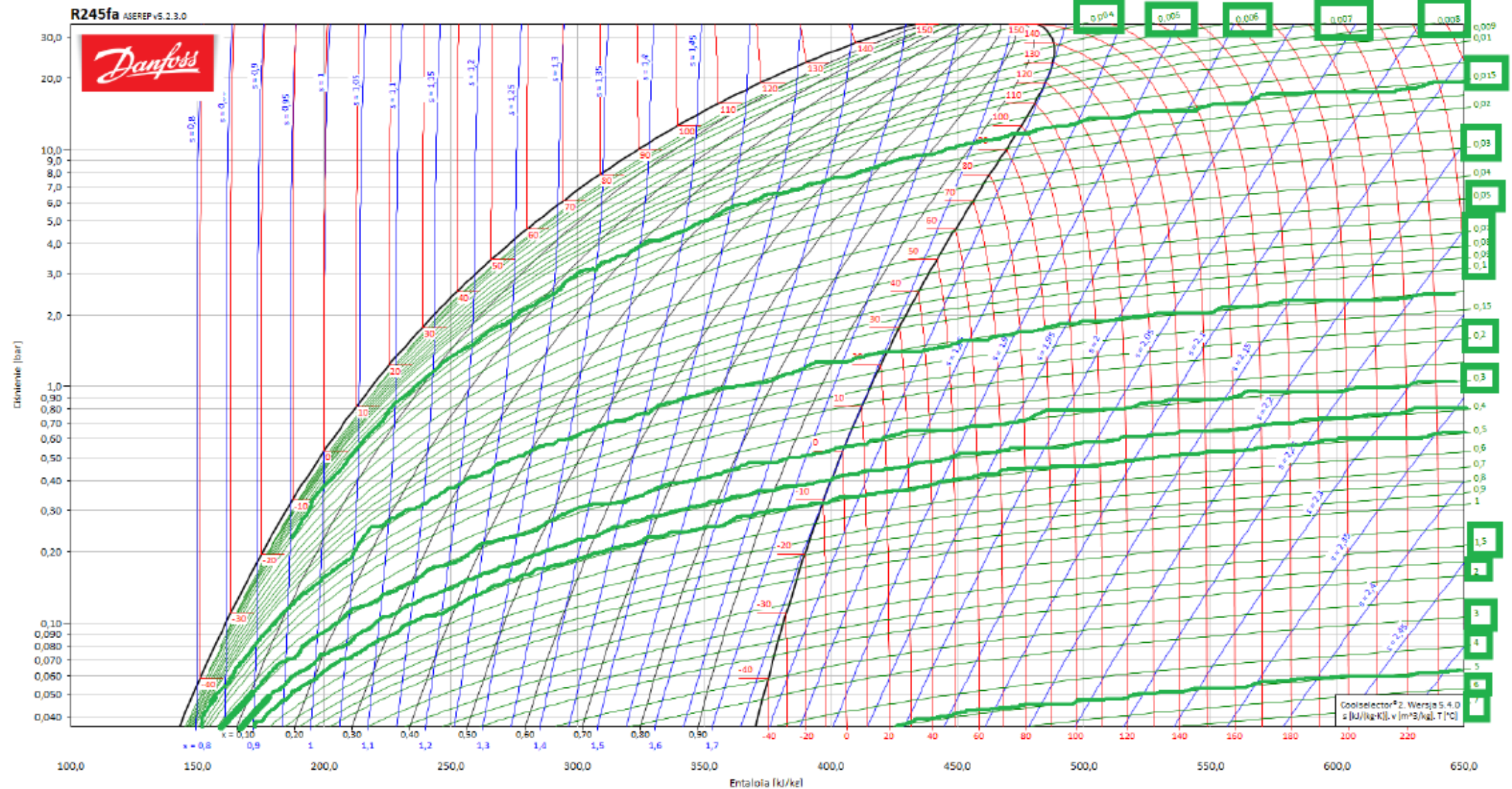


Fig. 3-9 Linien gleicher Entropie (Isentropen, $s = \text{konstant}$)

