

Mgr inż. Maciej KABZIŃSKI
Katedra Inżynierii i Aparatury Przemysłu Spożywczego
Wydział Technologii Żywności
Uniwersytet Rolniczy im. Hugona Kołłątaja w Krakowie

ASPEKTY PRAKTYCZNE PROCESU HOMOGENIZACJI W PRZEMYSŁE SPOŻYWCZYM®

Artykuł przedstawia proces homogenizacji stosowany w przemyśle spożywczym, podaje jego definicję oraz celowość stosowania jako środka do uzyskania emulsji spożywczych o zwiększonej trwałości. Ukazuje mechanizm tej operacji na przykładzie przemysłu mleczarskiego oraz parametry technologiczne takie jak ciśnienie homogenizacji, temperaturę oraz zawartość tłuszczu w surowcu. Uwzględnia także parametry geometryczne zaworu homogenizującego mające wpływ na efektywność procesu homogenizacji, oraz na jego energochłonność. Ponadto w artykule opisano podstawowe metody badania skuteczności procesu homogenizacji.

Słowa kluczowe: homogenizacja ciśnieniowa, mechanizm procesu homogenizacji, efekt homogenizacji.

WSTĘP

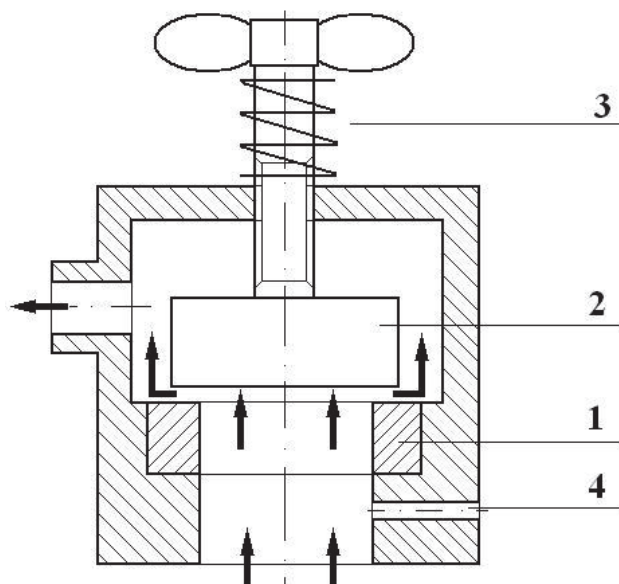
Homogenizacja ciśnieniowa jest procesem jednoczesnego rozdrobnienia i ujednorodnienia cząstek fazy rozproszonej w fazie ciągłej [4]. W przetwórstwie mleka terminem tym określa się operację mechaniczną prowadzącą do zmniejszenia przeciętnej średnicy i zawężenia rozkładu wymiaru kuleczek tłuszczowych. W wyniku homogenizacji maksymalna średnica kuleczek tłuszczu nie przekracza 2 mikrometrów, przez co uzyskuje się mleko o równomiernym rozmieszczeniu tłuszczu, co zapobiega śmietankowaniu [1]. Ponadto, zmianom stopnia dyspersji tłuszczu mleka towarzyszy wzrost lepkości produktu, co daje wrażenie pozornie większej zawartości tłuszczu i pełniejszego smaku [13], a także zwiększa przyswajalność przez organizm człowieka składników odżywczych z pożywienia [10]. Stosowanie homogenizacji ciśnieniowej powoduje korzystne zmiany tekstury, koloru oraz wydłuża trwałość produktu [1].

Homogenizacji poddawane są produkty spożywcze, takie jak: mleko i jego przetwory oraz soki owocowe i owocowo-warzywne, a także majonezy i odżywki dla dzieci [12]. Produkty te zajmują znaczące miejsce w diecie pokarmowej człowieka.

Celem artykułu jest przedstawienie zagadnień i problemów występujących podczas procesu homogenizacji ciśnieniowej i ich wpływu na skuteczność tego procesu.

MECHANIZM PROCESU HOMOGENIZACJI

Z punktu widzenia procesowego, homogenizacja ciśnieniowa jest metodą mechanicznej obróbki ciekłych niejednorodnych układów wielofazowych pozwalającą na zwiększenie stabilności struktury obrabianego układu [3]. Efekt ten uzyskuje się w wyniku procesu jednoczesnego rozdrobnienia i mieszania cząstek fazy rozproszonej, podczas przetwarzania ciekłego układu fazowo niejednorodnego pod wysokim ciśnieniem rzędu 15-25 MPa przez szczelinę homogenizującą, utworzoną pomiędzy gniazdem i grzybkiem zaworu homogenizującego [3, 4] (rys. 1).



