

Jerzy ROKITA

Instytut Maszyn i Urządzeń Energetycznych

MIESZANIE W SKALI MAKROSKOPOWEJ DWÓCH CIECZY
W POMPIE O SWOBODNYM PRZEPIŁYWIE

Streszczenie. Podano i omówiono wyniki badań mieszania w pompie o swobodnym przepływie dwóch cieczy o małych lepkościach i dwóch cieczy zawierających drobnoziarniste ciała stałe. Stwierdzono dobre wymieszanie tych cieczy.

1. Wstęp

Zjawisko mieszania dwóch cieczy w skali makroskopowej polega na wymieszaniu dużych grup cząsteczek. Mieszanie takie można prowadzić w różnego rodzaju mieszalnikach. Szczególnym przypadkiem mieszalnika o działaniu ciągłym może być pompa wirowa. Dwa strumienie cieczy wprowadzone do pompy zostaną w trakcie przepływu przez pompę rozbite na elementy, które zostaną rozmieszczone przestrzennie w objętości strumienia cieczy wypływającego z pompy. Stopień jednolitości przestrzennego rozmieszczenia obu cieczy świadczy o efekcie mieszającym występującym w pompie. Przez stopień jednolitości należy rozumieć stosunek rozproszczenia wzajemnego dwu lub więcej substancji do stanu rozproszczenia idealnego. Można go określić ze wzoru [5]

$$I = \frac{\sum x_i}{n}, \quad (1)$$

gdzie:

n - liczba pobranych próbek,

x_i - względne stężenia pobranych próbek.

Wielkości x_i oblicza się ze wzorów:

$$x_i = \frac{\beta_i}{\beta_{i0}} \quad \text{dla } \beta_i < \beta_{i0}, \quad (2)$$

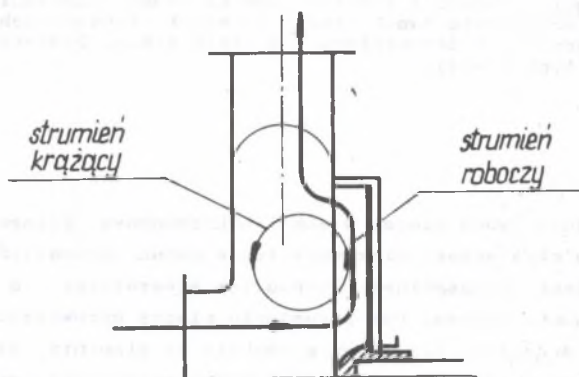
$$x_i = \frac{1 - \beta_i}{1 - \beta_{i0}} \quad \text{dla } \beta_i > \beta_{i0}, \quad (3)$$

przy czym β_1 i β_{10} oznaczają udziały objętościowe analizowanego składnika w i -tej próbce oraz w całej objętości w stanie idealnego rozproszczenia.

Taki sposób określania stopnia jednolitości (stopnia zmieszania) zastosowano w przeprowadzonych badaniach.

2. Procesy hydrodynamiczne w pompie o swobodnym przepływie

Proces hydrodynamiczny w pompie o swobodnym przepływie został wyjaśniony i potwierdzony niezależnie prowadzonymi badaniami [1-4], polegającymi na określaniu pola ciśnień i prędkości cieczy w przestrzeni bezło-



Rys. 1. Schemat przepływu cieczy w przekroju merydionalnym pompy o swobodnym przepływie

patkowej pompy. Stwierdzone zostało istnienie intensywnego krążenia cieczy w płaszczyznach merydionalnych [1-4], na które nakłada się wir potencjalny w płaszczyznach poprzecznych. Schemat krążenia cieczy w pompie o swobodnym przepływie przedstawiono na rysunku 1. Według danych z pracy [2, 3] natężenie przepływu strumienia krążącego jest (w punkcie optymalnej sprawności) 2-3 razy większe od wydajności optymalnej pompy, większa krotność występuje w przypadku pomp o mniejszej szerokości komory bezłopatkowej. Badania [2, 3] wykazały również istnienie intensywnego ruchu krążącego w płaszczyznach prostopadłych do osi pompy. Natężenie przepływu tegoż strumienia (mierzone w półprzekroju merydionalnym komory bezłopatkowej) jest 2-5 razy większe od wydajności pompy (w punkcie optymalnej sprawności), zwiększa się ono w przypadku zmniejszenia szerokości przestrzeni bezłopatkowej.

