

PAWEŁ BUDZYŃSKI  
MAREK DZIUBIŃSKI  
MAGDALENA ORCZYKOWSKA  
ALEKSANDRA WITCZAK-STAWICKA

Wydział Inżynierii Procesowej i Ochrony Środowiska, Politechnika Łódzka, Łódź

# Stopień zatrzymania gazu w reaktorze pulsacyjnym z przegrodami i bez

## Wprowadzenie

Reaktory pulsacyjne mają szczególnie znaczenie w procesach jednostkowych, w których zastosowanie klasycznych mieszadeł jest ograniczone ze względu na przepływ wtórny i promieniowy rozdział faz w reaktorze. Znajdują one zastosowanie w procesach jednostkowych, w których wymagana jest kontrola i sterowanie wielkościami powierzchni kontaktu międzyfazowego oraz w szczególnych przypadkach konieczności zapewnienia sterylności objętości reakcyjnej. Przykładem takiego procesu może być otrzymywanie np. antybiotyków metodą węgelną.

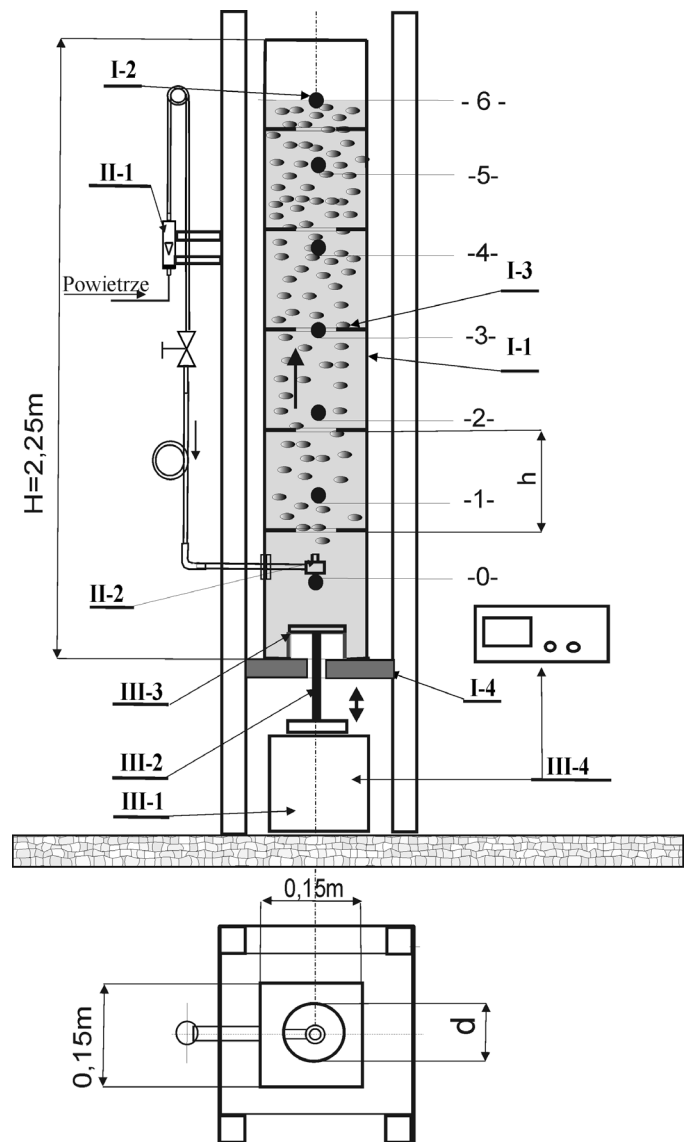
Kluczowym aspektem stosowania reaktorów pulsacyjnych jest możliwość wytworzenia pożądanego stopnia zatrzymania gazu przy użyciu źródła o niskim poborze energii. Główny problem polega na zastosowaniu odpowiedniej częstotliwości i amplitudy pulsacji dla reaktora o określonych rozmiarach oraz dla określonych właściwości fizykochemicznych faz.

W literaturze przedmiotu opublikowano badania dotyczące parametrów pracy reaktorów pulsacyjnych jedynie dla mieszanin woda-powietrze m.in. [1–5], nie ma natomiast doniesień, poza pracą [6], na temat wpływu intensywności pulsacji na hydrodynamikę przepływu gazu przez cieczę o bardziej złożonych właściwościach reologicznych. W niniejszej pracy przedstawiono wyniki badań parametrów pracy reaktorów pulsacyjnych z przegrodami i bez, w których jako fazę ciągłą zastosowano płyny newtonowskie i nienewtonowskie, zaś jako fazę rozproszoną powietrze.

