

Mgr inż. Maciej KABZIŃSKI
 Prof. dr hab. inż. Mirosław GRZESIK
 Katedra Inżynierii i Aparatury Przemysłu Spożywczego
 Wydział Technologii Żywności
 Uniwersytet Rolniczy w Krakowie

STANOWISKO BADAWCZE DO MIESZANIA NIENIUTONOWSKICH PŁYNÓW SPOŻYWCZYCH®

Research stand for mixing non-Newtonian food fluids®

Słowa kluczowe: mieszanie, płyny nieniutonowskie, właściwości reologiczne, stanowisko badawcze.

W pracy przedstawiono stanowisko badawcze, za pomocą którego może być realizowany cykl badań operacji mieszania nieniutonowskich płynów spożywczych. Stanowisko wyposażone jest w aparaturę pomiarową w postaci obrotomierza i czujnika momentu obrotowego oraz w oprogramowanie umożliwiające rejestrację i przetwarzanie danych. Uzyskane parametry operacji mieszania oraz parametry reologiczne posłużą do budowy modeli mieszania strukturalnych płynów spożywczych z uwzględnieniem zmian ich charakterystyk reologicznych w czasie.

Key words: mixing, non-Newtonian fluids, rheology, research stand.

The paper presents a research stand for studies of mixing of non-Newtonian food fluids. The stand is equipped with a tachometer and torque sensor and software enable recording and processing the measurements' data. The resulting parameters of the mixing process and the rheological parameters can be used to develop models for the mixing of non-Newtonian fluids, including their changes in rheological characteristics in time.

WSTĘP

Mieszanie w przemyśle spożywczym wykorzystywane jest szeroko w produkcji różnorodnych ciast [9], sosów, musztard, a także koncentratów zup [6]. Ponadto etap mieszania występuje w procesie produkcji kremów, margaryn i past [1, 4].

Opisywaną operację prowadzi się w celu wytworzenia jednolitego roztworu lub zawiesiny, intensyfikacji wymiany ciepła i masy zarówno w układach czysto fizycznych, jak i połączonych z reakcją chemiczną [11]. Mieszanie umożliwia kształtowanie właściwości sensorycznych i tekstury produktu [1], co ma bardzo duże znaczenie w przetwórstwie spożywczym.

Wśród znacznej liczby układów poddawanych mieszaniu w przemyśle spożywczym znaczące miejsce zajmują płyny nieniutonowskie o właściwościach reologicznych zmieniających w czasie. Charakteryzują się one tym, że ich lepkość pozorna (stosunek naprężenia ścinającego do szybkości ścinania) przy ustalonych parametrach ciśnienia i temperatury nie jest wielkością stałą, jak w przypadku cieczy newtonowskich, lecz zależy od wielu innych czynników [11].

Układami wykazującymi przedstawione właściwości mogą być zawiesiny skrobi natywnych i modyfikowanych oraz ich mieszaniny z dodatkiem innych polisacharydów spożywczych [8]. Właściwości tych zawiesin mogą być modyfikowane przez dodatek różnorodnych polisacharydów nieskrobiowych. Są one stosowane w celu zagęszczania, żelowania oraz stabilizowania [3, 10], a także podczas opracowywania nowych produktów o określonej teksturze oraz jako zamienniki niektórych składników [5, 8].

Należy podkreślić, że zrozumienie charakterystyk reologicznych ma niezwykle istotne znaczenie dla działań mających na celu zwiększanie stabilności emulsji i pian [5, 7], co jest bezpośrednio związane z optymalizacją procesu technologicznego, jakością produktu oraz jego trwałością [2].

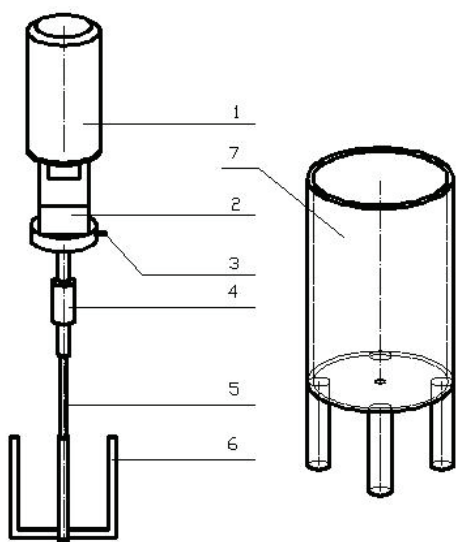
W związku z powyższym, ważnym zagadnieniem jest wytworzenie odpowiedniej aparatury badawczej umożliwiającej korelowanie charakterystyk mechanicznych operacji mieszania z cechami reologicznymi mieszanych substancji.