Natężenie przepływu cieczy przez wirnik pompy o swobodnym przepływie jest w punkcie optymalnej sprawności 3-4 razy większe od wydajności pompy.

Proces działania pompy o swobodnym przepływie cechuje się, więc silnie rozwiniętą burzliwością, szczególnie w obszarze rozdziału strumienia krą-

zącego i strumienia wydajności pompy oraz w obszarze mieszania strumienia krążącego i strumienia dopływającego do pompy.

Można więc oczekiwać, że w pompie o swobodnym przepływie wystąpi w przypadku doprowadzenia dwóch cieczy do króćca wlotowego pompy wyraźny efekt mieszający. Mieszanie to bowiem wystąpi nie tylko w trakcie przepływu cieczy przez wirnik, ale też i w trakcie rozdziału i łączenia się strumienia głównego ze strumieniem krążącym.

3. Cel i zakres badań

Jako cel badań założono określenie na drodze eksperymentalnej stopnia wymieszania dwóch cieczy jednorodnych o małych lepkościach oraz dwóch cieczy zawierających zawiesinę ciał stałych.

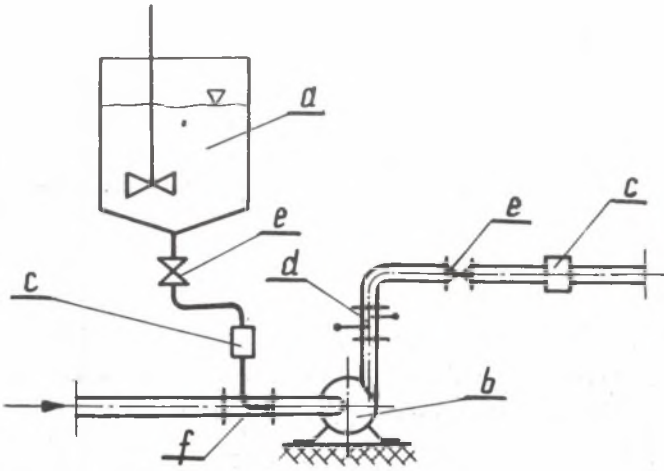
Jako cieczy jednorodne stosowano wodę czystą oraz wodę zabarwioną błękitem metylowym. Jako cieczy zawierające zawiesinę ciał stałych, stosowano mieszaniny wody z suchymi popiołami lotnymi.

Tak pomyślany zakres badań ma uzasadnienie w oczekiwanych i realnych możliwościach wdrożenia pomp o swobodnym przepływie w charakterze mieszalników przepływowych o działaniu ciągłym. W przemyśle chemicznym napotyka się często przypadek mieszania dużych objętości cieczy o małych lepkościach (np. mieszanie benzyn). Również często występuje potrzeba mieszania różnych zawiesin (np. w produkcji nawozów sztucznych).

4. Stanowisko badawcze i pompa eksperymentalna

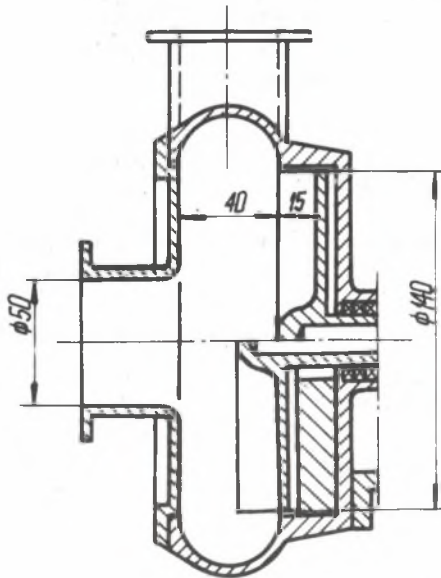
Aby zrealizować zaplanowane badania wykonano stanowisko badawcze, którego schemat przedstawiono na rysunku 2. Zasadniczymi elementami składowymi stanowiska są: zbiornik z mieszadłem oraz pompa o swobodnym przepływie z silnikiem napędzającym osadzonym wahliwie w ramie wsporczej. Do króćca dopływowego pompy o swobodnym przepływie doprowadzane są dwie cieczy mające zostać zmieszane z sobą. Pierwsza z cieczy (o większym objętościowym natężeniu przepływu) doprowadzana jest do pompy spoza stanowiska. Druga ciecz przygotowywana jest w zbiorniku. Istnieje możliwość pomiaru objętościowego natężenia przepływu cieczy doprowadzanej do pompy z zbiornika oraz strumienia cieczy zmieszanych, w rurociągu tłocznym pompy; za pomocą przepływomierzy indukcyjnych uprzednio wzorcowanych. Na stanowisku można również mierzyć ciśnienia w króćcach pompy oraz moc pobieraną przez pompę. System zasuw pozwala dowolnie regulować i odcinać dopływ cieczy zasilającej pompę.