Linie stałej objętości właściwej, izochory



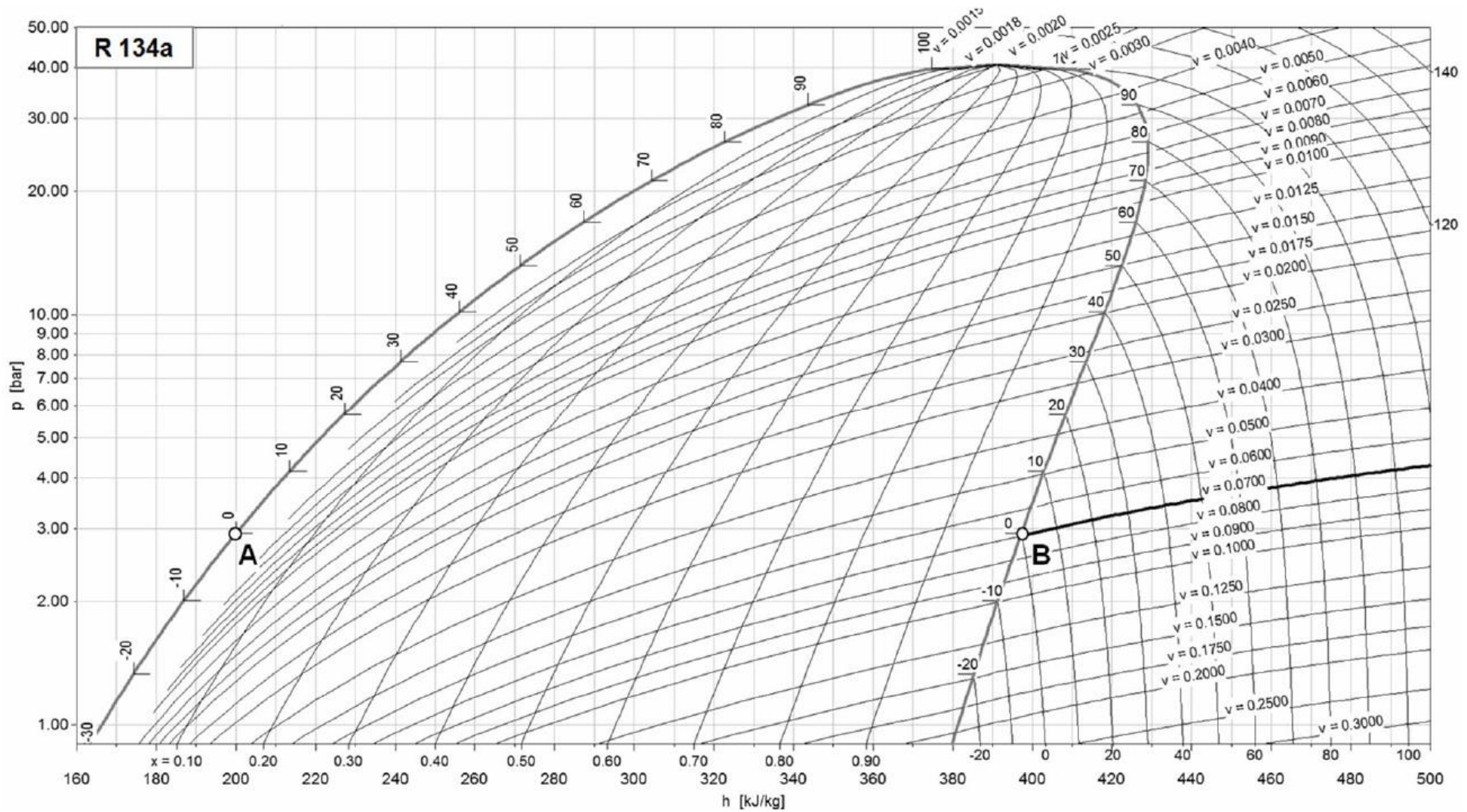
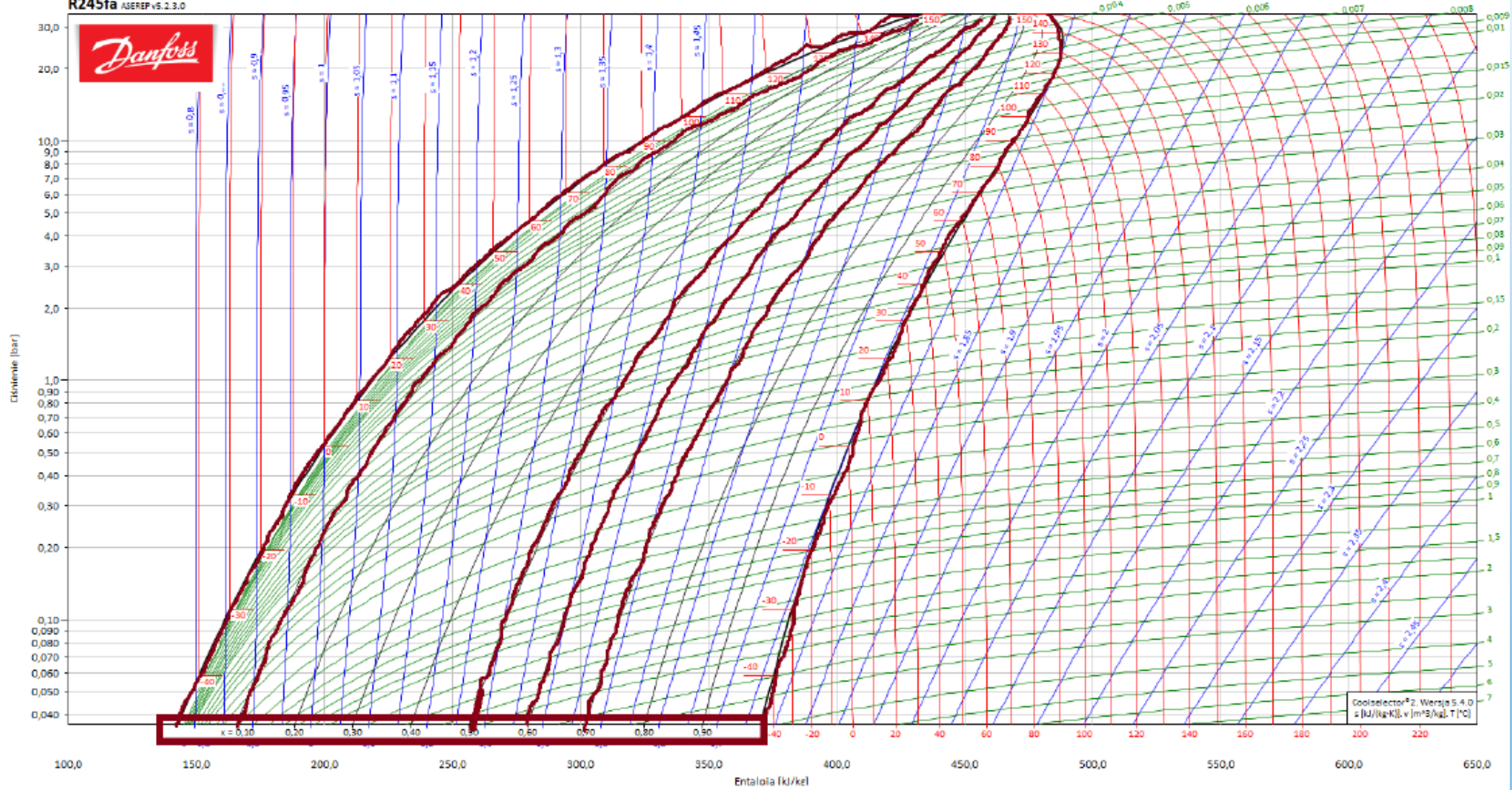


