

WALDEMAR SZAFERSKI

Wydział Technologii Chemicznej, Politechnika Poznańska, Poznań

# Nakłady energetyczne w układach gaz-ciecz-ciecz mieszanych mechanicznie

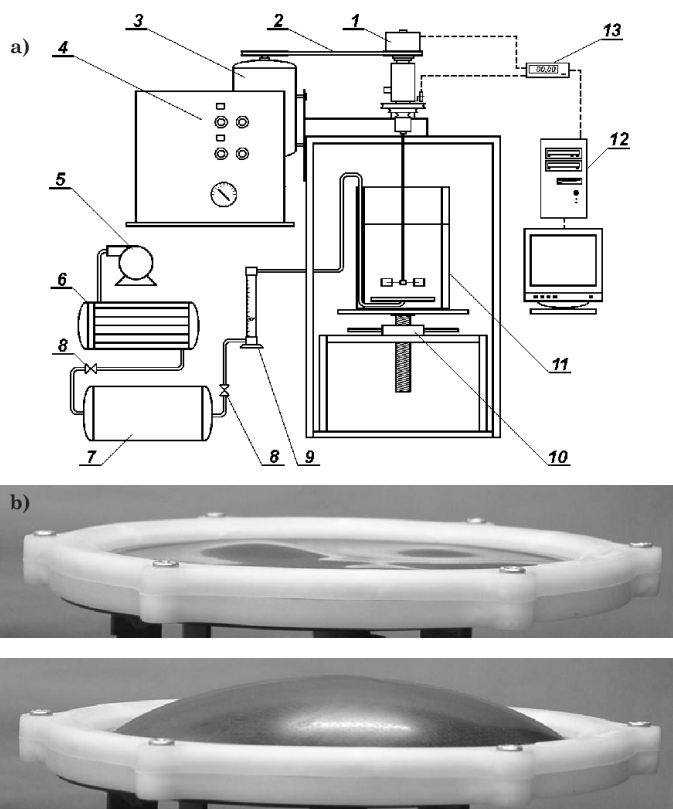
## Wprowadzenie

Mieszalniki z wieloma mieszadłami na wspólnym wale stanowią obszar zainteresowania badaczy ze względu na większą efektywność oraz znacznie dłuższy czas retencji niż w przypadku zastosowania pojedynczego mieszadła. Niektóre mieszadła są zdolne do dyspergowania gazu w cieczy, dobrej wymiany masy oraz osiągania wysokiej wydajności hydraulicznej, przy stosunkowo małych nakładach energii [1–4].

Koszty procesów przemysłowych w głównej mierze są zależne od zużycia energii, dlatego dąży się do optymalizacji wszystkich parametrów związanych z danym procesem, co związane jest z koniecznością poznania hydrodynamiki oraz mechanizmu wymiany masy pomiędzy poszczególnymi fazami. Dla napowietrzanych układów emulsyjnych oraz danego natężenia przepływu gazu prędkość obrotowa mieszadła, które zapewni całkowitą dyspersję, zależy od typu dolnego mieszadła, jego zawieszenia i średnicy. Wytwarzanie układów gaz-ciecz-ciecz w układach wielomieszadłowych jest bardzo istotnym procesem w wielu gałęziach przemysłu między innymi w przemyśle spożywczym, petrochemicznym, chemicznym, farmaceutycznym oraz celulozowo-papierniczym.

## Stanowisko pomiarowe i media robocze

Badania doświadczalne prowadzono w temperaturze 20°C w przezroczystym płaskodennym zbiorniku (Rys. 1a) o średnicy 0,300 m wykonanym z polimetakrylanu metylu. Aparat zaopatrzone był w cztery płaskie przegrody o szerokości 0,026 m, oddalone od ścianek zbiornika o 0,004 m. Aparat wyposażono w dwa mieszadła na wspólnym wale (standardowe turbinowe mieszadła *Rushtona*, mieszadło turbinowe *Smitha* i mieszadła łopatkowe) o średnicy 0,100 m, wysokości zawieszenia względem dna aparatu wynosiła 0,100 m. Były one oddalone od siebie na odległość 0,100 m. Mieszadła zamocowane były na wale wykonanym ze stali kwasoodpornej 1H18N9T o średnicy 0,010 m. W eksperymencie zastosowano chłodzony powietrzem silnik prądu stałego typu PZ Bb32b o mocy 1,1 kW i liczbie obrotów 1500 [obr/min] firmy KOMEL współpracujący z przekładnią pasową umożliwiającą uzyskanie 2500 [obr/min]. Układ napowietrzający zbudowany był z wentylatora, płaszczowo-rurowego wymiennika ciepła, zbiornika wyrównującego ciśnienie, rotametr regulującego natężenie przepływu gazu oraz barbotera w postaci dyfuzora 240 PD o średnicy 240 mm i wysokości 50 mm o wydajności od 0 do 4 [Nm<sup>3</sup>/h], którego pracę przedstawiono na rys. 1b. Dyfuzor 240 PD wytwarzał drobne pęcherzyki o średnicy od 1,8 do 3 mm rozmieszczone równomiernie na całej jego powierzchni. Membrana wykonana z elastomeru odgrywała jednocześnie rolę zaworu zwrotnego zapobiegając



