

Dr inż. Janusz Eichler
Dr inż. Jacek Kasperski

Zakład Chłodnictwa i Kriogeniki
Instytut Techniki Ciepłej i Mechaniki Płynów
Politechnika Wrocławska

MODELOWANIE UKŁADU ABSORPCYJNO-DYFUZYJNEGO (część I)

Metoda identyfikacji obiegu i bilansowania energetycznego układu absorpcyjno-dyfuzyjnego, zapoczątkowana w [1] dla roztworu roboczego o nielotnej parze rozpuszczalnika (na przykładzie $R22+E181+N_2$) a rozwinięta w niniejszej pracy dla roztworu o lotnej parze rozpuszczalnika (na przykładzie $NH_3+H_2O+H_2$) stanowi próbę całościowego opisu procesów i zjawisk, zachodzących w układzie absorpcyjno-dyfuzyjnym. Metoda ta stanowi pierwszą część koncepcji rozwiązania zadania technicznego, polegającego na teoretycznym zamodelowaniu, na podstawie dotychczasowej wiedzy w tej dziedzinie, zachowania się dwóch grup roztworów w teoretycznym urządzeniu technicznym (układ absorpcyjno-dyfuzyjny). Drugą częścią tej koncepcji jest „materializacja” modelu teoretycznego w postaci konkretnego urządzenia technicznego. Miarą adekwatności modelu będzie tu zgodność parametrów pracy urządzenia technicznego z założeniami wstępnymi modelu, służącego za podstawę zaprojektowania tego urządzenia.

Na rys. 1 przedstawiono, opisywany w [2], schemat układu absorpcyjno-dyfuzyjnego, przedstawiony w formie oddającej istotę konstrukcji geometrycznej, projektowanej do współpracy ze statycznym polem grawitacyjnym. W układzie tym, po lewej stronie i u góry znajdują się aparaty, odpowiadające wysokociśnieniowej stronie układu chłodniczego a po prawej stronie i w środku zgromadzone są aparaty, odpowiadające stronie niskociśnieniowej. Zwartość konstrukcji, przeznaczonych do chłodziarek i chłodziarko-zamrażarek domowych, małych pomp ciepła i klimatyzatorów, sugeruje zastosowanie trójskładnikowego roztworu $NH_3+H_2O+H_2$, jako wysoce efektywnego roztworu roboczego.

W układzie, jak na rys. 1, konstrukcja aparatów sprawia, że w warunkach pracy ustalonej, w aparatach strony wysokociśnieniowej (DESORBER z TERMOSYFONEM, REKTYFIKATOR, DEFLEGMATOR, SKRAPLACZ i REKUPERATOR) znajduje się prawie wyłącznie dwuskładnikowy roztwór NH_3+H_2O , gdy tymczasem w aparatach strony niskociśnieniowej (ABSORBER ze ZBIORNIKIEM, PAROWACZ, WYMIENNIK CIEPŁA GAZÓW, DOCHŁADZACZ GAZU) znajduje się trójskładnikowy roztwór $NH_3+H_2O+H_2$, w którym przyjmuje się, że gaz inertny (H_2) spełnia rolę składnika dopełniającego ciśnienie cząstkowe ziębniaka p_0 do ciśnienia całkowitego p_c . W ten prosty sposób, w układzie ciśnieniowo zrównoważonym (o ciśnieniu p_c), pozbawionym pompy mechanicznej i elementów dławiących (jak to ma miejsce w absorpcyjnych układach przemysłowych), można uzyskać różnicę ciśnień pomiędzy stroną wysokociśnieniową a niskociśnieniową ($p_k - p_0$), pozwalającą, przy wymaganym rozkładzie temperatur źródeł ciepła, na zastosowanie wodnego roztworu amoniaku.