Rys. 1. Schemat zaworu homogenizującego:
1 - gniazdo zaworu, 2 - grzybek z przewodnikiem,
3 - śruba regulacyjna ze sprężyną, 4 - zawór bez-
pieczeństwa.

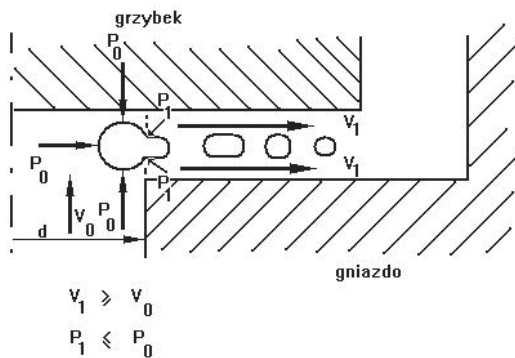
Źródło: 1979. Kierunki badań głowic homogenizujących. Przemysł Spożywczy nr 5. [8]

Wynik procesu homogenizacji przedstawia się najczęściej jako wypadkową oddziaływania:

- wysokości szczeliny w zaworze homogenizującym,
- ciśnienia homogenizacji,
- temperatury ośrodka homogenizowanego.

W zaworze homogenizującym podczas przepływu cieczy poddawanej homogenizacji z otworu w gnieździe do szczeliny homogenizującej (między grzybkiem a gniazdem), gwałtownie zmienia się przekrój w rezultacie czego gwałtownym zmianom ulegają również prędkości przepływu i ciśnienie statyczne [10]. Powoduje to stopniową deformację a następnie całkowity rozpad kuleczek tłuszczu [10]. W zmiennych warunkach przepływu zachodzi zjawisko kawitacji, podczas którego w szczelinie homogenizatora następuje rozdrabnianie kuleczek tłuszczu przepływającego mleka. Ciśnienie

w szczelinie homogenizatora ulega gwałtownemu spadkowi tuż za wejściem do szczeliny, ze względu na zwiększenie prędkości zawiesiny [6]. Może się ono obniżyć poniżej wartości ciśnienia nasyconej pary nad powierzchnią cieczy, co skutkuje tym, że ciecz zaczyna odparowywać i tworzą się w niej pęcherzyki pary. Występowanie zmian ciśnienia w szczelinie homogenizującej powoduje zapadanie się pęcherzyków i powstanie bardzo dużych lokalnych gradientów ciśnienia wywołujących fale, których częstotliwość rezonansowa w stosunku do własnych drgań kuleczek powoduje rozdrabnianie, gdy wartość krytyczna amplitudy zostanie przekroczona [6]. Istnieje również pogląd, że kuleczki są wprawiane w ruch obrotowy, a występująca siła odśrodkowa powoduje rozdrobienie dużych kuleczek tłuszczu na wiele mniejszych [2, 6]. Mechanizm homogenizacji ilustruje (rys. 2).



Rys. 2. Mechanizm homogenizacji.

Źródło: Maszyny przemysłu spożywczego. Przemysł mleczarski. Wyd. Naukowe Politechniki Lubelskiej, Lublin 1997. [10]

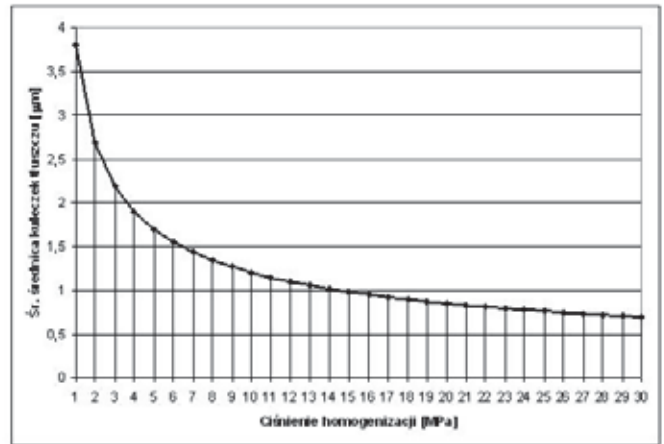
WPŁYW WYBRANYCH PARAMETRÓW NA SKUTECZNOŚĆ HOMOGENIZACJI

Pośród czynników mających wpływ na skuteczność, a co za tym idzie celowość homogenizacji, ciśnienie jest parametrem najistotniejszym [10]. Jego wzrost wpływa korzystnie na efekt homogenizacji. Zwiększenie ciśnienia jest związane ze wzrostem gabarytów samego urządzenia, co z kolei wymusza dobór odpowiednich materiałów oraz uszczelnień i jest podstawowym parametrem od którego zależą wymiary homogenizatorów [10]. Ponadto, wartość ciśnienia warunkuje zużycie energii podczas homogenizacji i odgrywa decydującą rolę w aspekcie trwałości eksploatacyjnej homogenizatorów [10].