Pompę o swobodnym przepływie zainstalowaną na stanowisku badawczym przedstawiono schematycznie w przekroju na rysunku 3. Wirnik o łopatkach promieniowych w liczbie $z = 10$ ma średnicę zewnętrzzną $d_w = 140$ mm. Może



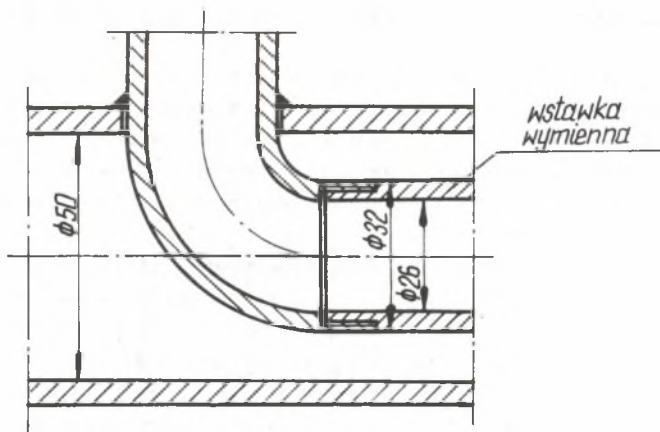
Rys. 2. Schemat stanowiska badawczego

a - zbiornik, b - pompa, c - przepływomierz, d - sondy kontrolne, e - za-
suwa, f - króciec doprowadzający

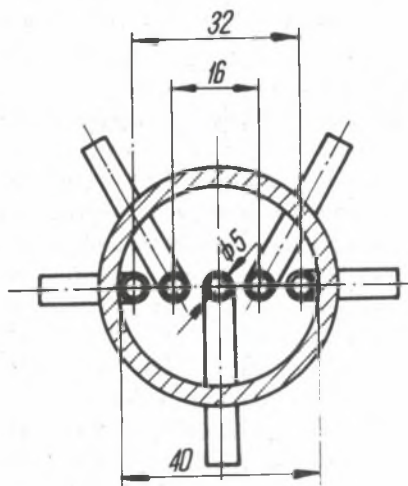


Rys. 3. Schemat części przepływowej pompy o swobodnym przepływie

on być usytuowany w kadłubie zarówno w cylindrycznej wnęce, jak i w obrę-
bie komory bezłopatkowej. Średnica króćca tłocznego wynosi $d_t = 40$ mm,
króćca dopływowego zaś $d_s = 50$ mm



Rys. 4. Króciec doprowadzający pompy



Rys. 5. Rozmieszczenie sond kontrolnych w przekroju króćca tłocznego

Ciecze doprowadzane są do pompy przez odpowiedni króciec (rys. 4), przy czym instalowanie wymiennych wstawek rurowych umożliwia usytuowanie przekroju wypływu cieczy w określonej odległości od wirnika.

Bezpośrednio za króćcem tłocznym pompy przewidziano sondy kontrolne umożliwiające pobranie próbek cieczy z przekroju króćca. Rozmieszczenie sond w przekroju króćca pomiarowego przedstawiono na rysunku 5.

