



Badania eksperymentalne oporów przepływu podczas skraplania proekologicznego czynnika chłodniczego w minikanalach rurowych

*Tadeusz Bohdal, Henryk Charun, Małgorzata Sikora
Politechnika Koszalińska*

1. Wprowadzenie

Wiele ośrodków światowych zajmuje się konstrukcją i eksploatacją kompaktowych urządzeń chłodniczych. Jest to zgodne z trendem zapoczątkowanym w XX wieku i nadal kontynuowanym, zmierzającym do stosowania urządzeń technicznych materiał- i energooszczędnych oraz przyjaznych środowisku. W przypadku sprężarkowych urządzeń chłodniczych problem dotyczy przede wszystkim budowy sprężarek i wymienników ciepła. Wymienniki ciepła powinny być tak zaprojektowane, aby przy użyciu stosunkowo małej ilości czynnika chłodniczego w instalacji można przekazać dużą gęstość strumienia ciepła, przy wysokiej efektywności energetycznej. Oznacza to, że zapotrzebowanie na energię napędową czynnika chłodniczego i chłodzonego powinno być możliwie małe, a to jest z kolei związane z małymi oporami przepływu w układzie kanałów wymiennika.

Opracowanie prezentuje wyniki badań eksperymentalnych spadku ciśnienia w przepływie dwufazowym czynnika chłodniczego R134a (zamiennik R12) podczas jego skraplania w minikanalach rurowych skraplaczy kompaktowych.

2. Przegląd danych literaturowych

W pracy *Mehendale et al.* [1] klasyfikuje się wymienniki ciepła stosując kryterium średnicy hydraulicznej ich kanałów przepływowych: mikrowymienniki ($d_h = 1 \div 100 \mu\text{m}$), mesowymienniki ($d_h = 100 \mu\text{m} \div 1 \text{ mm}$), wymienniki kompaktowe ($d_h = 1 \div 6 \text{ mm}$) oraz wymienniki konwencjonalne ($d_h > 6 \text{ mm}$). Inną propozycję klasyfikacji kanałów stosowanych w wymiennikach przedstawił *Kandlikar* [2]: mikrokanaly ($d_h < 200 \mu\text{m}$), minikanaly ($d_h < 200 \mu\text{m} \div 3 \text{ mm}$) i kanały konwencjonalne ($d_h > 3 \text{ mm}$). Bez względu na rozbieżności podanych kryteriów stwierdza się, że kanały o małej średnicy występują w zakresie $d_h < (3 \div 6 \text{ mm})$. Problem jest o tyle ważny, że zalecane do obliczeń korelacje opisujące opory przepływu dotyczą zwłaszcza kanałów konwencjonalnych. W wielu publikacjach dowodzi się, że nie można bezkrytycznie stosować korelacji sprawdzonych dla kanałów konwencjonalnych, w odniesieniu do kanałów o małej średnicy, zwłaszcza dla czynników chłodniczych podlegających przemianom fazowym [3].

Na podstawie analizy teoretycznej i eksperymentalnej dowiedziono, że całkowity, lokalny lub średni, spadek ciśnienia w przepływie dwufazowym można przedstawić w postaci:

$$\left(\frac{\Delta p}{L}\right)_{TP} = \left(\frac{\Delta p}{L}\right)_{TPF} + \left(\frac{\Delta p}{L}\right)_h + \left(\frac{\Delta p}{L}\right)_a, \quad (1)$$

gdzie:

$$\left(\frac{\Delta p}{L}\right)_{TPF} \text{ – tarciový spadek ciśnienia, (2)}$$

$$\left(\frac{\Delta p}{L}\right)_h \text{ – hydrostatyczny spadek ciśnienia, (3)}$$

$$\left(\frac{\Delta p}{L}\right)_a \text{ – przyśpieszeniowy spadek ciśnienia. (4)}$$