Wpływ ciśnienia na skuteczność homogenizacji (wyrażoną jako średnią średnicę kuleczek tłuszczu) dobrze ilustruje (rys. 3).

Z analizy danych powyższego wykresu wynika, że wraz ze wzrostem ciśnienia wzrasta stopień rozdrobnienia kuleczek tłuszczu, przy czym przy wzroście ciśnienia do około 20 MPa stopień rozdrobnienia kuleczek tłuszczu wzrasta stosunkowo szybko, zaś przy dalszym – nieznacznie.

Zależność między średnicą kuleczek tłuszczu po homogenizacji, a zastosowanym ciśnieniem można przedstawić za pomocą następującego wzoru [11]:



Rys. 3. Wpływ ciśnienia homogenizacji na skuteczność homogenizacji – zależność wartości średniej średnicy kuleczek tłuszczu d_{sr} od ciśnienia homogenizacji Δp .

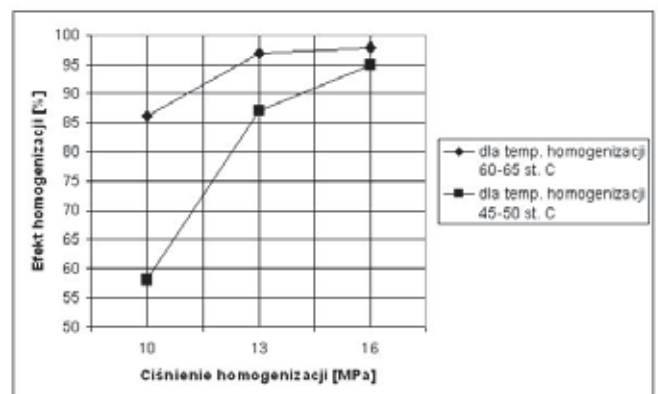
Źródło: 1980. Metodyka obliczeń homogenizatorów. Przemysł Spożywczy nr 1. [11]

$$d_{sr} = \frac{3,8}{\sqrt{\Delta p}} [\mu m] \quad (1)$$

Gdzie: d_{sr} – średnia średnica kuleczek tłuszczu po homogenizacji

Δp – ciśnienie homogenizacji [MPa]

Temperatura jest (oprócz ciśnienia) jednym z podstawowych parametrów decydujących w istotny sposób zarówno o przebiegu homogenizacji, jak i o jej efekcie (rys. 4). Wywiera ona istotny wpływ zarówno na stopień dyspersji kuleczek tłuszczu, jak też na skłonność do tworzenia się gronek po homogenizacji oraz na barwę mleka i stabilizację białka [10]. Zgodnie z obowiązującymi w Polsce instrukcjami, temperatura wejścia na homogenizator w przypadku mleka powinna wynosić od 318 K do 338 K [9].



Rys. 4. Wpływ temperatury na skuteczność procesu homogenizacji.

Źródło: 1980. Kierunki oszczędności energii w procesie homogenizacji. Przemysł Spożywczy, nr 6, [9].

Na skuteczność procesu wpływa również stężenie fazy tłuszczowej w ośrodku poddawany homogenizacji – wzrost zawartości tłuszczu w ośrodku powoduje zmniejszenie efektu homogenizacji [2].

Należy mieć na uwadze, że istnieje zależność pomiędzy długością szczeliny homogenizującej a wartością ciśnienia homogenizacji zapewniającego uzyskanie pożądanego efektu homogenizacji [5]. Optymalna długość szczeliny homogenizującej wg Komsty wynosi od 5,5 do 8,5 mm (w przypadku homogenizowania mleka o stężeniu fazy tłuszczowej wynoszącym 0,052 kg/kg) i zapewnia uzyskanie wymaganego efektu homogenizacji już przy stosowaniu ciśnienia homogenizacji wynoszącego 11 MPa [2].

