

1. Skraplanie gazu ziemnego

1.1. Zjawisko Joule'a-Thomsona

Niech gaz stacjonarnie przepływający rurociągiem będzie dławiony, np. za pomocą zwężki.

Załóżmy, że: proces ten jest adiatermiczny, a energia kinetyczna i potencjalna gazu zmieniają się pomijalnie mało.

Bilans energii

$$\dot{E}_d = \dot{E}_w \Rightarrow \dot{m}i_d = \dot{m}i_w \Rightarrow i = idem$$

Proces ten jest więc izentalpowy.

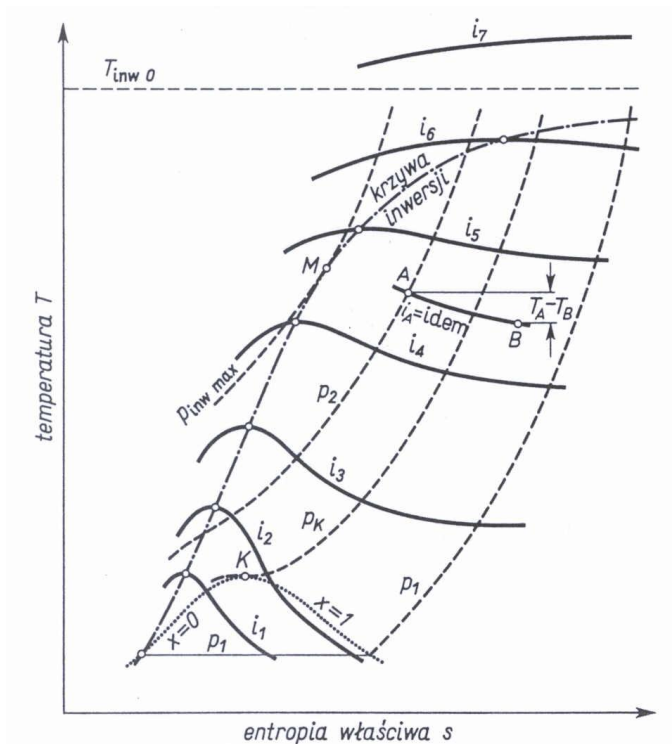
W przypadku gazu doskonałego $i = idem$ jest równoznaczne z $T = idem$, ponieważ $i = c_p T$.

Współczynnik efektu Joule'a-Thomsona

$$\mu \equiv \left(\frac{\partial T}{\partial p} \right)_i$$

Dla gazu doskonałego $\mu = 0$.

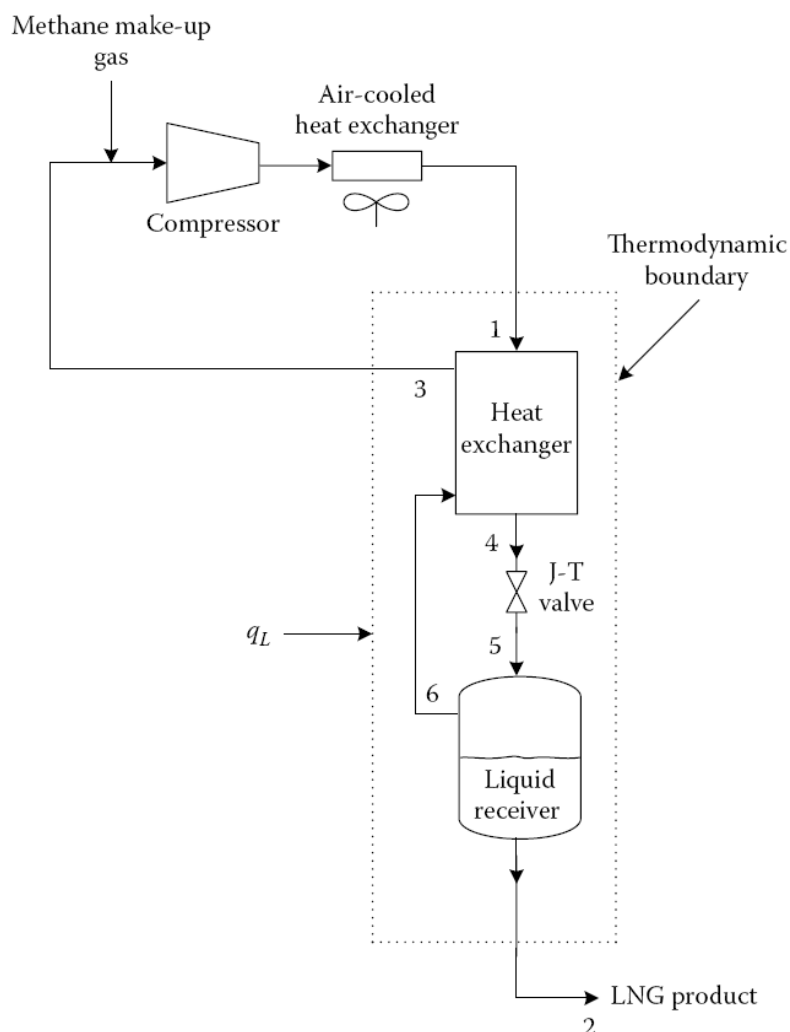
Dla gazu rzeczywistego μ może być dodatnie, ujemne lub równe zero (punkty inwersji), zależnie od stanu gazu. W obszarze, w którym $\mu > 0$ dławienie gazu powoduje spadek jego temperatury.