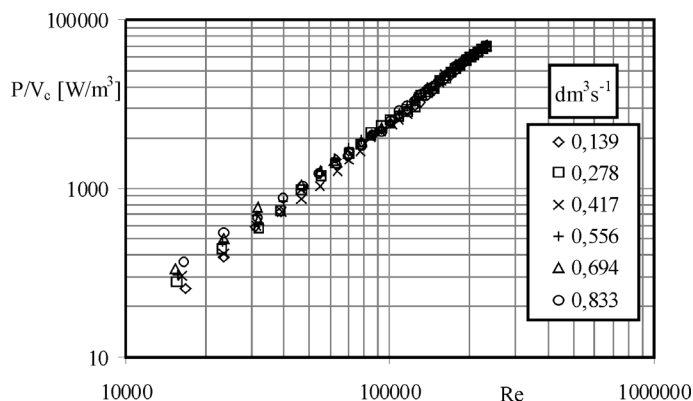
Rys. 1. Schemat stanowiska pomiarowego (a) i pokazującego pracę dyfuzora 240 PD (przy braku przepływu powietrza oraz podczas przepływu powietrza) (b): 1 – tensometryczny momentomierz, 2 – przekładnia pasowa, 3 – silnik, 4 – układ regulacji prędkości obrotowej  $n$ , 5 – wentylator, 6 – płaszczowo-rurowy wymiennik ciepła, 7 – zbiornik wyrównujący ciśnienie, 8 – zawór kulowy, 9 – rotametr, 10 – podnośnik śrubowy, 11 – układ zbiornik-mieszadło-dyfuzor, 12 – komputer, 13 – miernik prędkości obrotowej z automatyczną obróbką danych

powrotnemu napływowi wody w momencie odcięcia zasilania powietrzem.

## Analiza wyników badań

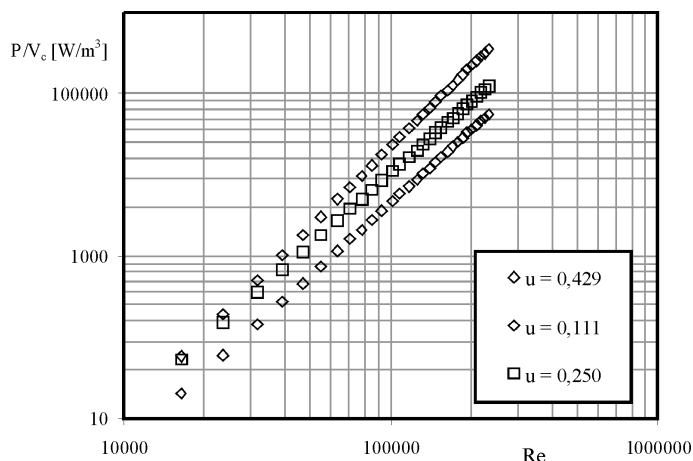
W pracy przeprowadzono analizę zapotrzebowania energii potrzebnej do wytworzenia układu trójfazowego gaz-ciecz-ciecz, zawierającego olej roślinny lub mineralny. Badania przeprowadzono dla udziału objętościowego poszczególnych olejów 10÷30%. W badaniach doświadczalnych użyto oleju mineralnego 20/90 dostarczonego przez *Instytut Technologii Nafty* z Krakowa o następujących parametrach fizykochemicznych:  $\eta = 0,0777$  [Pa·s],  $\rho = 869$  [kg/m<sup>3</sup>].

Na podstawie przeprowadzonych badań wykazano, że wartość jednostkowego zużycia energii  $P/V_c$  nie zależy od obje-



Rys. 2. Przykładowy obraz zależności jednostkowego zużycia energii od liczby Reynoldsa dla mieszadeł turbinowych Rushtona i objętościowego natężenia przepływu gazu w zakresie od 0,139 do 0,833 [dm³/s]

tościowego natężenia przepływu powietrza oraz od odpowiednio zdefiniowanej dla danego układu liczby Reynoldsa, w oparciu o właściwości fizyczne badanej cieczy (Rys. 2), zależy natomiast od udziału fazy olejowej w wytwarzanej mieszaninie trójfazowej (Rys. 3).