Inspiracją dla modelowania układu absorpcyjno-dyfuzyjnego jest model absorpcyjnego układu przemysłowego, pracującego na roztworze dwuskładnikowym NH_3+H_2O , przedstawiony w [3, 4, 5, 6]. Dla potrzeb modelowania układu absorpcyjno-dyfuzyjnego zaadaptowano z [6] wykres $h-\xi$ (rys. 2a) dla dwuskładnikowego roztworu NH_3+H_2O , z rozszerzonym dla potrzeb modelowania układu absorpcyjno-dyfuzyjnego, zakresem ciśnień do $p=3,0$ MPa. Modelowanie procesów, tworzących obieg absorpcyjno-dyfuzyjny wg metody skorelowanych wykresów entalpia-stężenie, opisanej w [1], wymagało opracowania wykresu entalpia-stężenie ($h-y$) dla dwuskładnikowego roztworu NH_3+H_2 i to

w taki sposób, który pozwalałby na sprzęgnięcie go z już istniejącym wykresem $h-\xi$ dla roztworu $\text{NH}_3+\text{H}_2\text{O}$.

W tym celu, wykorzystując sugestie z [7], opracowano wykres $h-y$ -lpg dla roztworu NH_3+H_2 w formie dostosowanej do potrzeb modelowych. Na rys. 3 przedstawiono przestrzenną postać tego wykresu, z zaznaczeniem faz, wykorzystywanych przy identyfikacji procesów obiegu gazu inertnego. Praktyczną postać wykresu, dostosowaną do potrzeb obliczeń inżynierskich przedstawiono na rys. 2b.

Na rys. 3 lewa strona wykresu odwzorowuje linię entalpii właściwej dla czystego NH_3 ($y=1,0$), przy czym punkt odniesienia ($h=0$) jest tożsamy z analogicznym punktem na wykresie $h-\xi$. Entalpię właściwą $h(y)$ dwuskładnikowego roztworu o składzie y oblicza się ze wzoru ogólnego:

$$h(y) = (1 - y) \times h_i + y \times h_z + q_t \quad (1)$$

gdzie:

y - udział wagowy NH_3 w roztworze NH_3+H_2 ,

h_i - właściwa entalpia czystego gazu inertnego, określona w oparciu o wartości tablicowe,

h_z - właściwa entalpia czystego ziębnika, określona w oparciu o wartości tablicowe,

q_t - właściwe ciepło mieszania,

Ponieważ roztwór NH_3+H_2 w obszarze pary przegrzanej można traktować jako gaz doskonały, stąd $q_t=0$. Pozwala to na przekształcenie wzoru (1) do postaci:

$$h(y) = (1 - y) \times h_i + y \times h_z \quad (2)$$

Równanie (2) pozwala na wyznaczenie przebiegu izoterm na wykresie $h-y$ (rys.2b), jako linii prostych. Dla potrzeb obliczeń projektowych korzystna jest możliwość wyznaczania związku pomiędzy prognozowanym rozkładem temperatur w procesie ziębnienia a ciśnieniem cząstkowym ziębnika w roztworze z gazem inertnym i wynikającym z tego, udziałem wagowym y . Przyjmując model gazu doskonałego, można przyjąć dla roztworu NH_3+H_2 następujący związek:

$$x = \frac{n_{mz}}{n_{mr}} = \frac{p_z(t)}{p_c} \quad (3)$$

gdzie:

x - udział molowy NH_3 w roztworze NH_3+H_2 ,

n_{mz} - ilość moli NH_3 w roztworze NH_3+H_2 ,

n_{mr} - ilość moli roztworu NH_3+H_2 ,

$p_z(t)$ - ciśnienie cząstkowe ziębnika w funkcji temperatury t ,

p_c - ciśnienie całkowite roztworu.

W praktyce inżynierskiej wygodniej jest posługiwać się udziałem wagowym y , przy czym istnieje ogólny związek:

$$y = \frac{x}{\frac{M_i}{M_z} + x \times (1 - \frac{M_i}{M_z})} \quad (4)$$

gdzie:

M_i - masa molowa gazu inertywnego,

M_z - masa molowa ziębniaka.