Rys. 5.44. Krzywa inwersji

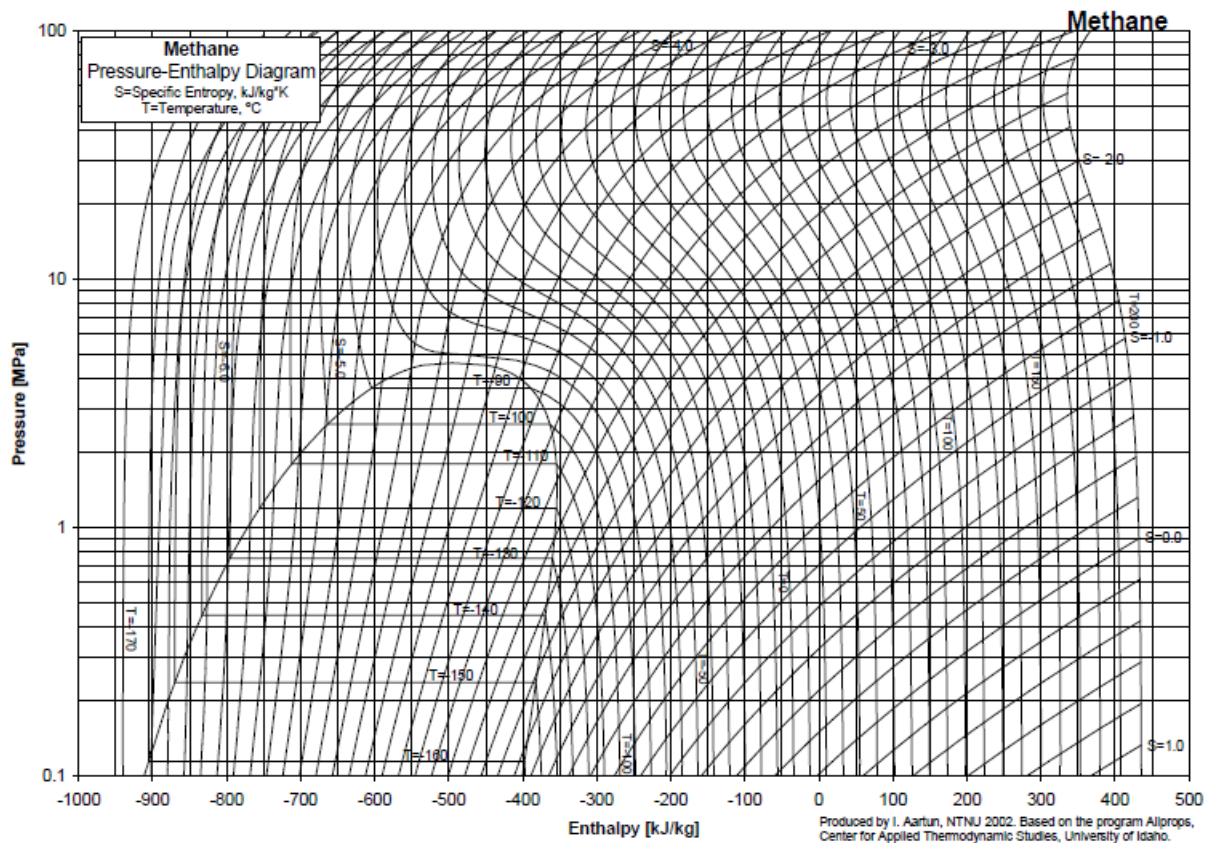
RYŚ. 1

1.2. Prosty cykl otwarty Joule'a-Thomsona



RYS. 2

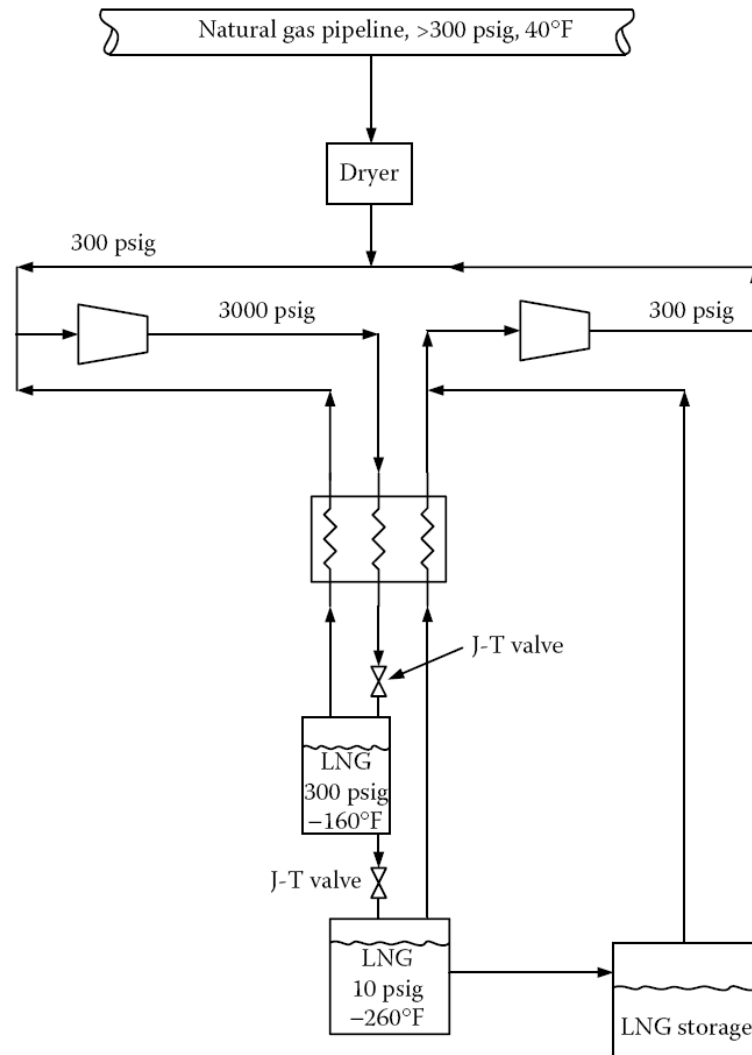
Świeży gaz ziemny o temperaturze otoczenia mieszany jest ze schłodzonym gazem (3) opuszczającym niskotemperaturowy wymiennik ciepła. Gaz ten jest następnie sprężany i chłodzony powietrzem do temperatury nieco wyższej od temperatury otoczenia (1). Następnie gaz trafia do niskotemperaturowego wymiennika ciepła, gdzie odbiera od niego ciepło gaz ziemny w stanie lotnym (6) opuszczający zbiornik, w którym gromadzony jest gaz skroplony. Gaz ten jest nieskroploną częścią gazu skierowanego na zawór dławiący Joule'a-Thomsona (J-T). Zimny gaz (4) o wysokim ciśnieniu trafia na zawór dławiący, gdzie wskutek dławienia izentalpowego obniża się jego temperatura i część gazu się skrapla (koniec przemiany dławienia znajduje się w obszarze pary mokrej). Para mokra gazu ziemnego (5) trafia do zbiornika gazu skroplonego.