## Stanowisko doświadczalne, metodyka pomiarów i stosowane media

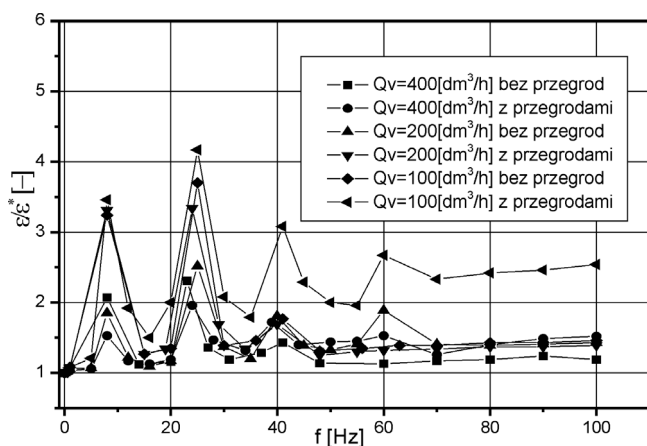
Stopień zatrzymania gazu  $\varepsilon$  określano w oparciu o zmierzona ilość cieczy, która przelała się przez dolną krawędź otworu (I-2) znajdującego się w ścianie reaktora (I-1) o przekroju kwadratu wykonanego ze szkła. Krawędź otworu określała poziom lustra cieczy bez pulsacji i przepływu powietrza. W reaktorze wewnątrz wzdłuż wysokości zamocowane były przegrody kwadratowe z otworami o średnicy  $d = 0,078$  [m], co  $h = 0,1$  m lub  $h = 0,2$  m. Amplitudę pulsacji płytki (III-3) ustalano, ustalając wielkość przesunięcia mimośrodowo (III-2), a częstotliwość pulsacji za pomocą falownika (III-4). Amplitudę  $A$  zmieniano w zakresie od 0,5 do 4 mm, a częstotliwość pulsacji od 0 do 100 Hz. Powietrze dostarczano z sieci poprzez rotametr (II-1) i dalej przewodem zakończonym dyszą (II-2) do reaktora, stosując dysze o średnicach  $d_o = 0,5 \div 4$  mm. Natężenia przepływu powietrza wynosiło od 50 do 400 dm<sup>3</sup>/h.

Jako media newtonowskie stosowano: wodę o lepkości  $\mu = 0,001$  [Pa·s], napięciu międzyfazowym  $\sigma = 726,7 \cdot 10^{-4}$  [N/m]