W przypadku roztworu NH_3+H_2 , wzór (4) przyjmie postać:

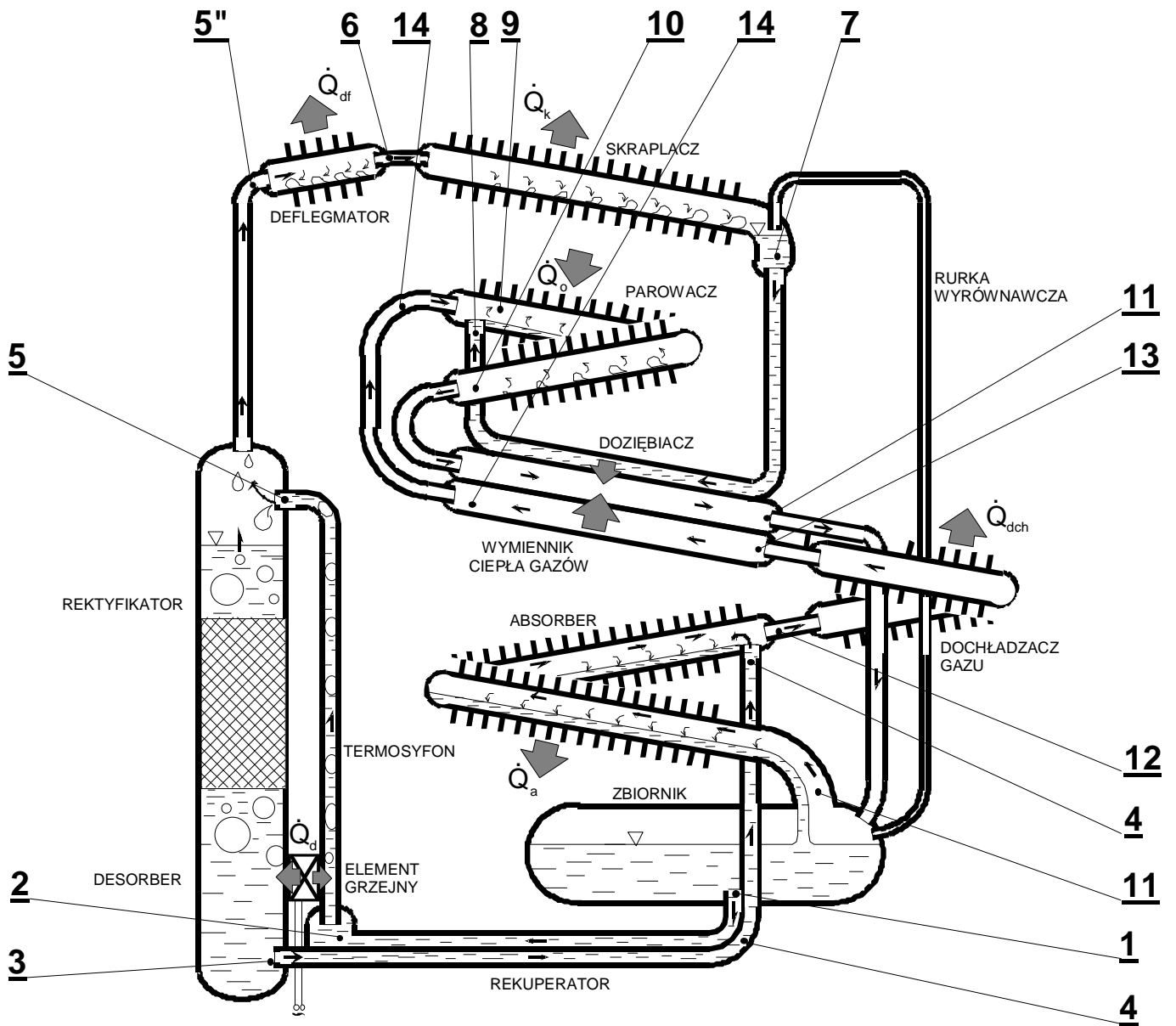
$$y = \frac{x}{0,1183488 + 0,8816511 \times x} \quad (5)$$