Fig. 3-8 Linien gleichen spezifischen Volumens (Isochoren, $v = \text{konstant}$)

Linie stałego nasycenia

R245fa ASEREP vS. 2.3.0



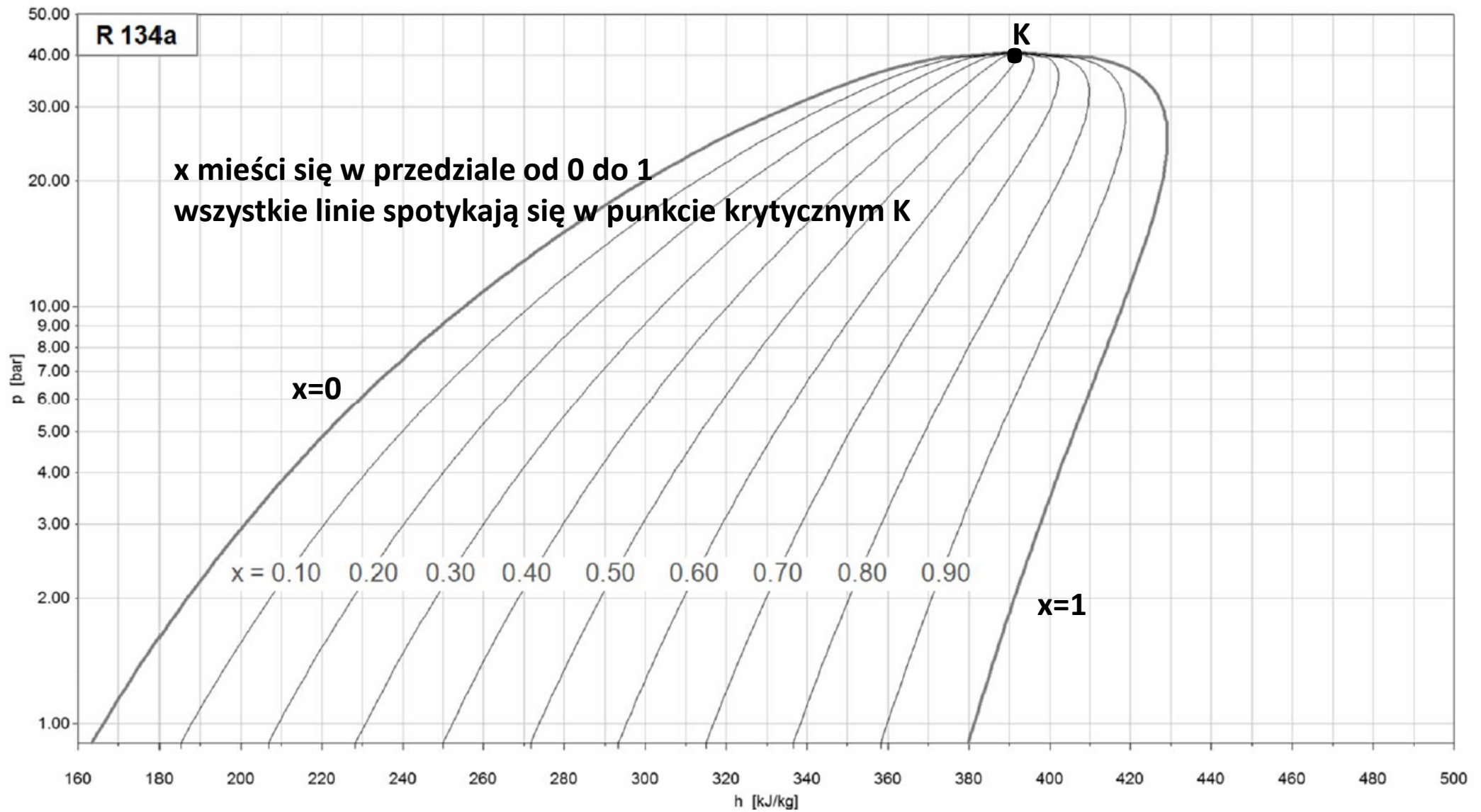
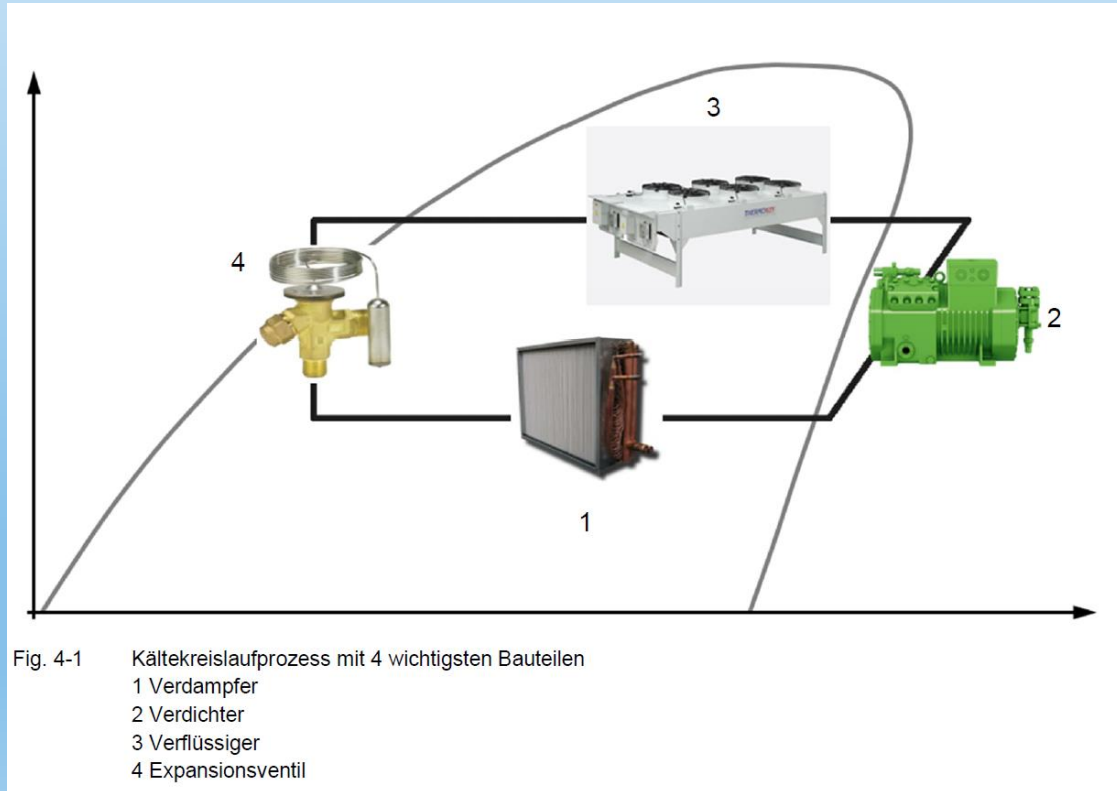


