

KRYSTIAN CZERNEK

Wydział Mechaniczny, Politechnika Opolska, Katedra Inżynierii Procesowej, Opole

# Parametry spływającego filmu determinowane zmianą lepkości cieczy

## Wstęp

Przepływ pierścieniowy najczęściej jest definiowany jako przepływ cienkiej warstwy cieczy z powierzchnią swobodną ukształtowaną wskutek działania siły grawitacji, naprężenia ścinającego i innych oddziaływań zewnętrznych. Przepływ taki charakteryzuje się małą, w stosunku do innych wymiarów charakterystycznych [12], grubością filmu cieczy (0,1÷5 mm), co w znaczący sposób wpływa na kształtowanie się jego formy szczegółowej. Częste występowanie na powierzchni międzyfazowej zafalowania o różnej długości i amplitudzie, stanowi istotne utrudnienie w pełnym opisie zjawisk przepływowych. Z punktu widzenia hydrodynamiki zafalowanego filmu cieczy interesującymi wielkościami są przede wszystkim [3–15]: średnia wartość grubości dla różnych stanów powierzchni oraz wartość wielkości określających zmiany stanu powierzchni międzyfazowej. W niniejszej pracy podjęto próbę jakościowego powiązania tych wielkości, ze zmianą lepkości cieczy.

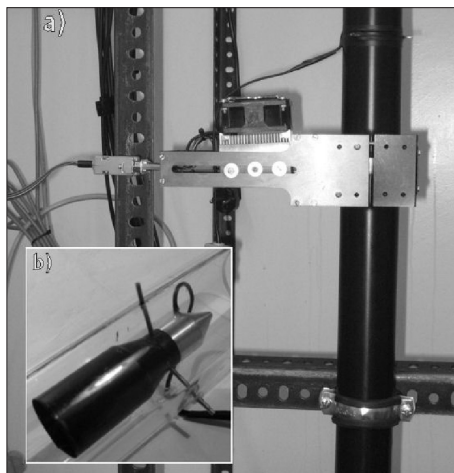
## Wyniki pomiarów i ich analiza

Celem określenia wpływu lepkości na wartość parametrów charakteryzujących spływający film ciekawy przy współprądowym opadającym przepływie pierścieniowym ciecz-gaz, zaprojektowano i zbudowano układ pomiarowy umożliwiający ocenę natury takiego przepływu [1, 2, 11, 15]. System pomiarowy oparty jest o wielokanałową obiektową analizę obrazu, z wykorzystaniem optoelektronicznego systemu analizy obrazu. Pozwoliło to na identyfikację i ocenę parametrów przepływowych filmu cieczy w przepływie pierścieniowym olej-powietrze (Rys. 1).

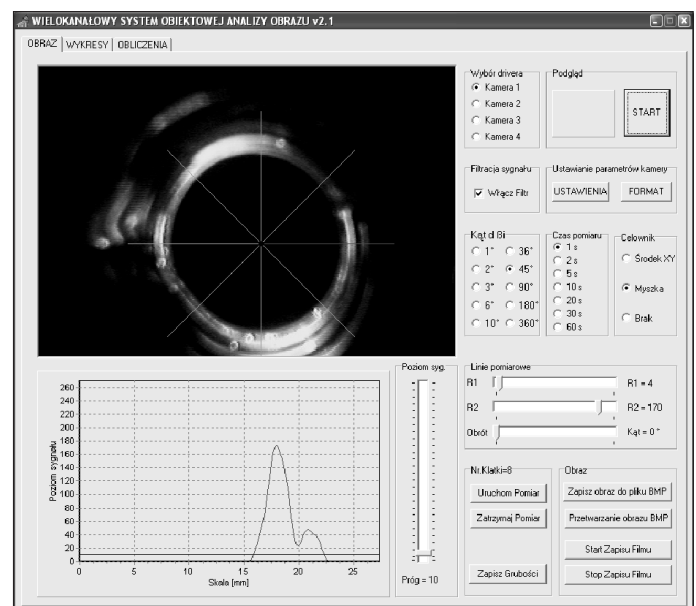
Do badań hydrodynamiki przepływu mieszaniny dwufazowej wykorzystano jako czynniki robocze powietrze i olej. Jako cieczy olejowej użyto oleju grzewczego marki ITERM 30MF. Zakres zmian wartości dynamicznego współczynnika lepkości

tego oleju wynosił  $\eta_c = (0,3 \div 2,2)$  Pa s, a zmiana lepkości dokonywana była poprzez zmianę temperatury cieczy w zakresie (20÷40°C). Badania prowadzono w zakresie wartości prędkości pozornych oleju  $w_{c,0} = (0,001 \div 2,240)$  m/s a powietrza  $w_{g,0} = (0,3 \div 10,1)$  m/s, co pozwoliło na określenie wpływu strumieni poszczególnych faz na charakter tworzących się filmów cieczy. Taki zakres zmian strumieni poszczególnych faz pozwalał na uzyskanie w zastosowanych kanałach pomiarowych zarówno laminarnego jak i burzliwego charakteru przepływu fazy gazowej przy laminarnym przepływie cieczy. Badania prowadzono w rurach o średnicy wewnętrznej odpowiednio 22 oraz 40 mm. Zastosowany do oceny hydrodynamiki filmu cieczy optoelektroniczny układ pomiarowy (dwu- i wielokanałowy), pozwalał na badanie *on-line* stopnia zafalowania filmu cieczy oraz określanie lokalnych zmian grubości przepływających filmów olejowych (Rys. 2). Układ ten stanowi własną koncepcję wykorzystania źródła światła laserowego (barwa czerwona) do oceny warunków badanego przepływu pierścieniowego.