W przypadku wrzenia i skraplania czynników chłodniczych w minikanałach rurowych można pominąć hydrostatyczny i przyspieszeniowy spadek ciśnienia, których wartości są bardzo małe (przyjmuje się równe zero). Zasadniczy wpływ wywiera więc tarciový spadek ciśnienia. Do jego określenia stosuje się najczęściej metody obliczeniowe oparte na modelach: homogenicznym i rozdzielonym. Model homogeniczny stosuje się w analizie skraplania w minikanałach bardzo rzadko. Zarówno dla kanałów konwencjonalnych, jak i dla minikanalów wykorzystuje się zwykle model rozdzielony z dwoma metodami obliczeń, tzn. metodą *Lockharta – Martinelli’ego* [4] i metodą *Friedel’a* [5]. W modelu rozdzielonym zakłada się, że całkowity opór przepływu dwufazowego wywołany jest równoważnym oporem tarciovým przepływu jednej z faz (ciekłej lub gazowej), co ujmuje się zależnością:

$$\left(\frac{\Delta p}{L}\right)_{TPF} = \left(\frac{\Delta p}{L}\right)_f \cdot \Phi_f^2, \quad (5)$$

gdzie $(\Delta p / L)_f$ jest tarciovým spadkiem ciśnienia wynikającym z przepływu jednej z faz (f), natomiast Φ_f^2 oznacza współczynnik poprawkowy przepływu dwufazowego. W większości przypadków przyjmuje się w obliczeniowy spadek ciśnienia w przepływie fazy ciekłej, wtedy we wzorze (5) $f = l$, a współczynnik poprawkowy przepływu dwufazowego można oznaczyć $\Phi_f^2 = \Phi_{lo}^2$.

Oporó przepływu dwufazowego czynnika chłodniczego podczas skraplania w kanałach o małej średnicy zależą od bardzo wielu parametrów, z których najważniejsze to: rodzaj czynnika i jego właściwości, średnica hydrauliczna d_h , gęstość strumienia masy czynnika chłodniczego ($w\rho$), stopień suchości pary x . W zależnościach ujmujących wpływ rodzaju czynnika chłodniczego podkreśla się znaczenie takich właściwości jak: ciśnienie zredukowane p_r ($p_r = p_s / p_{kr}$, gdzie: p_s – ciśnienie nasycenia (skraplania), p_{kr} – ciśnienie krytyczne czynnika), dynamiczny współczynnik lepkości μ , gęstość ρ oraz napięcie powierzchniowe σ). Zestaw podanych parametrów trzeba bezwzględnie uzupełnić informacją dotyczącą struktury przepływu dwufazowego, opisaną w szczególności wielkościami:

- parametrem Lockharta – Martinelli'ego:

$$\chi_{tt} = \left(\frac{1-x}{x} \right)^{0,9} \cdot \left(\frac{\rho_g}{\rho_l} \right)^{0,5} \cdot \left(\frac{\mu_l}{\mu_g} \right)^{0,1}, \quad (6)$$

- pozorną prędkością jednej z faz (np. j_g – fazy gazowej):

$$j_g = \frac{(w\rho) \cdot x}{\sqrt{g \cdot d_w \cdot \rho_g \cdot (\rho_l - \rho_g)}}. \quad (7)$$

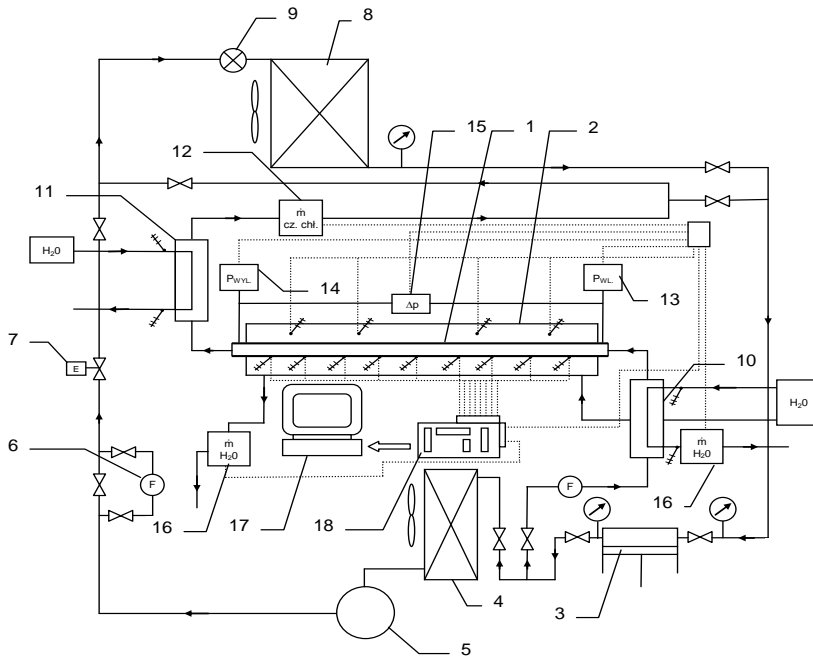
W opracowaniach zwartych *Kandlikara et al.* [8] oraz *Ghiaasiaana* [9] wykonano analizę kilkunastu korelacji (różnych autorów) służących do obliczenia oporu przepływu czynnika chłodniczego R134a w procesie skraplania w minikanalach rurowych, otrzymując dla wielu korelacji dużo różniące się wartości. Praca *Suna i Mishima* [10] podaje także różne wersje korelacji, przy czym brak jest wyraźnego wskazania korelacji szczególnie zalecanej dla R134a. Dlatego autorzy wykonali własne badania eksperymentalne w tym zakresie.