Powyższe zależności pozwoliły na opracowanie wykresu pomocniczego $t/p_z - y$ (rys. 2c), przy pomocy którego skonstruowano linie nasycenia dla danych wartości ciśnienia całkowitego p_c na wykresie $h - y$ (rys. 2b). Pozwala on także na łatwe określenie udziałów wagowych y_b i y_u w procesie konstruowania obiegu gazu inertywnego.

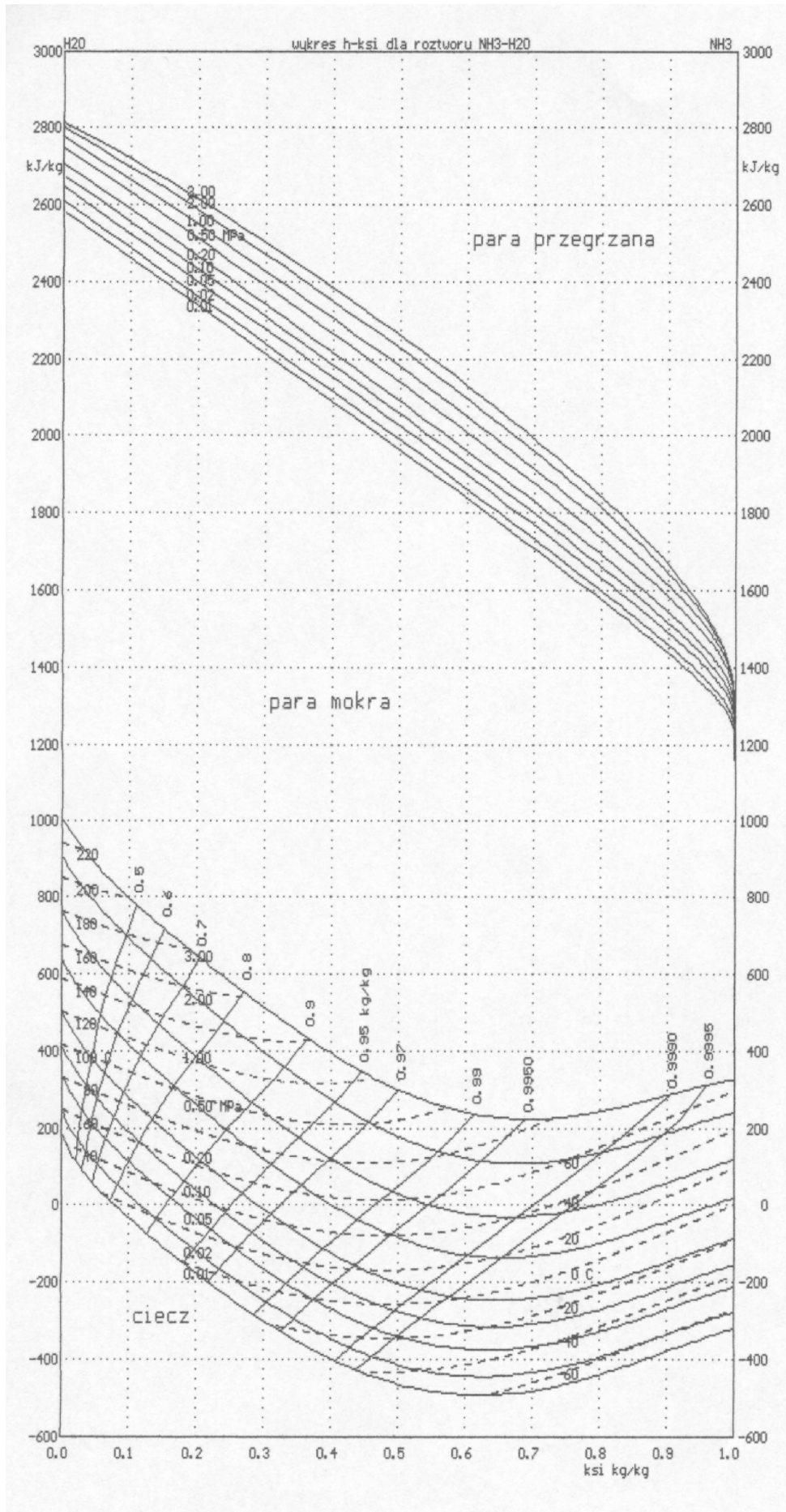
Przedstawione na rys. 2 wykresy entalpia-stężenie dla roztworu $\text{NH}_3+\text{H}_2\text{O}+\text{H}_2$, pozwalają na modelowanie procesów obiegu absorpcyjno-dyfuzyjnego w taki sposób, że na wykresie $h - \xi$ (rys.2a) identyfikowane są procesy desorpcji, absorpcji, skraplania, deflegmacji i rekuperacji ciepła a na wykresie $h - y$ (rys. 2b) identyfikowane są pozostałe procesy, realizowane w obiegu gazu inertywnego. Szczegółowe omówienie problemu identyfikacji i bilansowania energetycznego układu zostanie przedstawione w części II.