Sposób rozmieszczenia fal w przekroju poprzecznym kanału (oceniany w oparciu o rejestrację fotograficzną oraz obrazy uzyskane z endoskopu) pokrywał się z wcześniej dokonanymi obserwacjami [2]. Obecne badania poparte dużo dokładniejszą metodą pomiarową, potwierdziły występowanie filmów cieczy o znacznym zróżnicowaniu zafalowania. Występowały zarówno gładkie filmy olejowe jak i przepływ pierścieniowy zafalowany, który przechodził w przepływ pierścieniowy hydrauliczny. Na rys. 3 wskazano przykładowe stany powierzchni międzyfazowej, otrzymane dla różnych wartości parametrów przepływowych i właściwości cieczy, jakie uży-



Rys. 1. System obiektowej analizy obrazu: a) układ mocowania; b) zestaw optoelektroniczny



Rys. 2. Panel sterująco-pomiarowy

skano za pomocą wielokanałowego układu optoelektronicznego nowej konstrukcji.

Wielkość i charakter powstających fal o różnej amplitudzie i częstotliwości uzależniona jest głównie od strumienia i lepkości cieczy oraz prędkości fazy gazowej. W wyniku przeprowadzenia obszernych badań stwierdzono występowanie fal o charakterze sinusoidalnym, fal toczących się oraz nieregularnych fal kapilarnych.

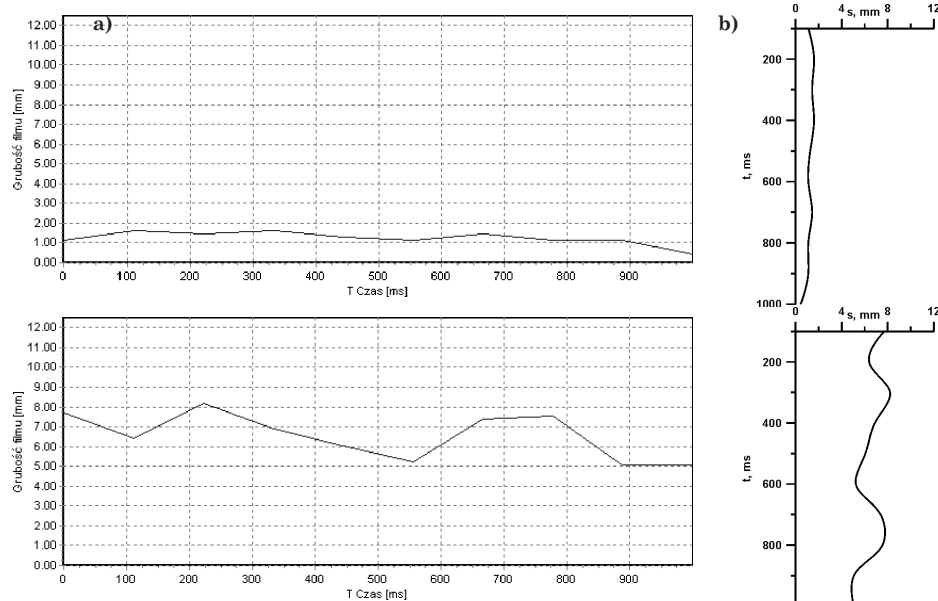
Zastosowanie optoelektronicznego układu pomiarowego umożliwiło określenie średniej wartości grubości przepływających warstw cieczy.

Z analizy otrzymanych danych wynika, że w całym zakresie danych procesowych wszystkie parametry mają istotny wpływ na kształtowanie się grubości filmu cieczy. Wzrost wartości lepkości cieczy jest zawsze powodem wzrostu grubości warstwy cieczy (Rys. 4), natomiast zwiększenie prędkości fazy gazowej, przy stałej prędkości cieczy, prowadzi do pocienienia filmu. Tendencja ta ma miejsce w odniesieniu do wszystkich badanych średnic kanału pomiarowego, w pełnym zakresie zmian lepkości cieczy. Należy jednocześnie zauważyć, że tendencja ta jest szczególnie wyraźna przy burzliwym przepływie fazy gazowej. Natomiast w zakresie małych prędkości fazy gazowej (przepływ laminarny), grubość warstewki cieczy jest bliska wartościom wynikającym ze spływu grawitacyjnego, przy zachowaniu struktury pierścieniowej.