Celem artykułu jest przedstawienie stanowiska badawczego (wraz z aparaturą badawczą), zbudowanego w Katedrze Inżynierii i Aparatury Przemysłu Spożywczego Uniwersytetu Rolniczego w Krakowie, umożliwiającego prowadzenie w/w badań.

STANOWISKO BADAWCZE

Prezentowane stanowisko umożliwia odwzorowanie wykonywania operacji technologicznych w skali ćwierćtechnicznej. W jego skład wchodzi następujące elementy (rys. 1):

- uchwyt układu napędowego wraz silnikiem i przekładnią zębatą
- aparatura pomiarowa
- komplet mieszadeł
- zbiornik cylindryczny (o średnicy $D = 240$ mm, wysokości $H = 360$, pojemności roboczej 12 litrów)
- komputer z autorskim oprogramowaniem.



Rys. 1. Schemat stanowiska badawczego: 1 – silnik, 2 – przekładnia, 3 – obrotomierz, 4 – czujnik momentu obrotowego, 5 – wał mieszadła, 6 – mieszadło, 7 – zbiornik.

Fig. 1. Scheme of the research stand: 1 – engine, 2 – gear, 3 – tachometer, 4 – torquemeter, 5 – stirrer’s shaft, 7 – tank.

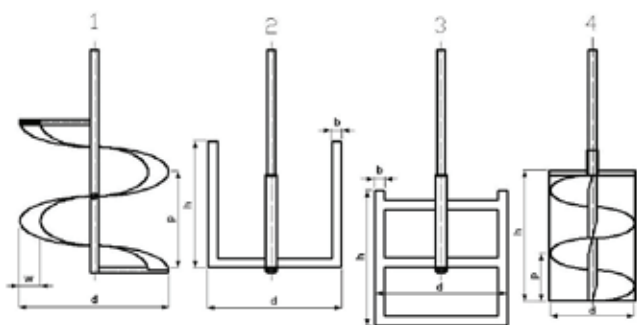
Źródło: Materiały własne

Elementem napędowym mieszalnika jest silnik SKg 71-6B2 (producent: Besel SA Brzeg), o mocy 0,25 kW, zasilany energią elektryczną o napięciu 380V.

Przeniesienie napędu odbywa się za pomocą przekładni MH 141-105/14 (producent: Mechanika Maszyn Kacperk, Warszawa) o przełożeniu równym 10,86, zapewniającym redukcję nominalnej liczby obrotów silnika wynoszącej 900 min⁻¹ (przy częstotliwości prądu 50 Hz) do 83 min⁻¹.

Z kolei aparaturę pomiarową stanowi czujnik momentu obrotowego (model: NCTE 2200-7,5) wraz ze wskaźnikiem MD100M (producent: WOBit Poznań) oraz obrotomierz P120 (producent: Lumel SA Zielona Góra).

Najważniejszą częścią wyposażenia stanowiska, ze względu na prowadzenie procesu, jest komplet mieszadeł, a więc łopatkowe, turbinowe oraz, zalecane do mieszania cieczy wysokolepkich [4, 7]: kotwicowe, ramowe, wstęgowe a także ślimakowe z dyfuzorem własnej konstrukcji. Przedstawiono je na rysunku 2.



Rys. 2. Mieszadła: 1 – wstęgowe, 2 – kotwicowe, 3 – ramowe, 4 – ślimakowe w dyfuzorze.

Fig. 2. Stirrers: 1 – ribbon stirrer, 2 – anchor stirrer, 3 – frame stirrer, 4 – screw stirrer with diffuser.

Źródło: Materiały własne

Inwarianty geometryczne mieszadeł podano w tabeli 1.