5. Wyniki badań stopnia zmieszania dwóch cieczy o małych lepkościach

Jak wspomniano, badania stopnia zmieszania cieczy o małych lepkościach prowadzono wykorzystując jako czynniki mieszane wodę czystą, oraz 0,01% roztwór błękitu metylowego w wodzie (woda zabarwiona). Roztwór ten preparowano w zbiorniku i przez długie i intensywne mieszanie uzyskiwano stan quasiidealnego wymieszania (stopień wymieszania dla 5 próbek pobranych z różnych miejsc zbiornika $I > 0,995$).

Do pompy doprowadzana była woda zabarwiona (przewodem, którego wypływ był umieszczony koncentrycznie w osi króćca dopływowego) oraz woda czysta ze źródła zewnętrznego. W celu oceny stopnia zmieszania tych dwóch cieczy pobierano próbki cieczy w króćcu tłocznym pompy oraz w odpowiadającym czasie większą objętościowo próbkę na wypływie przewodu tłocznego, którą przez dłuższe mieszanie doprowadzano do stanu wymieszania quasiidealnego. Stan wymieszania próbek określano na drodze fotokolorymetrycznego pomiaru zmian własności optycznych cieczy. Wykorzystano w tym celu kolorymetr spektralny, Spekol produkcji firmy Carl Zeiss Jena. Kolorymetr ten mierzy ekstynkcję (czyli pochłanianie światła przez ośrodek) i działa na zasadzie prawa Lamberta-Beera (zależności pomiędzy intensywnością promieniowania przepuszczanego przez ośrodek, a intensywnością na ten ośrodek padającą). Stopień zmieszania określono w oparciu o zależności (1), (2), (3), traktując wymieszaną większą próbkę jako stan odniesienia. Pomiar stopnia zmieszania prowadzono przy wydajności pompy modelowej równej $Q = 200$ l/min, przy której pompa osiąga największą sprawność. Pomiarów te prowadzono jednak przy różnym udziale objętościowym roztworu zabarwionego w stosunku do łącznego natężenia objętościowego mierzonego za pompą. Udziały te zmieniały się w zakresie od 0,1 do 0,5 i w różnych seriach pomiarowych były nieco inne, ze względu na trudności z ich nastawą.

Przeprowadzono cztery serie pomiarowe:

Seria A. Wirnik pompy był umieszczony we wnęce kadłuba. Wylot przewodu doprowadzającego roztwór barwny w odległości 28 mm od czoła wirnika.

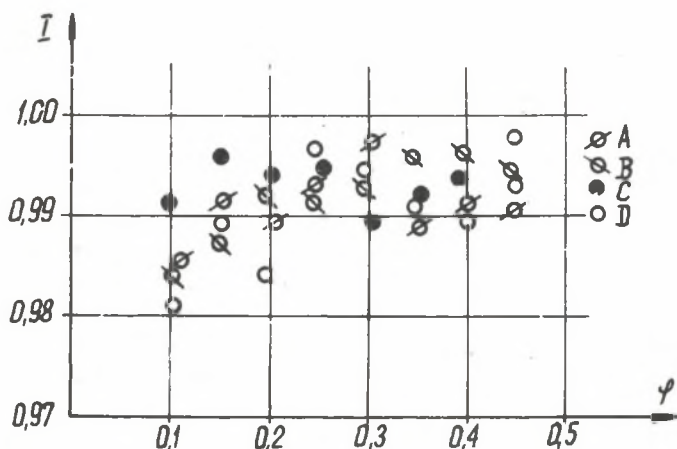
Seria B. Wirnik umieszczony we wnęce kadłuba. Wylot przewodu w odległości 78 mm od czoła wirnika.

Seria C. Wirnik usytuowany w komorze beziłatkowej. Wylot przewodu w odległości 17 mm od czoła wirnika.

Seria D. Wirnik w komorze beziłatkowej. Wylot przewodu w odległości 67 mm od czoła wirnika.

W seriach A i C oraz B i D położenie wylotu przewodu w stosunku do kadłuba pompy było takie same, różnica odległości między wylotem przewodu, a czołem wirnika powstawała w wyniku zmiany położenia samego wirnika.