3. Stanowisko badawcze

Badania eksperymentalne zrealizowano na stanowisku pomiarowym, którego schemat ideowy przedstawiono na rys. 1. Należy w nim wyróżnić dwie instalacje chłodnicze współpracujące równolegle, to znaczy: instalację jednostopniowego układu chłodniczego zasilaną z agregatu sprężarkowo-skrapłającego oraz instalację chłodniczą zasilającą odcinek pomiarowy minikanalu rurowego.

Badania ciepło-przepływowe przeprowadzono dla proekologicznego czynnika chłodniczego R134a w zakresie parametrów:

- średnica wewnętrzna minikanalu rurowego: $d = 0,31 \div 3,3$ mm,
- gęstość strumienia masy: $(w\rho) = 0 \div 1200$ kg/(m²·s),
- gęstość strumienia ciepła: $q = 0 \div 100$ kW/m²,
- temperatura nasycenia: $t_s = 20 \div 40$ °C,
- stopień suchości pary: $x = 0 \div 1$.

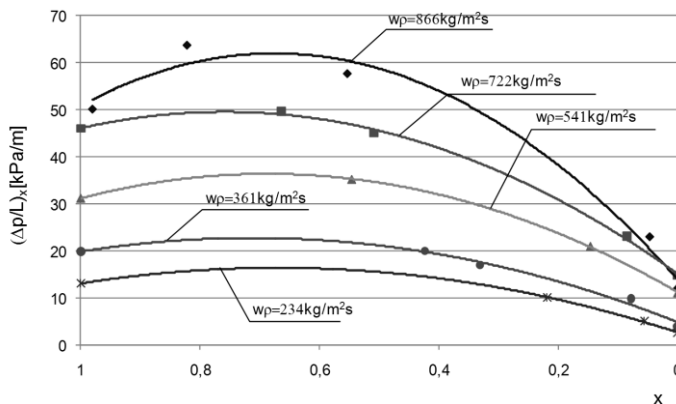


Rys. 1. Schemat ideowy stanowiska badawczego; 1 – odcinek pomiarowy minikanalu rurowego, 2 – kanał wodny, 3 – chłodniczy agregat sprężarkowy, 4 – skraplacz chłodzony powietrzem, 5 – zbiornik cieczy czynnika chłodniczego, 6 – filtr-osuszacz czynnika, 7 – zawór elektromagnetyczny, 8 – lamelowana chłodnica powietrza, 9 – zawór rozprężny zasilający chłodnicę, 10 – wymiennik ciepła do odbioru ciepła przegrzania czynnika, 11 – dochładzacz cieczy czynnika, 12 – przepływomierz elektroniczny czynnika chłodniczego, 13 – czujnik ciśnienia czynnika na dopływie do odcinka pomiarowego, 14 – czujnik ciśnienia czynnika na wypływie z odcinka pomiarowego, 15 – czujnik różnicy ciśnienia czynnika, 16 – przepływomierz elektroniczny wody, 17 – komputer, 18 – układ akwizycji danych