Tabela 1. Inwarianty geometryczne stosowanych mieszadeł

Table 1. Geometric invariants of applied stirrers

Mieszadło	Inwariant geometryczny	Wartość
wstęgowe	D/d	1,132
	w/d	0,137
	p/d	0,665
kotwicowe i ramowe	D/d	1,26
	h/d	0,95
	b/d	0,07
ślimakowe	D/d	0,5
	p/d	0,75
	h/d	1,5

Źródło: Opracowanie własne

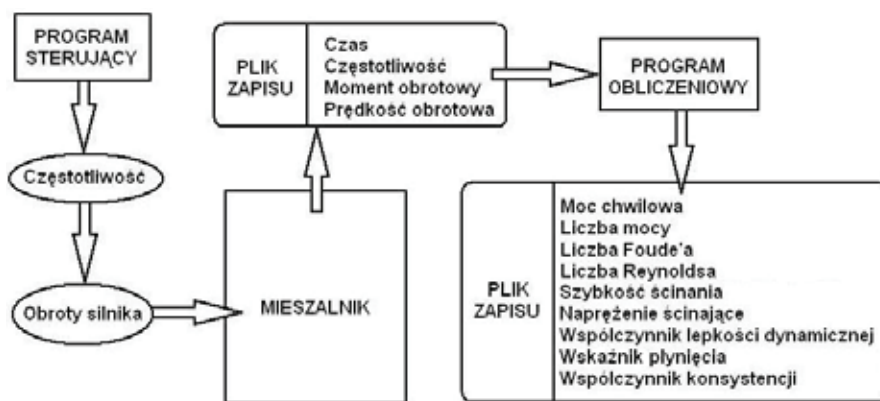
Sterowanie napędem odbywa się zdalnie za pomocą stworzonego oprogramowania opartego o środowisko LabVIEW. Zadając określoną częstotliwość program komunikuje się za pośrednictwem bramy EKI-1222 przy wykorzystaniu protokołu Modbus z przemiennikiem częstotliwości ESMO152LATXA (serii Lenze SMD) regulującym pracę silnika. Zastosowanie przemiennika częstotliwości umożliwia regulację liczby obrotów silnika w zakresie od 10 do 100 obrotów na minutę, z dokładnością wynoszącą 1 obrót na minutę.

Równoległe następuje odczyt bieżącej wartości momentu obrotowego na wale mieszadła oraz odczyt liczby obrotów mieszadła. Komunikacja programu ze wskaźnikiem czujnika momentu obrotowego odbywa się za pomocą łącza RS 232, natomiast przesyłanie danych z obrotomierza jest możliwe przy pomocy protokołu Modbus. Ponadto program sterujący posiada funkcję rejestrowania uprzednio wymienionych wielkości w formie pliku tekstowego.

Kolejną cechą omawianego stanowiska jest możliwość przetwarzania danych zbieranych na bieżąco podczas prowadzenia pomiaru. Odbywa się to za pośrednictwem autorskiego narzędzia, również opartego o środowisko LabVIEW, wyposażonego w funkcje odtwarzania plików tekstowych, wykonywania operacji matematycznych oraz powtórzonego zapisu plików. Przetwarzanie danych pomiarowych przez program obejmuje obliczanie podstawowych wielkości służących do opisu operacji mieszania, to jest mocy chwilowej, liczb kryterialnych: (Froude’a, Reynoldsa) i wartości parametrów reologicznych, takich jak szybkość ścinania oraz naprężenie ścinające (wraz z obliczaną na ich podstawie lepkością pozorną), a także współczynnika konsystencji oraz wskaźnika płynięcia.

Zastosowane oprogramowanie umożliwia obróbkę danych do ośmiu plików jednocześnie. Obliczanie dalszych wielkości reologicznych, takich jak wskaźnik płynięcia oraz współczynnik konsystencji, a także wizualizacja przetworzonych danych pomiarowych odbywa się za pomocą środowiska Gnuplot. Program ten, poza tworzeniem wykresów, posiada możliwość dopasowywania równań do zbiorów danych metodą najmniejszych kwadratów.

Schemat przepływu i przetwarzania danych przedstawiono na rysunku 3.