Rys. 3. Wpływ udziału fazy olejowej na wartość jednostkowej mocy mieszania dla dwóch mieszadeł turbinowych-tarczowych Smitha przy stałym objętościowym natężeniu przepływu gazu równym 0,278 [dm³·s⁻¹]

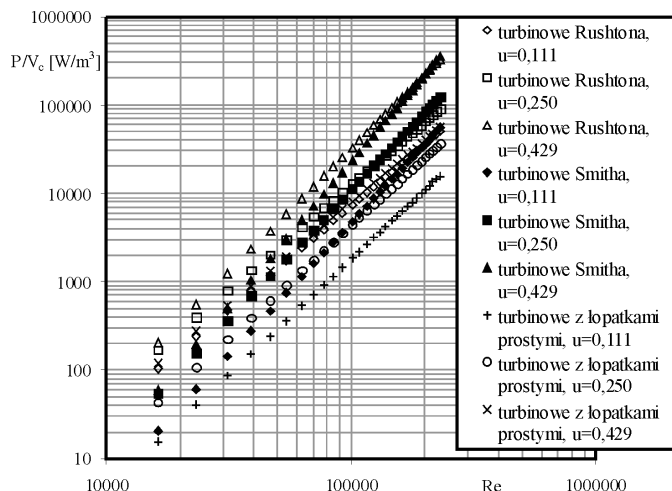
Analiza przebiegu punktów eksperymentalnych wykazała, iż we wszystkich przypadkach wyznaczana zależność ma charakter potęgowej:

$$\frac{P}{V_c} = A Re^B \quad (1)$$

Porównanie wyznaczonych regresyjnie parametrów (Tabl. 1) występujących w równaniu (1) wykazało, że dla wytwarzanych układów wykładniki  $A$  i  $B$  zależą od zmiennego udziału fazy olejowej w mieszaninie  $u$  oraz od rodzaju zastosowanego zestawu dwóch identycznych mieszadeł pracujących na wspólnym wale aparatu (Rys. 4).

### Wnioski

Podczas napowietrzania mieszaniny wody destylowanej i oleju mineralnego 20/90 z wykorzystaniem dyfuzora 240 PD stwierdzono, iż nakłady energetyczne potrzebne do wytworzenia układu gaz-woda-olej zależą od udziału fazy olejowej



Rys. 4. Analiza graficzna wpływu rodzaju zastosowanych mieszadeł i udziału objętościowego fazy olejowej na wartość jednostkowej mocy mieszania

Tablica 1

Zestawienie współczynników zależności (1)

Rodzaj mieszadeł w zestawie	$u$	$A$	$B$
	0,111	$1,46 \cdot 10^{-8}$	2,34
	0,250	$1,76 \cdot 10^{-8}$	2,34
	0,429	$3,70 \cdot 10^{-10}$	2,79
	0,111	$5,62 \cdot 10^{-12}$	2,98
	0,250	$2,65 \cdot 10^{-11}$	2,92
	0,429	$8,96 \cdot 10^{-13}$	3,28
	0,111	$1,52 \cdot 10^{-10}$	2,61
	0,250	$8,13 \cdot 10^{-10}$	2,54
	0,429	$2,09 \cdot 10^{-8}$	2,32

w mieszaninie oraz od rodzaju zastosowanego zestawu mieszadeł, a nie zależą od objętościowego natężenia gazu dostarczanego do aparatu. Na podstawie analizy punktów pomiarowych zaproponowano zależność, która opisuje wpływ udziału oleju na jednostkowe zużycie mocy dla badanych zestawów dwóch mieszadeł na wspólnym wale i dystrybutora gazu, co może być wykorzystane podczas projektowania aparatury przemysłowej

### LITERATURA

1. J. Kamiński: Mieszanie układów wielofazowych, Warszawa, WNT, 2004.
2. W. Szaferski: Badania napowietrzania układów złożonych w mieszalnikach mechanicznych, Rozprawa doktorska, Politechnika Poznańska, Poznań, 2005.
3. L. Broniarz-Press, W. Szaferski: Proceeding of 7th World Congress of Chemical Engineering, Paper No. P42-059, pp. 1-9, Glasgow, 2005.
4. L. Broniarz-Press, W. Szaferski, M. Ochowiak: Polish J. Chem. Tech. 8, nr 4, 42 (2006).