Fig. 1. Schematic diagram of the experimental stand: 1 – measuring section of the pipe mini-channel, 2 – water channel, 3 – refrigeration compressor installation, 4 – condenser cooled with air, 5 – container of refrigerant liquid, 6 – filter-dryer of refrigerant, 7 – electromagnetic valve, 8 – lamelated air cooler, 9 – expansion valve that feeds the cooler, 10 – heat exchanger to collect refrigerant's superheat, 11 – subcooler of refrigerant's liquid, 12 – electronic flowmeter of refrigerant, 13 – refrigerant's pressure probe on the inlet to the measuring section, 14 – refrigerant's pressure probe on the outlet from the measuring section, 15 – refrigerant's differential pressure transducer, 16 – water electronic flowmeter, 17 – computer, 18 – data collection system

4. Wyniki badań eksperymentalnych

Badania eksperymentalne skraplania czynnika chłodniczego w minikanalach rurowych zrealizowano w dwóch zakresach, tzn. w zakresie średniego i lokalnego spadku ciśnienia. Wartości średnie zostały określone dla całej strefy skraplania właściwego (w przedziale $x = 0 \div 1$), natomiast wartości lokalne spadku ciśnienia mierzono w dziewięciu przekrojach odległych od siebie co 100 mm. Badania eksperymentalne wykonano z zastosowaniem minikanalów rurowych o średnicy wewnętrznej $d = 0,31, 0,45, 0,64, 0,98, 1,40, 1,60, 1,94, 2,30$ i $3,30$ mm. Rys. 2 przedstawia przykładowo wyniki badań eksperymentalnych zależności lokalnego spadku ciśnienia $(\Delta p/L)_x$ od stopnia suchości x podczas skraplania czynnika chłodniczego R134a dla stałych wartości gęstości strumienia masy ($w\rho = \text{const}$), w przedziale $(w\rho) = 234 \div 866 \text{ kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$ w minikanale rurowym o średnicy wewnętrznej $d = 1,40$ mm. Podobne zależności uzyskano dla innych średnic wewnętrznych minikanalów. Z przeprowadzonych badań wynika, że wykres zależności $(\Delta p/L)_x = f(x)$ dla $(w\rho) = \text{const}$ ma charakterystyczny przebieg w zakresie zmiany stopnia suchości $x = 1 \div 0$. Ze spadkiem wartości x następuje początkowo niewielki wzrost wartości lokalnej wartości oporu, a następnie jej spadek. Wzrost gęstości strumienia masy ($w\rho$) powoduje wzrost lokalnego oporu przepływu skraplającego się czynnika chłodniczego R134a.



Rys. 2. Wyniki badań eksperymentalnych charakterystyki $(\Delta p/L)_x = f(x)$ podczas skraplania czynnika R134a w minikanale o średnicy $d = 1,40$ mm
Fig. 2. Results of experimental investigations of characteristics $(\Delta p/L)_x = f(x)$ during condensation of R134a refrigerant in minichannel with diameter $d = 1.40$ mm

5. Analiza porównawcza oporu przepływu czynnika R134a podczas skraplania w minikanalach

Wyniki badań eksperymentalnych w zakresie oporu przepływu czynnika chłodniczego R134a podczas jego skraplania w minikanalach rurowych zostały przedstawione w postaci zależności oporu przepływu ($\Delta p/L$) od gęstości strumienia masy ($w\rho$) oraz od stopnia suchości x . W obu wersjach porównano wyniki eksperymentalne z wynikami obliczeń według korelacji innych autorów, w tym: *Friedela*, *Chena*, *Cavalliniego*, *Garimelli*, *Wilsona*. Na rys. 3 przedstawiono wyniki tego porównania, z którego wynika, że wyniki badań eksperymentalnych najlepiej są zbliżone do wyników obliczeń (dla tych samych parametrów procesu) z korelacji *Friedela* i *Garimelli*. W szczególności, zbliżenie wyników badań eksperymentalnych i obliczeń z podanych korelacji jest zależne od średnicy minikanalu, tzn.:

- dla $d \leq 1,6$ mm – korzystniejsza jest korelacja *Friedela*,
- dla $d > 1,6$ mm – korelacja *Garimelli*.

Na rys. 4 zawarto analizę porównawczą wyników badań eksperymentalnych oporu przepływu ($\Delta p/L$) = $f(x)$ dla ($w\rho$) = const i d = const dla czynnika R134a w minikanalach i obliczeń wg korelacji innych autorów.