RYS. 3. Wykres i-p dla metanu.

Na wykresie i-p widać, że dla danego ciśnienia początkowego im niższa będzie temperatura początku dławienia, tym większa część strumienia gazu będzie po zdławieniu ciecżą o założonym ciśnieniu.

1.3. Obieg Joule'a-Thomsona



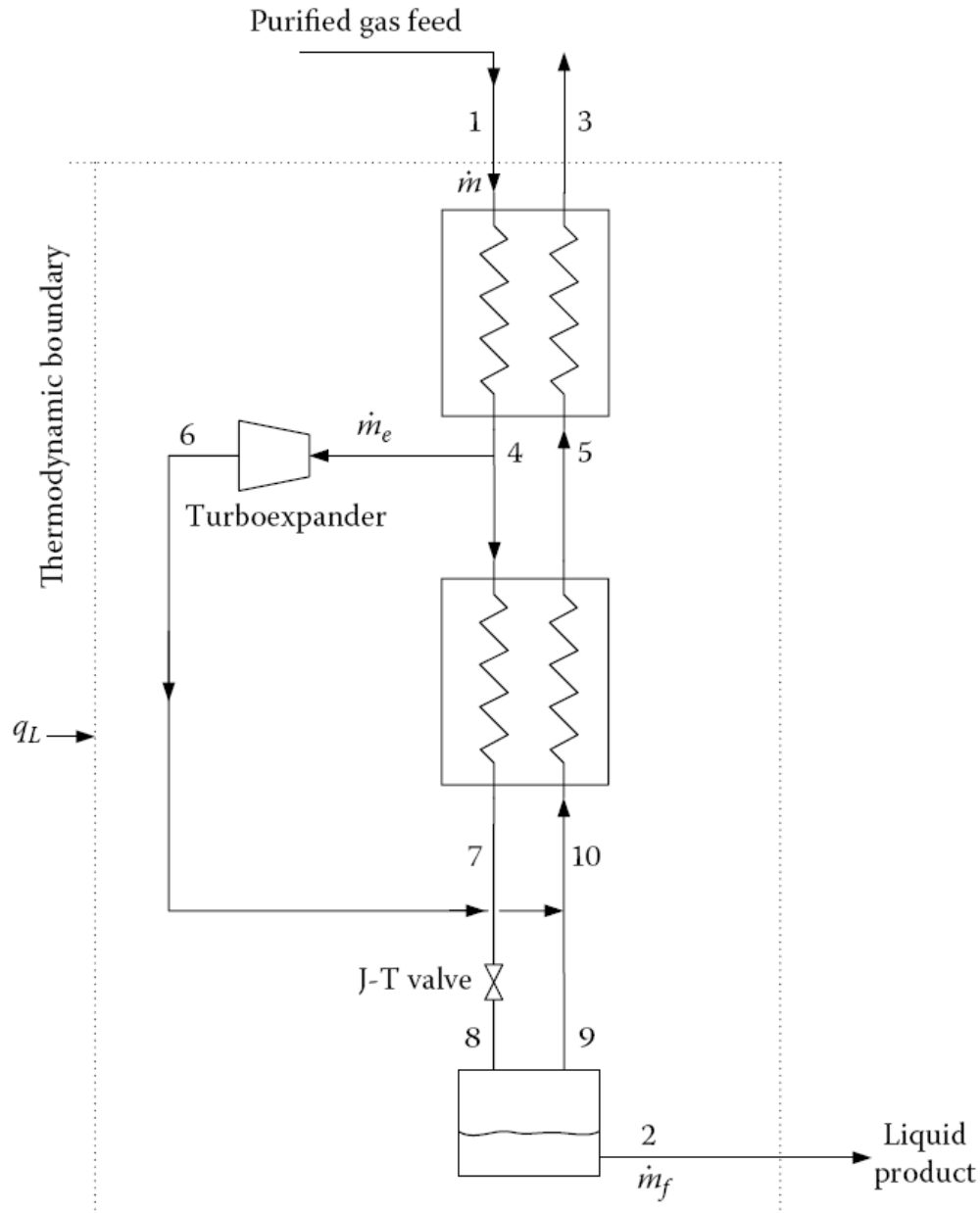
RYS. 4

$$1 \text{ psi} = 0,068947 \text{ bar}$$

$$t[^\circ\text{C}] = 5/9(T[^\circ\text{F}]-32)$$

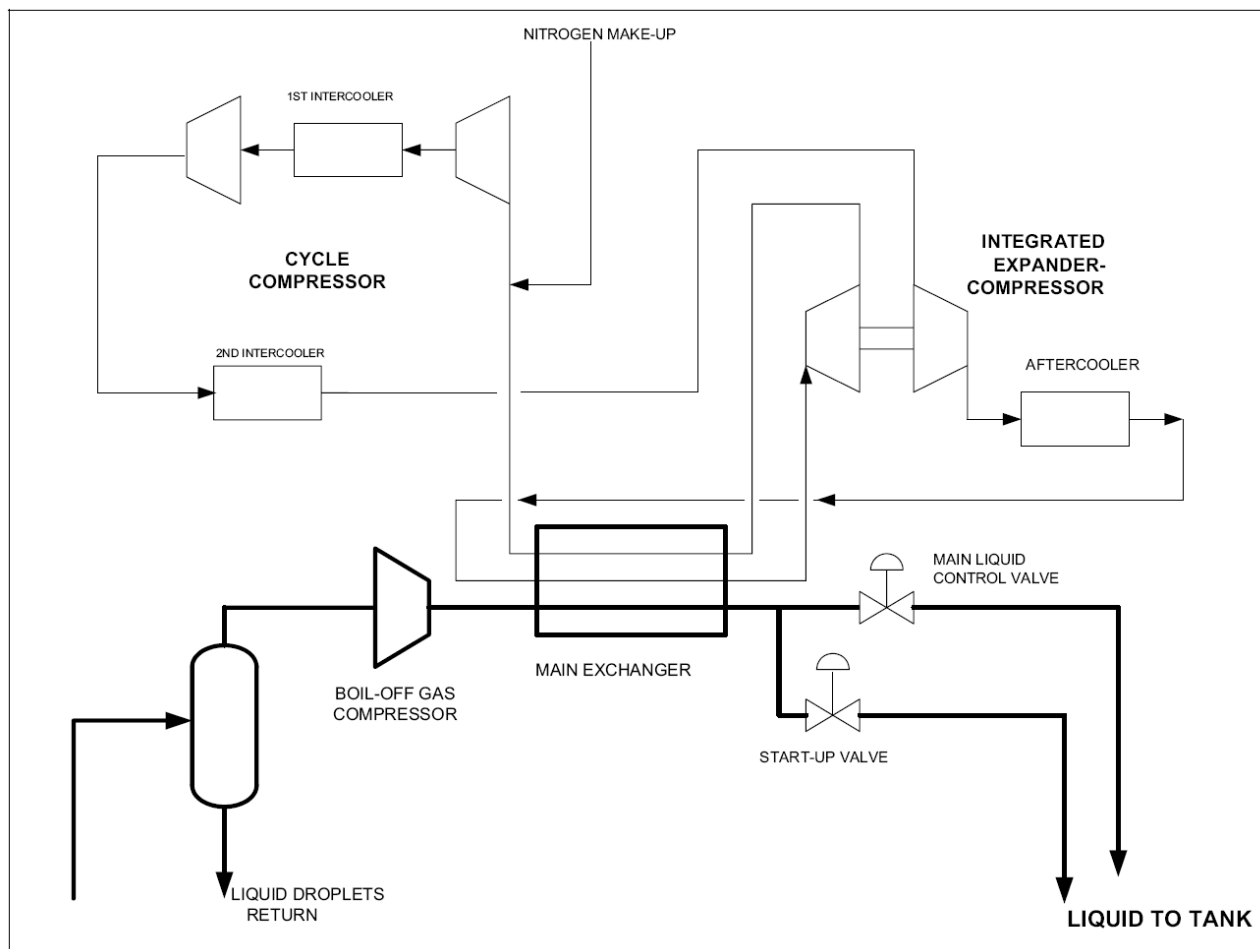
Gaz ziemny pobierany jest z rurociągu, w którym panuje nadciśnienie wyższe od 21 bar (300 psig). Gaz jest dławiony do ciśnienia 20 bar i jest kierowany do suszarki molekularnej, gdzie jest pozabawiany pary wodnej i dwutlenku węgla. Gaz jest następnie sprężony w sprężarce tłokowej do nadciśnienia 210 bar. Sprężony gaz ochładzany jest w wymienniku trójstrumieniowym i poddany dwustopniowemu rozprężeniu na zaworach dławiących, najpierw do nadciśnienia 21 bar (-107°C), a następnie do nadciśnienia 0,7 bar (-162°C), w celu skroplenia.