Rys. 3. Schemat przepływu i przetwarzania danych na stanowisku badawczym do mieszania nieniutonowskich płynów spożywczych.

Fig. 3. Scheme of data transferring and acquisition in research stand for mixing non-Newtonian food fluids.

Źródło: Materiały własne

PODSUMOWANIE

Opisywane stanowisko zbudowane w Katedrze Inżynierii i Aparatury Przemysłu Spożywczego Uniwersytetu Rolniczego w Krakowie umożliwiło rozszerzenie zakresu możliwości badawczych o zagadnienia związane ze zużyciem energii oraz charakterystyką reologiczną badanych mieszanin. Wyniki badań uzyskiwanych na tym stanowisku mogą służyć do budowy modeli matematycznych mieszania różnorodnych układów nieniutonowskich, ze szczególnym uwzględnieniem płynów o właściwościach reologicznych zmiennych w czasie. Aktualnie, konstruowane są kolejne typy mieszadeł oraz zbiornik z króćcem służącym do dystrybucji gazu, co umożliwi prowadzenie badań również w układach trójfazowych (na przykład układy: ciało stałe – ciecz – gaz).

Nieskomplikowana konstrukcja i łatwe do skompletowania i wykonania elementy stanowiska, a co za tym idzie ich relatywnie niewielki koszt, w połączeniu z odpowiednimi wirtualnymi narzędziami obliczeniowymi pozwalają na wykonywanie badań mieszania płynów o właściwościach reologicznych zmiennych w czasie w szerokim zakresie zmian parametrów procesowych.

LITERATURA

- [1] CULLEN P.J. 2009. Food Mixing: Principles and Applications. John Wiley & Sons Ltd, 1-4.
- [2] GAMONPILAS C., W. PONGJARUVAT W., FUONGFUCHAT A., METHACANON P., SEETAPAN N., THAMJEDSADA N. 2011. Physicochemical and rheological characteristics of commercial chili sauces as thickened by modified starch or modified starch/xanthan mixture. Journal of Food Engineering, nr 105, 233-240.
- [3] GOMEZ-DIAZ D., NAVAZA J.M. 2004. Rheology of food stabilizers blends. Journal of Food Engineering, nr 64, 143-149.
- [4] KUNCEWICZ Cz. 2012. Mieszanie cieczy wysoko-lepkich. Wydawnictwo Politechniki Łódzkiej, Łódź, 28.
- [5] LI Y.M., XU G.Y., XIN X., CAO X.R., WU D. 2008. Dilational surface viscoelasticity of hydroxypropyl methylcellulose and CnTAB at air-water surface. Carbohydrate polymers, nr 72, 211-221.
- [6] MARTINEZ-PADILLA L.P., CORNEJO-ROMERO L., CRUZ-CRUZ C.M., JAQUEZ-HUACUJA C.C. 1998. Rheological characterization of a model food suspension containing disc using three different geometries. Journal of Food Process Engineering, nr 22, 55-79.
- [7] PIKOŃ J. 1979. Podstawy konstrukcji aparatury chemicznej. Cz. II. Elementy aparatury chemicznej. Państwowe Wydawnictwo Naukowe, Warszawa, 415-419.
- [8] SARKER M.Z.I., ABD ELGADIR M., FERDOSH S., AKANDA M.J.H., ADITIAWATI P., NODA T. 2013. Rheological behavior of starch-based biopolymer mixtures in selected processed foods. Starch, nr 65, 73-81.
- [9] SHEHZAD A., HIRON H., DELLA VALLE G., LAMRINI B., LOURDIN D. 2012. Energetical and rheological approaches of wheat flour dough mixing with a spiral mixer. Journal of Food Engineering, nr 110, 60-70.
- [10] DA SILVA COUTINHO M., FERNANDES DA SILVA D.C., XAVIER G.R., RUMJANEK N.G., DE OLIVEIRA P.J. 2012. Rheological and Morphological Properties of Carboxymethylcellulose/Starch Blends with or without ZnO and Their Applications as Inoculant Carrier. Macromolecular Symposia nr 319, 222-229.
- [11] STREK F. 1971. Mieszanie i mieszalniki. Wydawnictwo Naukowo-Techniczne, Warszawa, 51-73.