Wyniki pomiarów stopnia zmieszania I przedstawiono dla wszystkich serii pomiarowych na rysunku 6, w funkcji udziału objętościowego roztworu za-



Rys. 6. Wyniki pomiarów stopnia zmieszania cieczy o małych lepkościach barwionego w objętości mieszaniny przetłaczanej przez pompę - φ . Udział jest więc zdefiniowany:

$$\varphi = \frac{q_{\text{roztw}}}{q_{\text{miesz}}} \quad (4)$$

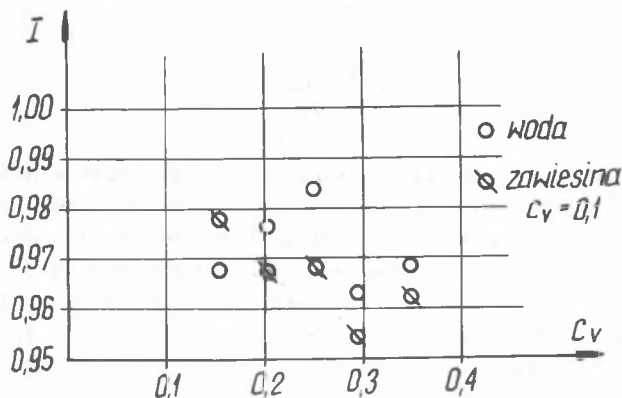
Pomiary stopnia zmieszania wykazały zaskakująco wysoką jednolitość wymieszania obu składników. Obliczone stopnie zmieszania są większe od 0,98, a większość z nich jest większa od 0,99. Nie zauważa się przy tym wpływu usytuowania wirnika i wylotu przewodu dopływowego w króćcu dopływowym na stopień zmieszania. Można natomiast uznać, że pewne pogorszenie stopnia zmieszania ma miejsce przy najniższych udziałach $\varphi \approx 0,1$. Wyrzutowo przeprowadzone badania przy innych wydajnościach pompy przyniosły podobne rezultaty.

Wyniki pomiarów stopnia zmieszania dowodzą, że pompa o swobodnym przepływie spełnia z powodzeniem rolę mieszalnika przepływowego dla cieczy o małych lepkościach. Nieistotność innych wpływów związanych z ukształtowaniem części przepływowej pompy dowodzi, że efekt mieszający uzyskiwany jest głównie w wyniku łączenia się i rozdziału strumienia roboczego i oyrkującego.

6. Wyniki badań stopnia zmieszania cieczy zawierających drobnoziarniste ciała stałe

Badania stopnia zmieszania cieczy zawierających drobnoziarniste ciała stałe prowadzono wykorzystując jako czynniki mieszane zawiesiny popiołów lotnych w wodzie. Użyte do badania popioły miały gęstość $\rho = 2,03 \text{ kg/dm}^3$, a ponad 80% ich masy miało uziarnienie poniżej 0,075 mm.

W zbiorniku preparowano kolejno zawiesinę popiołów w wodzie o koncentracjach objętościowych: $c_v = 0,15; 0,20; 0,25; 0,30$ i $0,35$. Przez intensywne zmieszanie uzyskiwano w zbiorniku stopień wymieszania $I > 0,98$ (dla 5 próbek pobranych z różnych miejsc). Mieszano ją w stosunku 1:2 z wodą lub zawiesiną popiołów w wodzie o koncentracji objętościowej fazy stałej $c_v = 0,10$. Podobnie jak to opisano w pkt. 5 pobierano próbki z króćca tłocznego pompy oraz większą objętościowo próbkę na wypływie przewodu tłocznego, którą przez dłuższe mieszanie doprowadzano do stanu wymieszania quasiidealnego. Stan wymieszania próbek określano na drodze pomiaru ich gęstości. Stopień zmieszania określano podobnie jak w pkt. 5.



rys. 7. Wyniki pomiarów stopnia zmieszania cieczy zawierających drobnoziarniste ciała stałe

Pomiary stopnia zmieszania prowadzono również przy wydajności pompy modelowej równej $Q = 200 \text{ l/min}$. Ze względu na większe trudności związane z obsługą badań przeprowadzono je przy niezmiennym położeniu wirnika (wirnik w komorze bezłopatkowej) oraz przy niezmiennym usytuowaniu przewodu doprowadzającego gęstsza zawiesinę (wylot w odległości 67 mm od czoła wirnika).