1.4. Cykl otwarty z rozprężarką

**RYS. 5**

Strumień oczyszczonego sprężonego gazu \dot{m} (1) chłodzony jest w wymienniku ciepła. Część ochłodzonego gazu $\dot{m} - \dot{m}_e$ trafia do kolejnej chłodnicy, część, \dot{m}_e , rozprężana jest adiatermicznie w turbinie (6) w celu obniżenia temperatury. Rozprężony gaz o niskiej temperaturze wykorzystywany jest jako chłodziwo w wymiennikach ciepła. Gaz ochłodzony w drugim wymienniku (7) trafia na zawór dławiący (J-T) i ulega częściowemu skropleniu. Gaz nieskroplony (9) trafia do wymienników ciepła jako chłodziwo.

1.5. Cykl z wykorzystaniem azotu jako chłodziwa gazu ziemnego

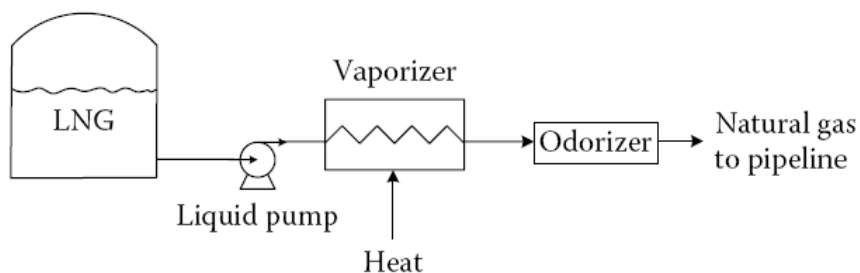


RYS. 6

Gaz ziemny w stanie lotnym sprężany jest do ciśnienia 3-6 bar (BOIL-OFF GAS COMPRESSOR). Sprężony gaz jest ochładzany i skraplany w głównym wymienniku ciepła (MAIN EXCHANGER). Główny wymiennik ciepła jest wymiennikiem płytowym trójstrumieniowym.

Azot jest sprężany do wysokiego ciśnienia w układzie trójstopniowym z chłodzeniem międzystopniowym. Czynnikiem chłodzącym jest woda z otoczenia o temperaturze od 0°C do 32°C . Sprężony azot schłodzony do temperatury nieco wyższej od temperatury otoczenia trafia do głównego wymiennika ciepła, gdzie jest oziębiony do temperatury od -80°C do -110°C . Zimny sprężony azot rozprężany jest w turbinie, gdzie osiąga temperaturę rzędu -170°C , -180°C , a następnie jest kierowany do głównego wymiennika ciepła, gdzie odbiera ciepło od skraplającego się gazu ziemnego. Azot realizuje lewobieżny obieg Joule'a-Braytona.

2. Odparowywanie gazu ciekłego



Pompa zwiększa ciśnienie skroplonego gazu ziemnego do ciśnienia nieco wyższego (późniejsze straty ciśnienia na rurociągach i urządzeniach) od tego panującego w rurociągu transportującego gaz do odbiorców i przesyła go do wymiennika ciepła. W wymienniku ciepła następuje wrzenie ciekłego gazu, jego całkowite odparowanie i podgrzanie. Ciepło dostarczane do gazu pochodzi najczęściej z otoczenia. Gaz ziemny w stanie lotnym jest następnie nawaniany (względny bezpieczeństwa, aby można było za pomocą węchu wykryć np. nieszczelność instalacji) i wtłaczany do rurociągu.