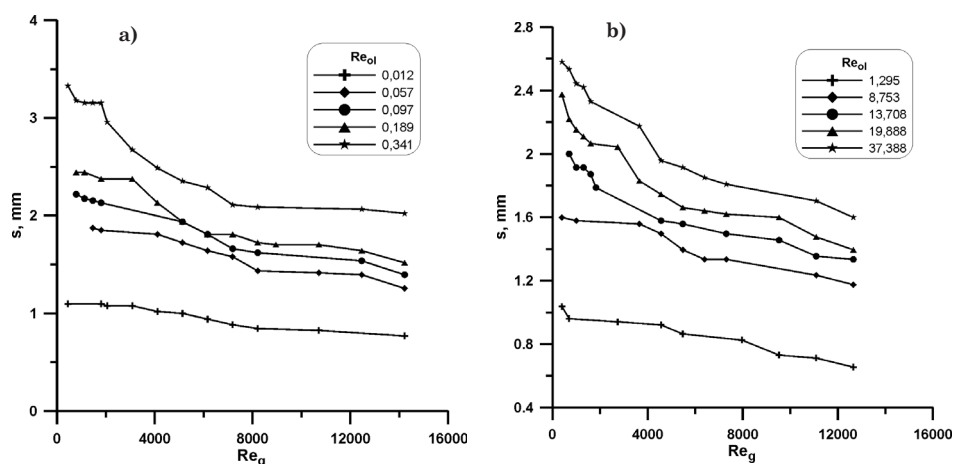
### Wnioski

Przeprowadzona analiza wyników badań wykazała występowanie wielu osobliwości w naturze przepływających filmów cieczy, które tłumaczyć należy zmianą lepkości cieczy. Stwierdzono wyraźny wpływ tego parametru na lokalną i średnią wartość grubości przepływających filmów cieczy, a przy zwiększającej się lepkości – tłumiący wpływ na stopień zafalowania powierzchni międzyfazowej. Wzrost wartości lepkości cieczy jest zawsze powodem wzrostu grubości warstwy cieczy, natomiast zwiększenie prędkości fazy gazowej, przy stałej prędkości cieczy, przyczynia się do pocienienia filmu. Wpływa to w istotny sposób zarówno na kształtowanie się stanu zafalowania powierzchni międzyfazowej, jak i na jej wartość. Oznacza to, że utrzymanie stabilnej (w miarę możliwości) konfiguracji tej powierzchni na całej długości rur aparatu cienkowarstewkowego wymaga utrzymania bardzo ścisłego reżimu przepływu pierścieniowego gaz – ciecz lepka, a jednocześnie przewidywania zmiany lepkości cieczy w warunkach rzeczywistego procesu.

**Praca naukowa finansowana ze środków na naukę w latach 2006–2009 jako projekt badawczy N501.019. 31/1368.**



Rys. 3. Grubość filmu cieczy: a) przepływ laminarny, b) przepływ burzliwy gazu



Rys. 4. Grubość filmu cieczy przy opadającym przepływie dwufazowym powietrza i oleju przy zmiennych warunkach przepływowych: a)  $\eta_c = 2,1 \text{ Pa}\cdot\text{s}$ ; b)  $\eta_c = 0,3 \text{ Pa}\cdot\text{s}$

### LITERATURA

1. K. Czernek: Hydrodynamika pierścieniowego współprądowego przepływu opadającego w rurach pionowych cieczy bardzo lepkiej i gazu, Praca doktorska, Opole, 2004.
2. K. Czernek, S. Witczak: Inż. Ap. Chem., **42**, nr 5s, 49 (2003).
3. X.Z. Du, B.X. Wang, S. R. Wu, S.Y. Jiang: Int. J. Heat and Mass Transfer, nr 45, (2002).
4. S. Jayanti, G. F. Hewitt: Int. J. Heat Mass Transfer, **40**, nr 10, (1997).
5. G. Karimi, M. Kawaji: Chem. Eng. Sci., **53**, nr 20, (1998).
6. M. Ottens, K. Klinkspoor, C.J. Hoefslot: Exp. Ther. and Fluid Sc., nr 19, (1999).
7. C.D. Park, T. Nosoko, S. Gima, S.T. Ro: Int. J. of Heat and Mass Transfer, nr 47, (2004).
8. V. Patnaik, H. Perez-Blanco: Int. J. Heat and Fluid Flow, **17**, nr 1, (1996).
9. A. Skoczyła: Hydrodynamika i wnikanie ciepła w wymiennikach cienkowarstewkowych, wąskoszczelinowych i skrobakowych, Of. Wyd. Politechniki Wrocławskiej, 2001.
10. L. Troniewski: ZN WSI w Opolu, Studia i Monografie, **14**, (1989).
11. S. Witczak, K. Czernek: Inż. Ap. Chem., **43**, nr 3s, 176 (2004).
12. S.V. Makarytchev, T.A.G. Langrish, R.G.H. Prince: NSW, **56**, (2006).
13. S.V. Alekseenko i in.: Wale Flow of Liquid Films, Begell House, NY, 1994.
14. J. Schmidt, H. Giesbrecht, C. W. M. van der Geld: Int. J. of Multiphase Flow, **34**, (2008).
15. K. Czernek, S. Witczak: Inż. Ap. Chem., **45**, nr 6s, 48 (2006).