Wyniki pomiarów stopnia zmieszania I przedstawiono na rysunku 7, na funkcji udziału objętościowego fazy stałej w zawieszynie gęstszej.

Pomiary stopnia zmieszania wykazały dobrą jednolitość wymieszania obu składników mieszaniny. Obliczone stopnie zmieszania są większe od 0,95. Zauważyć można jednak tendencję zmniejszania się stopnia zmieszania przy najwyższych koncentracjach objętościowych fazy stałej w zawieszynie preparowanej. Świadczy to o pewnym utrudnieniu we wzajemnym wnikaniu i rozdzielaniu się strumieni dwufazowych. Natomiast nie zaobserwowano różnic w osiąganych wartościach stopni zmieszania, gdy jako ciecz o większym natężeniu przepływu stosowano wodę bądź słaboskoncentrowaną zawieszinę popiołów w wodzie.

Wyniki przeprowadzonych badań wykazały, że pompa o swobodnym przepływie może być wykorzystana jako mieszalnik przepływowo dla mieszanin i zawiesin ciał stałych w cieczach.

7. Podsumowanie

Na podstawie badań stwierdzono, że pompa o swobodnym przepływie może być wykorzystywana z powodzeniem jako mieszalnik przepływowo w procesach mieszania, ujednorodniania i homogenizacji cieczy o lepkościach zbliżonych do lepkości wody oraz zawiesin drobnoziarnistych ciał stałych w cieczach. Wymogi technologiczne są spełnione w rezultacie osiągnięcia wysokich stopni zmieszania. Badania prowadzono używając pompy małej. W większych egzemplarzach można oczekiwać korzystniejszych efektów wymieszania, głównie ze względu na intensyfikację burzliwości przepływu cieczy w pompie.

Ustosunkowania się wymaga jeszcze wielkość zużycia energii w procesie mieszania w pompie. Pompa pełni podwójną rolę: urządzenia przetłaczającego oraz mieszalnika przepływowego. Efekt mieszający jest efektem ubocznym i sam przez się nie powoduje wzrostu zużycia energii. Pobór energii przez pompę wynika więc jedynie z tytułu jej działania przetłaczającego. Rozwiązanie konstrukcyjne pompy o swobodnym przepływie do ciągłego mieszania cieczy jest zastrzeżone [6].

LITERATURA

- [1] Grabow G.: Untersuchungen an Freistrompumpen, w: Internationales Symposium: Pumpen und Verdichter, Leipzig, 1970.
- [2] Grabow G.: Untersuchung der Energieübertragung an das Fördermedium im Arbeitsraum von Freistrompumpen mit Hilfe von Geschwindigkeits- und Druckverteilungsmessungen, Maschinenbautechnik, nr 2, 1970.
- [3] Ohba H. i inni: A study of Performance and Internal Flow Pattern of a Vortex Pump, Bull. of the ISME, No 162, 1978.
- [4] Schivley G.P., Dussourd J.L.: An Analytical and Experimental Study of a Vortex Pump, Journal of Basics Engineering, Nr 12, 1970.

- [5] Stręk F.: Mieszanie i mieszalniki, WNT, Warszawa 1971.
[6] Wzór użytkowy PRI, nr 36021..

Recenzent: doc. dr inż. Jerzy Rożkowski

СМЕШИВАНИЕ В МАКРОСКОПИЧЕСКОМ МАСШТАБЕ ДВУХ ЖИДКОСТЕЙ
В НАСОСЕ СВОБОДНОГО ТЕЧЕНИЯ

Р е з ю м е

В статье подано и оговорено результаты испытаний смешивания в насосе свободного течения двух жидкостей небольшой вязкости и двух жидкостей содержащих мелкозернистые твердые частицы. Обнаружено хорошую смешиваемость этих жидкостей.

TWO LIQUIDS MIXTURE IN A PUMP WITH FREE FLOW CONSIDERED
IN MACROSCOPIC SCALE

S u m m a r y

Results of experiments with mixture in a pump with free flow of two liquids with free flow of two liquids with small viscosity and liquids with fine-grained solid bodies are presented. Good intermix of these liquids has been observed.