

MAREK OCHOWIAK

Wydział Technologii Chemicznej, Politechnika Poznańska, Poznań

# Analiza wpływu lepkości cieczy na średnią objętościowo-powierzchniową średnicę kropli w atomizerach typu pęcherzykowego

## Wprowadzenie

W pracy przebadano atomizery typu pęcherzykowego (pieńiącego, musującego) z wewnętrznym mieszaniem gazu z cieczą. Należą one do kategorii atomizerów z wewnętrznym mieszaniem, lecz w przeciwieństwie do innych atomizerów dwufazowych, gaz wtryskiwany jest do cieczy przy bardzo niskiej prędkości [1–3]. Atomizery typu pęcherzykowego zostały zaprojektowane dla różnorodnych zastosowań m.in. turbin gazowych, produktów konsumenckich oraz silników Diesla [4–7]. Do zalet tego typu atomizerów należą m.in.: większe rozmiary otworów wylotowych, niższe ciśnienia wtrysku i natężenia przepływu gazu [1–3].

## Część eksperymentalna i wyniki pomiarów

Przedmiotem pracy była analiza eksperymentalna procesu rozpylania cieczy w układach powietrze-woda i powietrze-wodne roztwory gliceryny o stężeniach: 50, 70, 75 i 85% wagowych gliceryny w roztworze (Tabl. 1) oraz przedstawienie wpływu lepkości cieczy na średnią objętościowo-powierzchniową średnicę kropli ( $d_{32}$ ) opisanej równaniem [8, 9]:

$$d_{32} = \frac{\sum D^3 \Delta n}{\sum D^2 \Delta n} \quad (1)$$

W tym celu wykonano serie zdjęć przy różnych natężeniach przepływu badanych cieczy. Uzyskane wyniki badań przedstawiono graficznie w postaci zależności średniej objętościowo-powierzchniowej średnicy kropli od stosunku masowego natężenia przepływu gazu do masowego natężenia przepływu cieczy ( $m$ ) zdefiniowanego wzorem [9]:

$$m = \frac{\dot{m}_G}{\dot{m}_C} \quad (2)$$

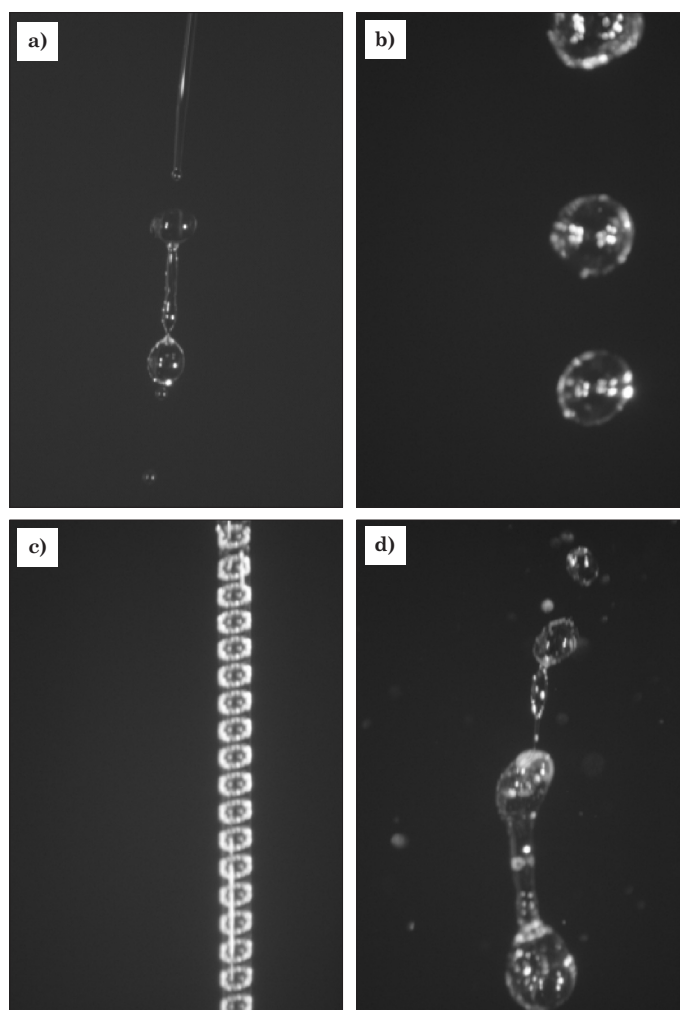
Badania przeprowadzono w zakresach zmienności natężenia przepływu cieczy od 0,0028 do 0,014 [kg/s] i gazu od  $0,32 \cdot 10^{-3}$  do  $1,27 \cdot 10^{-3}$  [kg/s], co odpowiada wartościom stosunku masowych natężeń przepływu gazu do cieczy ( $m$ ) od 0,023 do 0,46.