Autorzy opracowali własną korelację eksperymentalną opisującą lokalny tarciový spadek ciśnienia dla czynnika chłodniczego R134a podczas jego skraplania w przepływie w minikanalach o średnicy wewnętrznej $d = 0,31 \div 3,3$ mm:

$$\left(\frac{\Delta p}{L}\right)_{TPF} = \left(\frac{\Delta p}{L}\right)_{lo} \cdot \left[0,003 \cdot p_r^{-4,7221} \cdot E^{-0,9919} + 143,7465 \cdot \left(\frac{F^{0,6709} \cdot H^{-0,0195}}{We^{0,3081}} \right) \right], \quad (8)$$

gdzie:

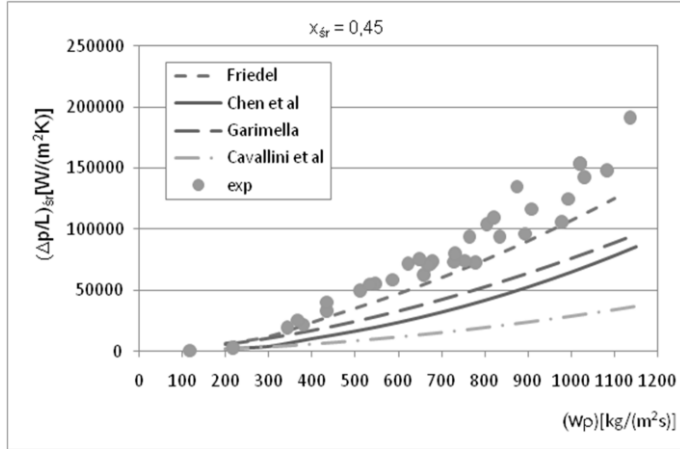
$$E = (1-x)^2 + x^2 \cdot \left(\frac{\rho_l}{\rho_g} \right) \cdot \left(\frac{f_{go}}{f_{lo}} \right), \quad (9)$$

$$F = x^{0,98} \cdot (1-x)^{0,24}, \quad (10)$$

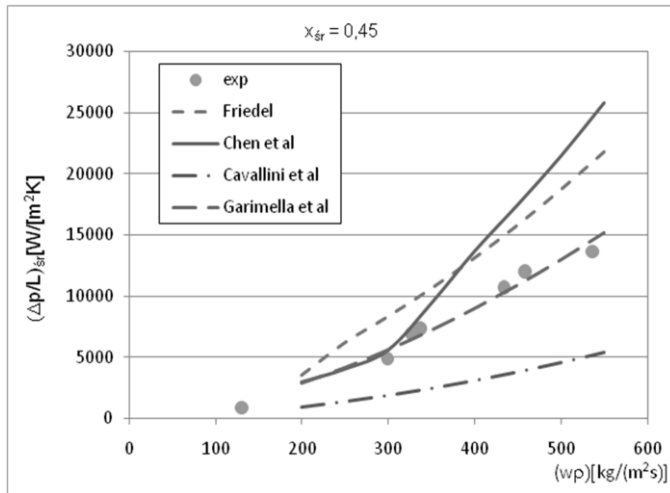
$$H = \left(\frac{\rho_l}{\rho_g} \right)^{0,91} \cdot \left(\frac{\mu_g}{\mu_l} \right)^{0,19} \cdot \left(1 - \frac{\mu_g}{\mu_l} \right)^{0,7}, \quad (11)$$

$$We = \frac{(w\rho)^2 \cdot d_w}{\sigma \cdot \rho_g} \quad (12)$$

a)



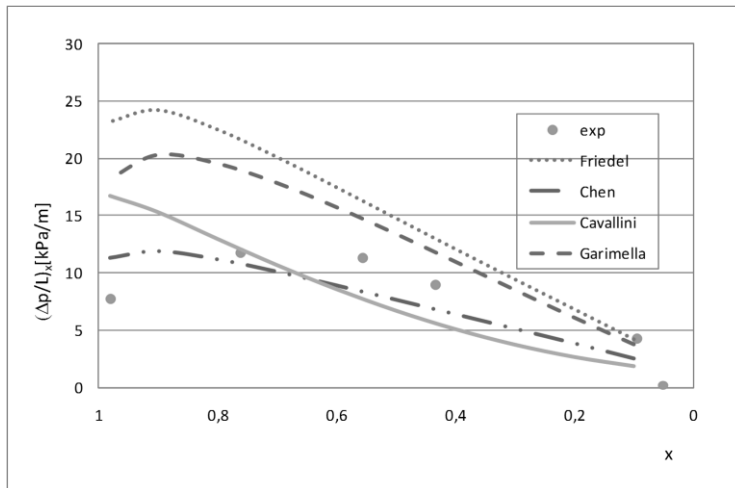
b)