Literatura:

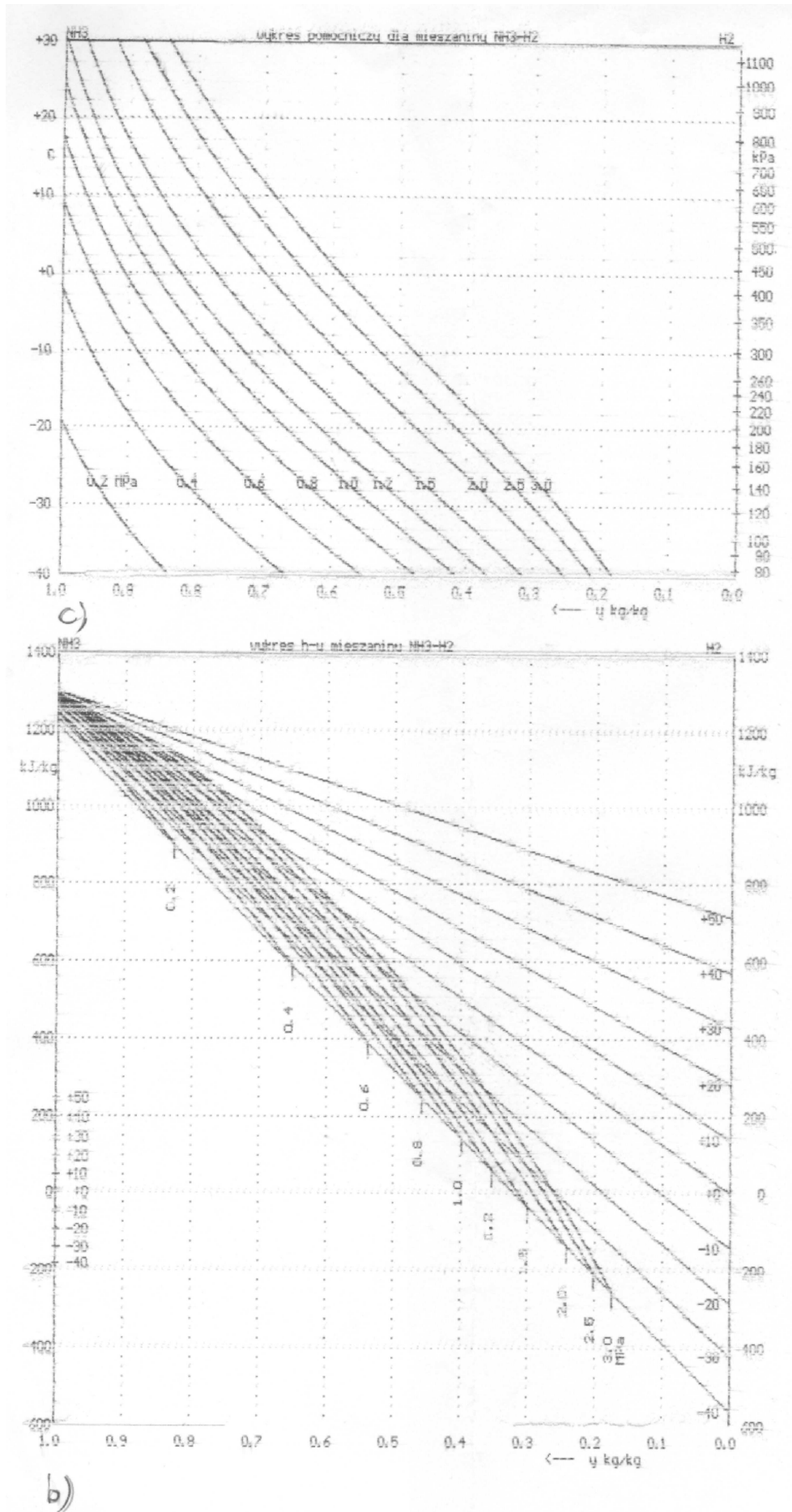
- [1] Eichler J., Kasperski J. *Metoda skorelowanych wykresów entalpia-stężenie w zastosowaniu do modelowania obiegu w klimatyzatorze absorpcyjno-dyfuzyjnym*. Chłodnictwo, 1997, nr 7.
- [2] Eichler J., Kasperski J. *Odstępstwa rzeczywistego obiegu absorpcyjno-dyfuzyjnego od obiegu teoretycznego (część I)*. Chłodnictwo, 1998, nr 9.
- [3] Maczek K. *Obliczanie bilansu energetycznego i egzergetycznego przemysłowej ziębniarki absorpcyjnej na roztwór amoniak-woda*. Biuletyn Informacyjny. Chłodnictwo, 1966, nr 2.
- [4] Maczek K. *Modelowanie matematyczne w optymalizacji urządzeń cieplnych sorpcyjnych*. Monografia. Politechnika Krakowska, Kraków 1984.
- [5] Warwaszyński Z. *Wpływ rektyfikacji w ziębniarce absorpcyjnej na jej parametry procesowe i konstrukcyjne*. Praca doktorska. Raport PWr serii PREPRINTY 54/81.
- [6] Warwaszyński Z., Czechrak-Suchanecka E., Kasperski J. *Symulacja komputerowa absorpcyjnego systemu ziębniaczego z akumulacją wydajności*. Raport PWr serii I-20/SPR - 55/90.
- [7] Backstrom M. *The theory of the evaporator working with diffusion*. Kylteknisk Tidskrift, 1954, nr 2.