Tablica 1

Charakterystyka badanych roztworów

| Stężenie gliceryny w roztworze $c$ [%wag.] | Gęstość $\rho$ [kg/m <sup>3</sup> ] | Lepkość $\eta$ [mPa·s] |
|--|-------------------------------------|------------------------|
| 50   | 1127                                | 6,9                    |
| 70   | 1184                                | 14,3                   |
| 75   | 1195                                | 24,9                   |
| 85   | 1222                                | 57,8                   |

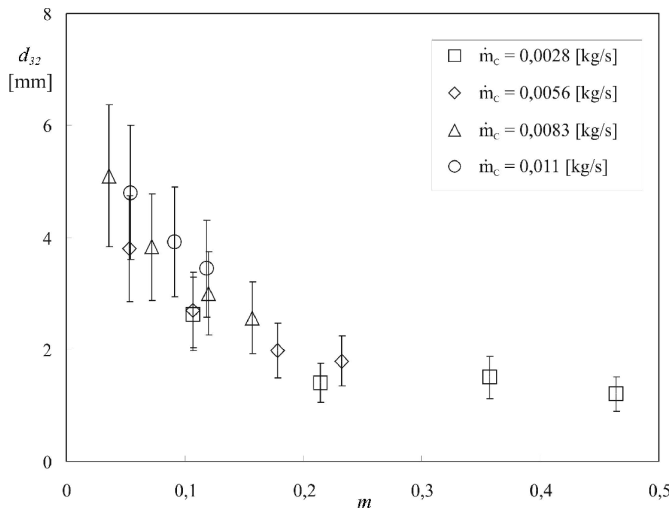
Badania wykonano na stanowisku pomiarowym [10] zaopatrzone w atomizer typu pęcherzykowego o średniej średnicy wylotowej  $d_0 = 3$  mm. Aerator posiadał trzy otwory wylotowe gazu o średnicy  $d_A = 2,6$  mm. Wykorzystano metodę mikrografii cyfrowej (aparatury *Canon EOS 1D* o rozdzielczości 10,1 miliona pixeli). Otrzymane zdjęcia poddano obróbce w programie *Image Pro Plus* firmy *MediaCybernetics Inc.* Analiza procesu rozpylania obejmowała dwa elementy: wizualizację struktury rozpylonej cieczy oraz ocenę statystyczną.



Rys. 1. Przykładowe zdjęcia procesu rozpylania wodnego roztworu gliceryny o stężeniu 85% wagowych przy: a)  $\dot{m}_G = 0,0006$  [kg/s] i  $\dot{m}_C = 0,0056$  [kg/s], b)  $\dot{m}_G = 0,0006$  [kg/s] i  $\dot{m}_C = 0,0083$  [kg/s], c)  $\dot{m}_G = 0,001$  [kg/s] i  $\dot{m}_C = 0,0011$  [kg/s] d)  $\dot{m}_G = 0,0013$  [kg/s] i  $\dot{m}_C = 0,0011$  [kg/s]

Na rys. 1 przedstawiono przykładowe zdjęcia dla procesu rozpylania roztworu o wysokim stężeniu gliceryny 85% wag. uzyskane przy różnych natężeniach przepływu gazu i cieczy. Na podstawie analizy obrazów stwierdzono, że udział masy gliceryny w roztworze, a co się z tym wiąże lepkość cieczy, ma wpływ na parametry charakteryzujące proces rozpylania. Wraz ze wzrostem stężenia gliceryny struga rozpada się coraz trudniej. Zaobserwowano pęcherzyki powietrza w strudze (Rys. 1.c), które obrazują mechanizm rozpylania w dyszach pęcherzykowych [1, 10, 11]. Ciecz o dużej lepkości „zamyka” powietrze w strudze. Im większa jest lepkość cieczy, tym przemieszczanie się pęcherzyków powietrza staje się coraz trudniejsze. Wraz ze wzrostem lepkości cieczy, rozpad pęcherzyków – baniek staje się coraz trudniejszy. Uzyskane krople są coraz większe.

Na podstawie badań stwierdzono, że wraz ze wzrostem stężenia gliceryny struga cieczy rozpada się trudniej. Zaobserwowano pęcherzyki powietrza wbudowane w strugę. Im większa lepkość cieczy, tym przemieszczanie się pęcherzyków powietrza staje się coraz trudniejsze. Natężenie przepływu gazu i cieczy wpływa na średnią średnicę kropli. Im większe natężenie przepływu gazu, tym krople mają mniejsze średnice, natomiast wraz ze wzrostem przepływu cieczy wartość średniej objętościowo-powierzchniowej średnicy kropli wzrasta. Na wartość średniej objętościowo-powierzchniowej średnicy kropli ma wpływ wartość stosunków masowych natężeń. Wraz ze wzrostem  $m$  wartość średniej objętościowo-powierzchniowej średnicy kropli maleje. Wzrost lepkości roztworu wpływa na średnią średnicę krolek  $d_{32}$ . Obrazy graficzne uzyskanych zależności  $d_{32}$  od  $m$  przedstawiono na rys. 3 i 4.