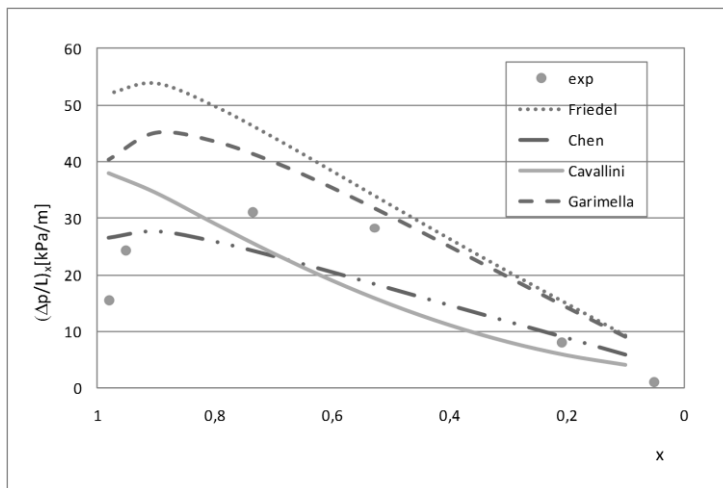
Rys. 3. Porównanie wyników badań oporu przepływu czynnika chłodniczego R134a podczas skraplania w minikanalach rurowych w postaci zależności $(\Delta p/L) = f(wp)$ dla $x = \text{const}$ z wynikami obliczeń z korelacji innych autorów; a) $d = 1,40$ mm, b) $d = 2,30$ mm

Fig. 3. Comparison of results of the investigations of the flow resistance of R134a refrigerant during condensation in pipe minichannels in the form of dependence $(\Delta p/L) = f(wp)$ for $x = \text{const}$ with the results of calculations from correlations proposed by other authors; a) $d = 1.40$ mm, b) $d = 2.30$ mm

a)



b)



Rys. 4. Porównanie badań eksperymentalnych zależności $(\Delta p/L)_x = f(x)$ z wynikami obliczeń wg korelacji innych autorów podczas skraplania czynnika chłodniczego R134a w minikanalach o średnicy: a) $d = 3,3$ mm, $(w\rho) = 162$ kg/m²s, $t_s = 42^\circ\text{C}$; b) $d = 2,3$ mm, $(w\rho) = 321$ kg/m²s, $t_s = 43^\circ\text{C}$

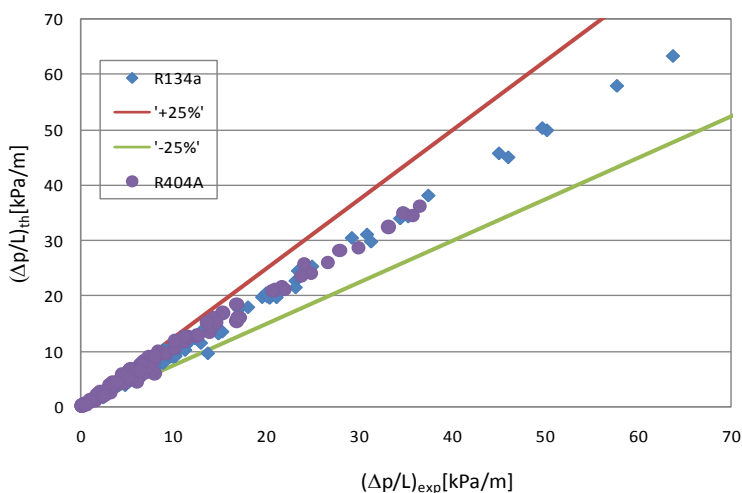
Fig. 4. Comparison of the experimental investigations of dependences $(\Delta p/L)_x = f(x)$ with the results of calculations according to correlations proposed by other authors during the condensation of R134a refrigerant in minichannels with the following diameters: a) $d = 3.3$ mm, $(w\rho) = 162$ kg/m²s, $t_s = 42^\circ\text{C}$; b) $d = 2.3$ mm, $(w\rho) = 321$ kg/m²s, $t_s = 43^\circ\text{C}$