Fig. 3-6 Verhältnislينien $x = \text{konstant}$

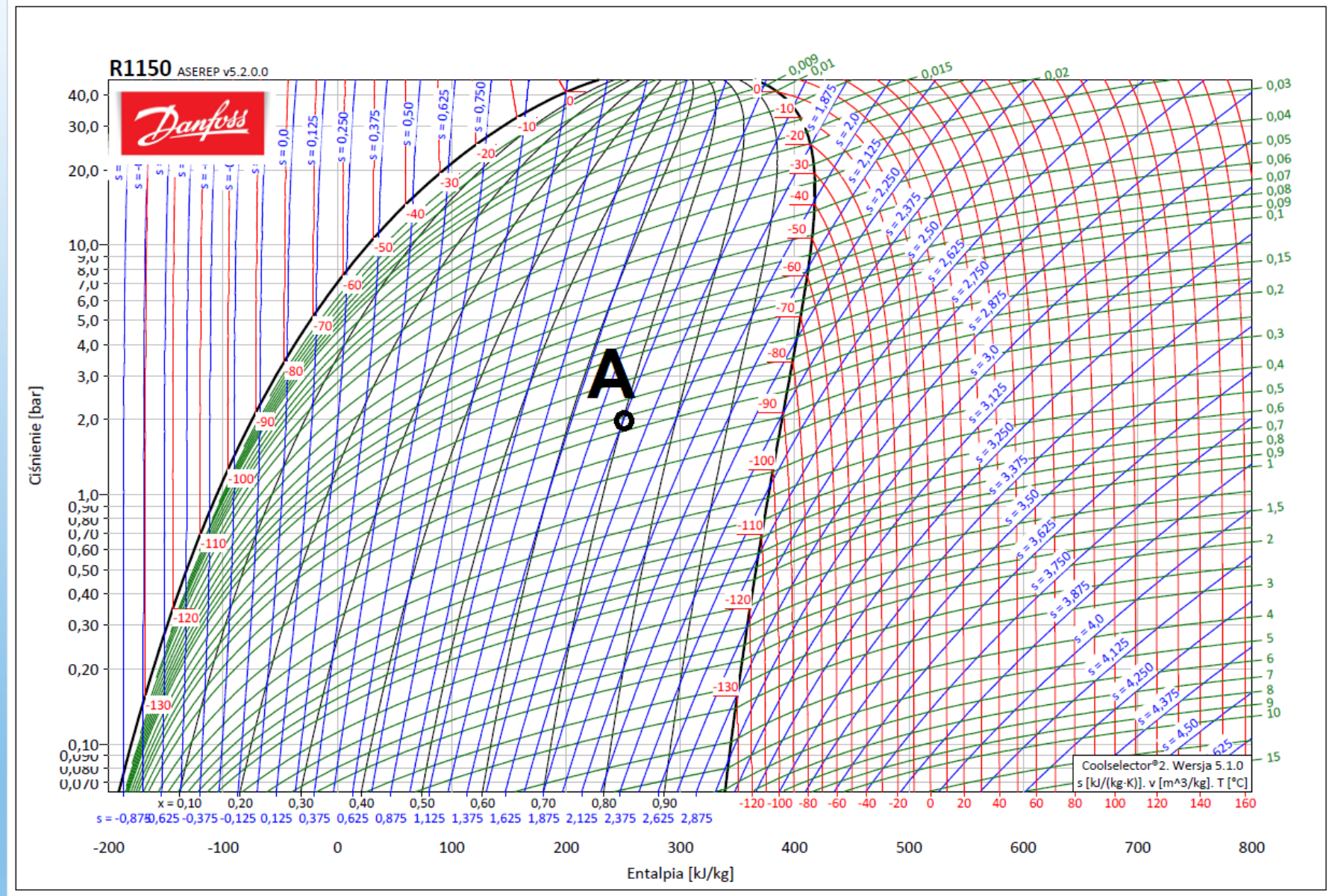
- Wykres ciśnienie-entalpia jest opracowany dla każdego czynnika chłodniczego.
- Żaden z tych wykresów nie powtarza się.
- Wykresy te są opracowywane przez producentów czynników chłodniczych (Linde, Honeywell, DuPont) oraz przez niektóre koncerny jak Danfoss.
- W programie Coolselector2 dostępne są do pobrania wykresy czynników chłodniczych.



Etylen, czynnik chłodniczy R1150

Dla punktu A:

- $p_A = 2 \text{ bar}$
- $i_A = 250 \text{ kJ/kg}$
- $s_A = 1,625 \text{ kJ/(kgK)}$
- $v_A = 0,25 \text{ m}^3/\text{kg}$
- $t_A = -91^\circ\text{C}$
- $x_A = 0,7$



Wymiana ciepła

- Istnieją następujące mechanizmy przekazywania ciepła:
 - **Przewodzenie** – polega na przekazywaniu energii cieplnej przez nieruchome ośrodki (np. ścianki rur, płyty warstwowe)
 - **Konwekcja** – polega na przekazywaniu ciepła wskutek ruchu czynnika (gazu, cieczy). Wyróżniamy **konwekcję naturalną** – wskutek różnicy temperatur, i **konwekcję wymuszoną** – wskutek wymuszonego przepływu ciepła np. pompą, wentylatorem
 - **Promieniowanie** – polega na przekazywaniu energii w postaci fal elektromagnetycznych (w ośrodkach przezroczystych oraz próżni) i polega na emisji i absorpcji promieniowania elektromagnetycznego w zakresie podczerwieni. Ten mechanizm ma istotne znaczenie w warunkach wysokiej temperatury.

