



Rys. 5. Zależność spadku ciśnienia na jednostkę długości ( $\Delta p/L$ ) od temperatury ( $T$ ) oraz objętościowego natężenia przepływu ( $v$ ) cieczy chłodzącej; numer analizowanej cieczy chłodzącej podano w lewym górnym rogu danego wykresu, na wykresy nałożono krzywą wyznaczoną dla  $Re = 10\,000$

Fig. 5. Relation between pressure losses per unit length ( $\Delta p/L$ ), coolant temperature ( $T$ ) and volume flow rate ( $v$ ); number of analyzed coolant is presented in the left-upper part of the diagram; curve determined for  $Re = 10\,000$  is placed on each diagram

chłodzenia. W odniesieniu do większości analizowanych cieczy chłodzących obserwuje się wyraźnie większe, niż w wypadku wody, spadki ciśnienia umożliwiające uzyskanie podczas przepływu wspomnianej wartości liczby *Re*. Paradoksalne jest, że przy tej samej liczbie Reynoldsa, ale w warunkach większych spadków ciśnienia, wodny roztwór glikolu wykazuje większą skuteczność chłodzenia niż woda. Nieuwzględniane w rozważaniach wartości spadków ciśnienia powinny więc być brane pod uwagę podczas projektowania układów chłodzenia.

W wypadku złożonych układów chłodzenia (długie kanały, duża liczba przegród, układy równoległe) możliwa jest sytuacja, że to nie liczba Reynoldsa stanowi ograniczenie w doborze parametrów nastawnych, ale wartość spadków ciśnienia lub objętościowego natężenia przepływu, a tym samym nieuzyskanie liczby Reynoldsa równej 10 000 (skrajnie – pozostanie w zakresie laminarnym) może wyraźnie wpłynąć na efektywność odbioru ciepła. Zmianę charakteru przepływu chłodziwa (w wyniku wzrostu liczby Reynoldsa), a tym samym istotną poprawę skuteczności chłodzenia można uzyskać wówczas przez zastosowanie nieco wyższej temperatury cieczy chłodzącej. Wzrost temperatury cieczy zmniejsza wartości spadków ciśnienia, co umożliwia zastosowanie większego objętościowego natężenia przepływu, także cieczy o dużej lepkości.

#### PODSUMOWANIE

Przeanalizowano wpływ parametrów nastawnych przepływu cieczy chłodzących (temperatury cieczy chłodzącej oraz objętościowego natężenia przepływu) na skuteczność chłodzenia oraz spadki ciśnienia w kanałach formy wtryskowej. Stwierdzono, że temperatura cieczy chłodzącej w niewielkim stopniu determinuje wartości spadków ciśnienia (wyjątek stanowi Mobiltherm). Od temperatury chłodziwa zależą przede wszystkim właściwości materiałowe, wyznaczające wartości *Re*. Głównym czynnikiem warunkującym spadki ciśnienia jest objętościowe natężenie przepływu, wpływające na liczbę Reynoldsa oraz prędkość przepływu cieczy w kanałach chłodzących. Temperatura oraz objętościowe natężenie przepływu chłodziwa mają bardzo duże znaczenie w odniesieniu do skuteczności odbioru ciepła z formy. Współczynnik wnikania ciepła pozwala porównać skuteczność chłodzenia poszczególnych cieczy o danej temperaturze. Należy jednak pamiętać, że wpływ na efektywność odbioru ciepła ma również różnica temperatury powierzchni i wnętrza chłodzonego ciała, powinno się więc stosować możliwie niską temperaturę chłodziwa (jeśli nie ma innych obostrzeń ze strony układu chłodzącego).

Wiedza dotycząca wpływu rodzaju chłodziwa oraz parametrów jego przepływu na skuteczność chłodzenia oraz spadki ciśnienia w kanale chłodzącym jest niezbędna do zaprojektowania optymalnego, nawet złożonego, układu chłodzenia (szeregowo-równoległego, o długich kanałach, z dużą liczbą przegród), o dużej skuteczności

odbioru ciepła, z uwzględnieniem możliwości technicznych urządzeń chłodzących typu *chiller*.

*Praca została wykonana w ramach projektu LIDER/006/143/L-5/13/NCBR/2014 finansowanego przez Narodowe Centrum Badań i Rozwoju.*

#### LITERATURA

- [1] Sikora R.: „Przetwórstwo tworzyw wielkocząsteczkowych”, Wydawnictwo Edukacyjne Zofii Dobkowskiej, Warszawa 1993.
- [2] Pepliński K., Bieliński M.: *Polimery* **2015**, 60, 747. <http://dx.doi.org/10.14314/polimery.2015.747>
- [3] Postawa P., Stachowiak T., Grzesiczak D.: *Polimery* **2015**, 60, 351. <http://dx.doi.org/10.14314/polimery.2015.351>
- [4] Dokumentacja programu Autodesk Moldflow®.
- [5] Rosato D.V., Rosato M.G.: “Injection Molding Handbook”, Springer Science+Business Media, Nowy Jork 2000.
- [6] Lee N.C.: “Practical Guide to Blow Moulding”, Rapra Technology Limited, 2006.
- [7] Drobny J.G.: “Handbook of Thermoplastic Elastomers”, Elsevier, USA 2014.
- [8] Do Not Forget the Cooling – Measures for More Energy Efficiency in Thin-Wall Injection Molding, *Kunststoffe International* **2015**, 6–7, 43.
- [9] Baza cieczy chłodzących programu Autodesk Moldflow®.
- [10] [http://www.meglobal.biz/media/product\\_guides/ME-Global\\_MEG.pdf](http://www.meglobal.biz/media/product_guides/ME-Global_MEG.pdf) (data dostępu 15.02.2017).
- [11] <http://multimedia.3m.com/mws/media/569860O/3mtm-thermal-management-fluids-for-military-aerospace-apps.pdf> (data dostępu 01.06.2017).
- [12] <http://www.mobil.com/english-US/Industrial/pds/GLXXMobiltherm-600-Series> (data dostępu 01.06.2016).
- [13] <http://helmut-singer.de/pdf/exxoncoolanol.pdf> (data dostępu 20.02.2017).
- [14] [http://msdssearch.dow.com/PublishedLiteratureDOW-COM/dh\\_010e/0901b8038010e417.pdf?filepath=heat-trans%2Fpdfs%2Fnoreg%2F180-01286.pdf&fromPage=GetDoc](http://msdssearch.dow.com/PublishedLiteratureDOW-COM/dh_010e/0901b8038010e417.pdf?filepath=heat-trans%2Fpdfs%2Fnoreg%2F180-01286.pdf&fromPage=GetDoc) (data dostępu 20.02.2017).
- [15] <http://www.dow.com/heattrans/products/synthetic/dowtherm.htm> (data dostępu 20.02.2017).
- [16] Bergman T.L., Lavine A.S., Incropera F.P., Dewitt D.P.: “Fundamentals of Heat and Mass Transfer”, John Wiley & Sons, USA 2011.
- [17] Darcy H.P.G.: *Mémoires de l'Académie (royale) des sciences de l'Institut (imperial) de France* **1858**, 15, 141.
- [18] Weigand B.: “Analytical Methods for Heat Transfer and Fluid Flow Problems”, Springer-Verlag Berlin Heidelberg, Berlin 2015.
- [19] Swamee P.K., Jain A.K.: *Journal of the Hydraulics Division* **1976**, 102 (5), 657.

Otrzymano 5 IV 2017 r.