Współczynniki tarcia f_{lo} i f_{go} do wzoru (9) określa się dla jednofazowego przepływu, odpowiednio fazy ciekłej i gazowej, z zależności Baroczy [15] o postaci:

$$f_x = 8 \cdot \left[\left(\frac{8}{\text{Re}_x} \right)^{12} + \left\{ \left[2,457 \cdot \ln \left(\frac{\text{Re}_x}{7} \right)^{0,9} \right]^{16} + \left(\frac{37530}{\text{Re}_x} \right)^{16} \right\}^{-1,5} \right]^{1/12}, \quad (13)$$

gdzie indeks dolny $x=go$ stosuje się w przypadku obliczenia f_{go} zaś $x = lo$ w obliczeniu f_{lo} . Te same oznaczenia dotyczą liczb Reynoldsa Re_{lo} i Re_{go} .

Obliczenia sprawdzające wyników badań eksperymentalnych wykazały, że w zakresie objętym analizą korelacji (8) występowała struktura przepływu dwufazowego: pierścieniowa (*annular*) oraz pierścieniowo – rozwarstwiona (*annular – stratified*). Stwierdzono, że wyniki badań eksperymentalnych i obliczeń z korelacji (8) mieszczą się w paśmie zgodności $\pm 20\%$, co ilustruje rys. 5.



Rys. 5. Porównanie wyników badań eksperymentalnych i wyników obliczeń z korelacji (8) dotyczące lokalnego spadku ciśnienia w przepływie czynnika chłodniczego R134a podczas jego skraplania w minikanalach rurowych o średnicy wewnętrznej $d = 0,31 \div 3,3$ mm

Fig. 5. Comparison of the experimental investigations results and the calculations results from correlation (8) concerning local pressure drop in the flow of R134a refrigerant during its condensation in pipe minichannels with internal diameter $d = 0.31 \div 3.3$ mm

6. Wnioski

1. Spadek ciśnienia w przepływie dwufazowym podczas skraplania czynnika chłodniczego R134a zależy od: rodzaju czynnika, parametrów procesu oraz struktury przepływu dwufazowego. W literaturze brak jest uogólnionych map struktur przepływu dwufazowego dla czynników chłodniczych, co znacznie utrudnia wybór odpowiedniej korelacji podczas projektowania skraplaczy kompaktowych.
2. Porównawcze zestawienie wyników badań eksperymentalnych i obliczeń z korelacji wielu autorów nie pozwoliło na wybór korelacji najbardziej przydatnej. Wyniki badań eksperymentalnych zależności $(\Delta p/L) = f(wp)$ dla $x_{sr} = \text{const}$ układają się najbliżej wykresu tej zależności: *Friedela* (dla $d \leq 1,6$ mm) oraz korelacji *Garimelli* (dla $d > 1,6$ mm).
3. W wyniku przeprowadzonych systematycznych badań eksperymentalnych skraplania czynnika chłodniczego R134a w minikanalach rurowych gładkich (ze stali nierdzewnej) o średnicy wewnętrznej $d = 0,31 \div 3,3$ mm uzyskano bazę wyników pomiarów wartości średnich i lokalnych spadku ciśnienia w minikanalach rurowych (w zakresie parametrów: $t_s = 30 \div 40^\circ\text{C}$, $x = 0 \div 1$, $(wp) = 0 \div 1200$ kg/(m²·s). Zostały one wykorzystane przy opracowaniu własnej korelacji autorów (8) do określania spadku ciśnienia w tych warunkach.

Literatura

1. **Mehendale S.S., Jacobi A.M., Shah R.K.:** *Fluid flow and heat transfer at micro- and meso-scales with application to heat exchanger design*. Applied Mechanics Reviews. vol. 53, No. 7, pp. 175÷193. 2000.
2. **Kandlikar S.G.:** *Microchannels and minichannels – history, terminology, classification and current research needs*. First International Conference on Microchannels and Minichannels. New York 2003.
3. **Cavallini A., Doretti L., Matkovic M., Rossetto L.:** *Update on condensation heat transfer and pressure drop inside minichannels*. Proc. Of ICMM2005, 3 rd International Conference on Microchannels and Minichannels, Toronto 2005.
4. **Lockhart R.W., Martinelli R.C.:** *Proposed correlation of data for isothermal two-phase, two-component flow in pipes*. Chem. Eng. Prog. vol. 45, No. 1, pp. 39÷45. 1949.
5. **Friedel L.:** *Improved friction pressure drop correlation for horizontal and vertical two-phase pipe flow*. European Two-Phase Flow Group Meeting, Paper No. 2, Ispra, Italy 1987.