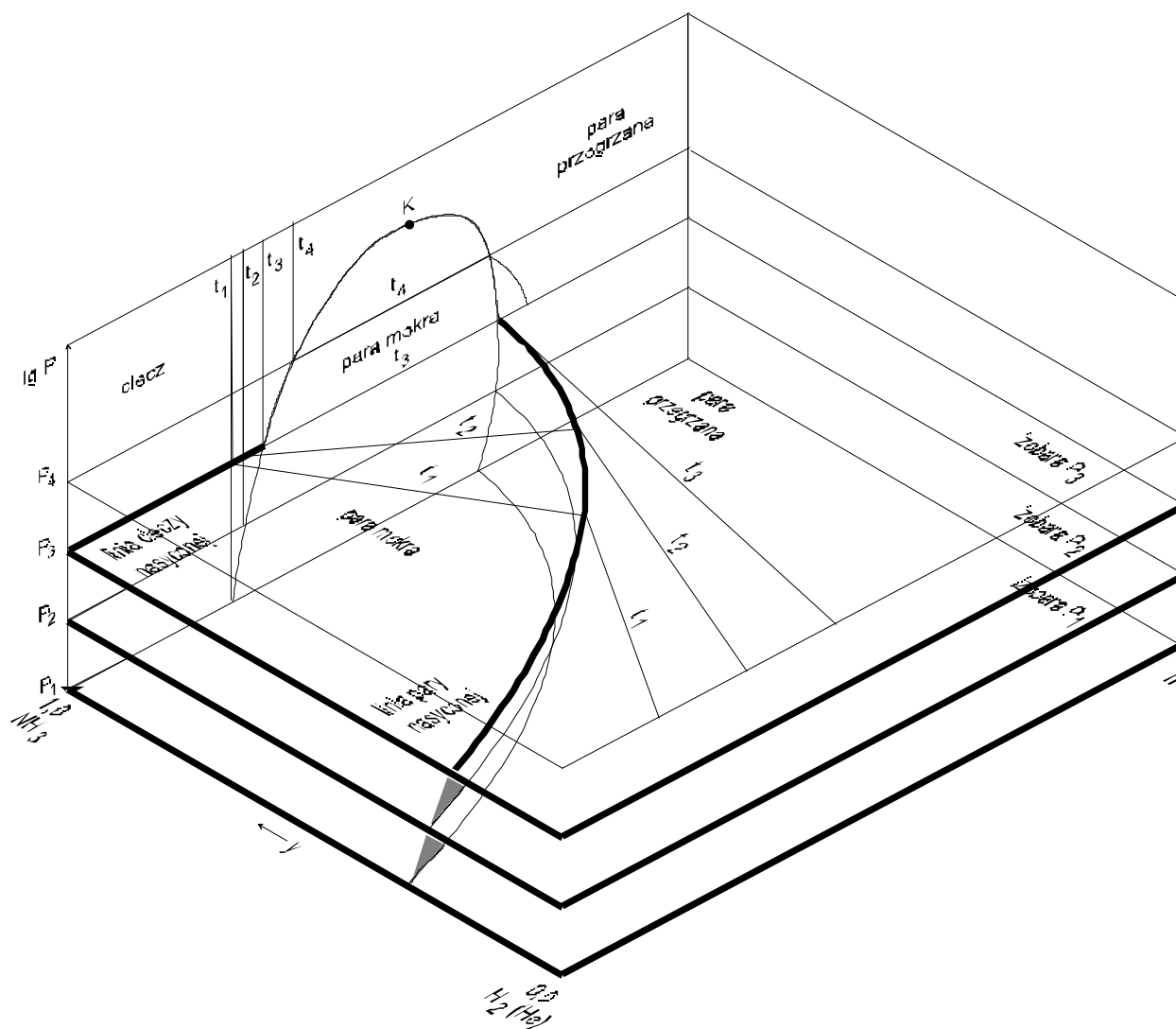
Rys. 1. Schemat modelowy układu absorpcyjno-dyfuzyjnego.



Rys.2a.



Rys. 2b i 2c.



Rys. 3. Wykres $h-y-lgp$ dla roztworu

Artykuł 2. Podpisy pod rysunkami:

Rys. 1. Schemat modelowy układu absorpcyjno-dyfuzyjnego.

Rys. 2. Skorelowane wykresy entalpia-stężenie:

a/ wykres $h - \xi$ dla dwuskładnikowego roztworu $\text{NH}_3 + \text{H}_2\text{O}$,

b/ wykres $h - y$ dla dwuskładnikowego roztworu $\text{NH}_3 + \text{H}_2$,

c/ wykres pomocniczy $\frac{t}{p_z} - y$.

Rys. 3. Wykres $h - y - \lg p$ dla roztworu $\text{NH}_3 + \text{H}_2$.