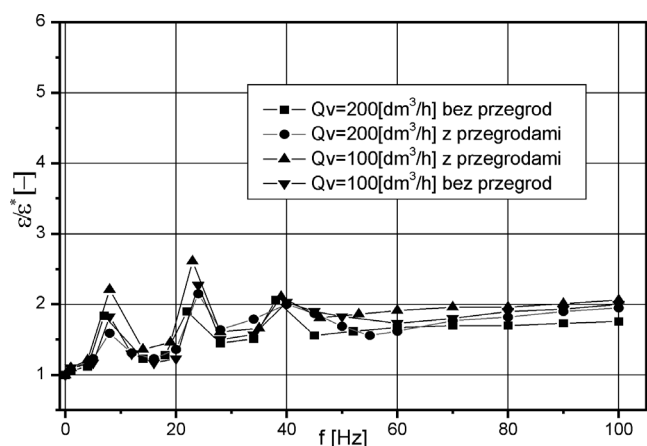


Rys. 1. Schemat stanowiska doświadczalnego

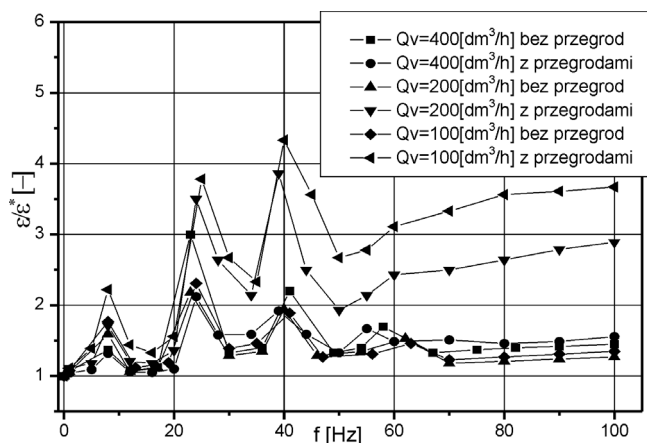
i gęstości  $\rho = 1000$  [kg/m<sup>3</sup>] oraz glikol trójetylenowy:  $\mu = 0,042$  [Pa·s],  $\sigma = 455,0 \cdot 10^{-4}$  [N/m] i  $\rho = 1123$  [kg/m<sup>3</sup>] oraz 0,07% wodny roztwór PAA jako płyn nienewtonowski sprężystolepki, którego właściwości reologiczne, w badanym zakresie szybkości ścinania, można było opisać modelem potęgowym o parametrach  $n = 0,6$  [–] i  $k = 0,036$  [Pa·s<sup>n</sup>],  $\sigma = 740,0 \cdot 10^{-4}$  [N/m],  $\rho = 1001$  [kg/m<sup>3</sup>].



Rys. 2. Wpływ częstości pulsacji na stopień zatrzymania powietrza w wodzie



Rys. 3. Wpływ częstości pulsacji na stopień zatrzymania powietrza w glikolu



Rys. 4. Wpływ częstości pulsacji na stopień zatrzymania powietrza w 0,07% wodnym roztworze PAA

## Omówienie wyników

Wybrane wyniki pomiarów stopnia zatrzymania gazu przedstawiono na rys. 2, 3 i 4 jako zależność stosunku stopnia zatrzymania gazu przy określonych wartościach pulsacji  $\varepsilon^*$  od częstości pulsacji dla przepływu pęcherzy powietrza przez: wodę, glikol i 0,07% wodny roztwór PAA. W pomiarach tych stosowano dyszę o średnicy  $d_0 = 1$  mm, amplitudę pulsacji  $A = 1$  mm i rozstaw przegród  $h = 0,2$  m.

## Podsumowanie i wnioski

Na podstawie przeprowadzonych badań można stwierdzić, że:

1. Wzrost amplitudy i częstości pulsacji powoduje wzrost całkowitego stopnia zatrzymania gazu. Wzrost ten w reaktorach z przegrodami jak i bez przegród nie jest monotoniczny jak to sugerują *Knopf* i wsp. [1] czy *Waghmare* i wsp. [2, 3]. Uzyskane wyniki, porównaj rys. 2, 3 i 4 potwierdzają jednoznacznie konkluzje zawarte w doniesieniach *Krishna* i wsp. [4, 5] oraz *Budzyńskiego* [6], że przy stosowaniu pulsacji o częstościach rezonansowych, w reaktorze występują harmoniczne rezonansowe fale stojące, które powodują istotny bo ponad 400% wzrost stopnia zatrzymania gazu w płynie.
2. Największe efekty wzrostu stopnia zatrzymania gazu uzyskano dla wody i dla 0,07% wodnego roztworu PAA, a słabsze dla glikolu. Potwierdza to fakt, że ze wzrostem lepkości cieczy wzrasta tłumienie pulsacji w cieczy i w efekcie ich oddziaływanie na przepływ pęcherzy jest mniejsze, o czym mogą świadczyć mniejsze wartości stopnia zatrzymania gazu w glikolu, porównaj rys. 3, w stosunku do wartości stopnia zatrzymania powietrza w wodzie czy mało lepkiem wodnym roztworze PAA, porównaj rys. 2 i 4.

**Praca została wykonana w ramach projektu badawczego Nr 1 T09C 019 30 finansowanego przez Ministerstwo Nauki i Szkolnictwa Wyższego.**

## LITERATURA

1. *F.C. Knopf, J. Ma, R.G. Rice, D. Nikitopoulos*: *AIChe J.* **52**, 1103 (2006a,b).
2. *Y.G. Waghmare, F.C. Knopf and R.G. Rice*: *AIChe* **53**, nr 7, 1678 (2007).
3. *Y.G. Waghmare, R.G. Rice and F. Knopf*: *Ind. Eng. Chem. Res.* **47**, 15, 5386 (2008).
4. *R. Krishna, J. Ellenberger*: *Chem. Eng. Sci.* **57**, 4809 (2002).
5. *R. Krishna, J. Ellenberger, M. Jasper van Bate.*: *Chem. Eng. Sci.* **60**, 5962 (2005).
6. *P. Budzyński*: *Chem. Proc. Eng.* **28**, 995 (2007).