6. **Coleman J.W., Garimella S.:** *Two – phase flow regimes in round, square and rectangular tubes during condensation of refrigerant R134a*. Int. Journal Refrigeration, vol. 26, No. 1, pp. 117÷128. 2003.
7. **Cavallini A., Censi G., Del Col D., Doretti L., Longo G.A., Rossettol.:** *Condensation of halogenated refrigerants inside smooth tubes*. HVAC and Research. vol. 8, No. 4, pp. 429÷451. 2002.
8. **Kandlikar S.G., Garimella S., Li D., Colin S., King M.R.:** *Heat Transfer and Fluid Flow in Minichannels and Microchannels*. Elsevier. 2006.
9. **Ghiaasiaan S.M.:** *Two m- phase flow, boiling and condensation in conventional and miniature systems*. Cambridge University Press. 2008.
10. **Sun L., Mishima K.:** *Evaluation analysis of prediction methods for two – phase flow pressure drop in minichannels*. Int. Journal of Multiphase Flow. vol. 35, pp. 47÷54. 2009.
11. **Bohdal T., Charun H., Kuczyński W., Sikora M.:** *Investigation of heat exchange and flow resistances during condensation of refrigeration media in minichannels*, XIX International Symposium, Research-Education-Technology, Bremen, pp. 118÷121.
12. **Chen J.Y., Yang K.S., Chang Y.J., Wang C.C.:** *Two-phase pressure drop of air-water and R410A in small horizontal tubes*. Int. J. of Multiphase Flow 2001, vol. 27, No. 7, pp. 1293÷1299. 2001.
13. **Garimella S.:** *Condensation flow mechanisms in microchannels: basis for pressure drop and heat transfer models*. Heat Trans. Eng. vol. 25, No. 3, pp. 104÷116. 2004.
14. **Zhang M., Webb R.L.:** *Correlation of two-phase friction for refrigerants in small-diameter tubes*. Exp. Thermal and Fluid Science. vol. 25, pp. 131÷139. 2001.
15. **Baroczy C.J.:** *Correlation of liquid fraction in two-phase flow with application to liquid metals*. Chemical Engineering Progress Symposium, vol. 61, no. 57, pp. 179÷191. 1965.

Pressure Drop During Condensation of Refrigerant R134a in Pipe Minichannels

Abstract

Many research centers all over the world are dealing with the structure and operation of compact refrigerating devices. This is in line with the trend of 21st century, which is moving towards the use of energy-saving and environ-

mentally friendly technical equipment. The present study covers the results of investigations of a pressure drop in a two-phase flow of the R134a refrigerant (an R12 substitute) during its condensation in pipe minichannels in compact condensers. The investigation results of environmentally friendly refrigerant R134a condensation in minichannels with internal diameter $d = 0.1\div 3.3$ mm were presented. The authors established local and average pressure drops in the whole range of quality ($x = 0\div 1$). The influence of the quality and mass flux on pressure drop was illustrated. The results of experimental investigations were compared to the results of calculation according to correlations proposed by other authors. The authors obtained many experimental results in this range, with was essential to make their owns correlation.

The pressure drop in two-phase flow during condensation of refrigerant R134a is dependent on: the type of agent, process parameters and the structure of two-phase flow. In the literature there are no generalized maps of structures for two-phase flow of refrigerants, which significantly limits the choice of an appropriate correlation in the design of compact condensers.

As a result of systematic experimental studies of condensing refrigerant R134a in smooth pipe minichannels (stainless steel) with an inside diameter $d = 0.31\div 3.3$ mm a database of measurements of average and local values of pressure drop in pipe minichannels (within the range of parameters: $t_s = 30\div 40^\circ\text{C}$, $x = 0\div 1$, $(w\rho) = 0\div 1200$ kg/(m²·s) was obtained. They have been used for development of on, author's correlation (8) for determination of pressure drop under these conditions.