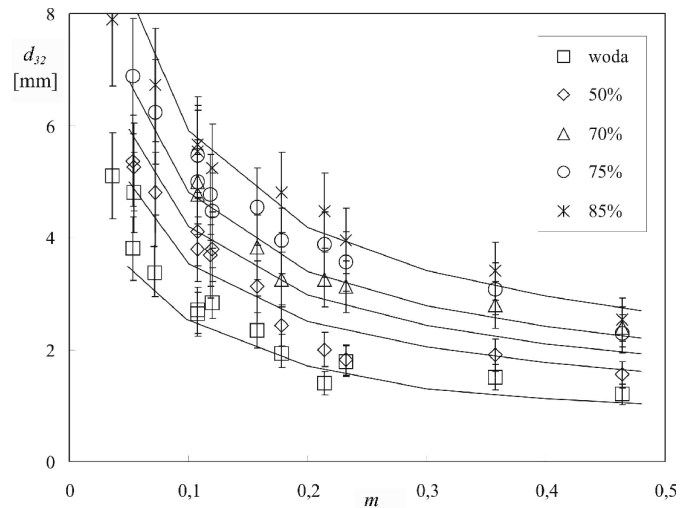


Rys. 3. Wykres zależności  $d_{32}$  od  $m$  dla rozpylania wody

Przeprowadzone badania układów powietrze-woda oraz powietrze-wodne roztwory gliceryny pozwoliły na wyznaczenie zależności opisującej średnią średnicę kropli:

$$d_{32} = C\eta^{0,25} m^{-0,50} \pm 30\% \quad [\text{m}] \quad (3)$$

gdzie wartość stałej  $C$  jest charakterystyczna dla danego układu i zależy od konstrukcji aeratora, konstrukcji dyszy,



Rys. 4. Wykres zależności  $d_{32}$  od  $m$  dla rozpylania wody i wodnych roztworów gliceryny o stężeniach 50, 70, 75, i 85% wag.

średnicy otworu wylotowego. Dla przebadanych układów stała  $C$  przyjmuje wartość  $4 \cdot 10^{-3}$  [ $\text{m}^2/\text{s}/\text{kg}$ ]. Równanie korelacyjne jest słuszne dla przebadanej geometrii dyszy typu pieniącego w ograniczonym badaniach zakresie  $m$ . Badania wykazały, że wartość  $d_{32}$  rośnie wraz z lepkością cieczy  $\eta$  [Pas] w potęgze 0,25.

### Podsumowanie

Na podstawie przeprowadzonej analizy obrazów rozpylanej strugi stwierdzono, że stosunek masowych natężeń przepływu gazu do cieczy, lepkość cieczy oraz konstrukcja dyszy rozpryskowej, w istotny sposób wpływają na zmianę wielkości powstających krolek, a w efekcie na zmianę wartości średniej objętościowo-powierzchniowej średnicy krolek.

Poprzez zwiększanie lepkości rozpylanej cieczy możemy „regulować” i „sterować” takim charakterystycznym parametrem rozpylania, jakim jest średnica powstających krolek. Jest to niezwykle przydatne w praktyce projektowej procesów wymiany ciepła i masy, instalacji myjących oraz w zabiegach agrotechnicznych.

### LITERATURA

1. S.D. Sovani, P.E. Sojka, A.H. Lefebvre: Prog. Energy Comb. Sci. **27**, 483 (2001).
2. A.H. Lefebvre: Part. Part. Syst. Charact. **13**, 205 (1996).
3. Z. Orzechowski, J. Prywer: Wytwarzanie i zastosowanie rozpylonej cieczy, Warszawa, WNT, 2008.
4. E. Sher, T. Bar-Kohany, A. Rashkovan: Prog. Energy Comb. Sci. **34**, 417 (2008).
5. K. Yuan, L. Chen, C. Wu: J. Thermal Sci. **10**, 331 (2001).
6. C.E. Moore: M.Sc. Thesis, Louisiana State University and Agricultural and Mechanical College, 2003.
7. R.O. Colantonio: J. Eng. Gas Turbines Power **120**, 17 (1998).
8. Z. Orzechowski, J. Prywer: Rozpylanie cieczy, Warszawa, WNT, 1991.
9. A.H. Lefebvre: Atomization and Sprays, New York, Hemisphere P.C., 1989.
10. M. Ochowiak, L. Broniarz-Press: Polish J. Chem. Tech. **10**, 38 (2008).
11. K. Joo-Youn, L. Sang-Yong: Trans. Korean Soc. Mech. Eng. **24**, 306 (2000).