- Do wymiany ciepła pomiędzy różnymi płynami niezbędne są wymienniki ciepła. Ze względu na zasadę ich działania podzielimy je na:
 - Rekuperatory (przeponowe wymienniki ciepła), płyny pomiędzy sobą oddzielone są ścianką (przeponą). Przykład: wymienniki płytowe, lamelowe, typu „rura w rurze”
 - Regeneratory – wymienniki z wypełnieniem, działają okresowo. W pierwszej części cyklu wypełnienie się ogrzewa lub ochładza od jednego nośnika ciepła, w drugiej części odpowiednio ochładza lub ogrzewa od drugiego nośnika ciepła. Przykład: obrotowy wymiennik ciepła w centrali wentylacyjnej.
 - Wymienniki kontaktowe – przekazywanie ciepła odbywa się na skutek bezpośredniego kontaktu dwóch płynów o różnych stanach skupienia. Przykład: wymiennik natryskowo - wyparny
- W technice chłodniczej najczęściej będziemy spotkać rekuperatory. Nazwy częściej używane: parownik, chłodnica powietrza, skraplacz, wymiennik regeneracyjny, chłodnica oleju, chłodnica gazu, inne.

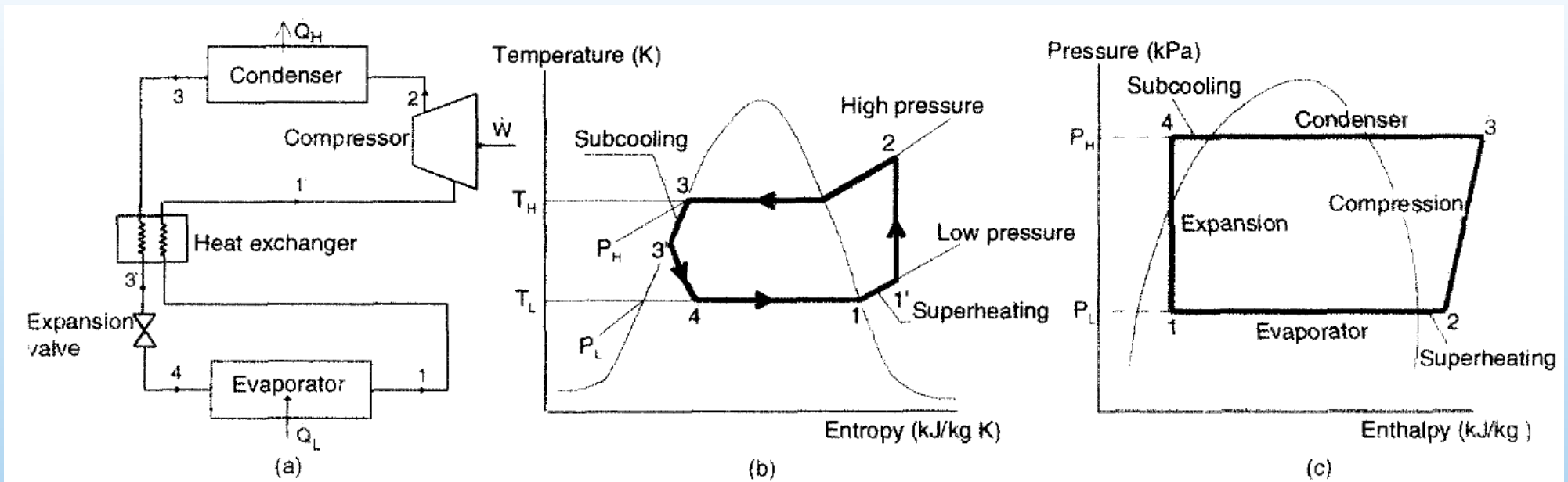


Figure 3.32 (a) A vapor-compression refrigeration system with a heat exchanger for superheating and subcooling, (b) its $T-s$ diagram, and (c) its $\log P-h$ diagram.

Literatura

- Technika chłodnicza, D. Butrymowicz, P. Baj, K. Śmierciew
- Chłodnictwo i klimatyzacja, K. Gutkowski, D. Butrymowicz
- Systemy chłodnicze – ćwiczenia. B. Zajączkowski
- Materiały firmy Danfoss, Kelvion, Daikin
- Refrigeration systems and applications, I. Dincer
- Siemens
- Refrigeration Utilities Vers. 2.84, Technical University Denmark, Energy Engineering Department
- Materiały własne