Sumaryczny wpływ ciśnienia homogenizacji, długości szczeliny homogenizującej oraz stężenia fazy tłuszczowej w surowcu na skuteczność homogenizacji (wyrażoną jako efekt homogenizacji) można opisać za pomocą równania regresji (2) wyznaczonego przez Komstę [2].

$$E = 29,280 + 3,635 \cdot P_h + 7,877 \cdot L_h - 0,053 \cdot P_h^2 - 0,327 \cdot L_h^2 - 0,175 \cdot P_h \cdot L_h - 15,813 \cdot L_h \cdot C_r \quad (2)$$

gdzie: E – efekt homogenizacji [%]
 P_h – ciśnienie homogenizacji [MPa]
 L_h – długość szczeliny homogenizującej [m]
 C_r – stężenie fazy tłuszczowej w surowcu [kg/kg]

Wysokość szczeliny homogenizującej nie stanowi decydującego parametru wpływającego na skuteczność procesu [11].

Przez wzgląd na wspomnianą konieczność stosowania wysokich wartości ciśnień proces homogenizacji jest procesem bardzo energochłonnym [9], dlatego dobór parametrów pracy homogenizatora ze względu na racjonalne zużycie energii przy równoczesnym zachowaniu wymaganej jakości produktu ma bardzo duże znaczenie.

Do obliczania mocy niezbędnej do pracy homogenizatora stosuje się wzór (3) [11]:

$$N = \frac{V P_0}{\eta} [W] \quad (3)$$

gdzie: V – wydajność homogenizatora
 P_0 – ciśnienie przed zaworem homogenizującym [Pa]
 η – współczynnik sprawności mechanicznej, $\eta=0,75$

METODY OCENY PROCESU HOMOGENIZACJI

Podstawowymi wskaźnikami określającymi skuteczność homogenizacji są: średnia średnica kuleczek tłuszczu ośrodka oraz efekt homogenizacji. Zależność średniej średnicy kuleczek tłuszczu od ciśnienia homogenizacji jest bardzo istotna, gdyż łączy efekt homogenizacji z podstawowym parametrem decydującym o konstrukcji homogenizatorów, jakim jest ciśnienie homogenizacji. Zależność tą opisuje wzór (1), przedstawiony w poprzednim rozdziale.

Efekt homogenizacji jako miara dyspersji fazy rozproszonej definiowany jest stosunkiem procentowym kuleczek rozdronionych o określonym wymiarze do ogólnej ilości cząstek fazy rozproszonej [10]. Efekt ten zależy od wielu czynników: ciśnienia homogenizacji, lepkości homogenizowanej

zawiesiny, temperatury zawiesiny oraz wydajności procesu [6], a także: długości szczeliny homogenizującej oraz stężenia fazy tłuszczowej w ośrodku poddawanym homogenizacji [2]. Nie mniej istotna jest konstrukcja oraz stan techniczny samego homogenizatora [7].

Efekt homogenizacji ocenia się metodą mikroskopową oraz podstojową. Metoda mikroskopowa polega na pomiarze średnicy kuleczek tłuszczu za pomocą mikroskopu wyposażonego w mikromierz. W poszczególnych polach widzenia oblicza się ogólną liczbę kuleczek tłuszczu oraz liczbę kuleczek o średnicy powyżej 2 mikrometrów. Wyniki oblicza się odejmując od ogólnej liczby kuleczek tłuszczu (100%) udział procentowy kuleczek tłuszczu o średnicy większej niż 2 mikrometry.

Metoda podstojowa polega na tym, że określoną ilość mleka w wyskalowanym cylindrze Hennera o pojemności 250 ml przechowuje się w lodówce w temperaturze 5-10 stopni Celsjusza przez 48 godzin (wg normy amerykańskiej) lub 72 godziny (wg normy duńskiej), a następnie określa się zawartość tłuszczu w górnej jednej dziesiątej części mleka oraz zawartość tłuszczu w pozostałej części mleka [10]. Przy skutecznej homogenizacji nie powinna pojawiać się na powierzchni układu poddanego homogenizacji zauważalna warstwa śmietanki, a zawartość procentowa tłuszczu (we wzorze (4) oznaczona jako „x”) w górnej jednej dziesiątej części objętości badanej mleka nie powinna przekraczać 10% zawartości tłuszczu (we wzorze oznaczona jako „y”) w pozostałej części mleka [10].

Opisywany wyżej parametr jakościowy obliczany jest za pomocą wzoru (4):

$$E = \frac{y}{x} \cdot 100 \quad [\%] \quad (4)$$

Metoda podstojowa jest obecnie stosowana rzadko. Za wykorzystaniem metody mikroskopowej przemawiają przede wszystkim względy praktyczne: jest ona mniej pracochłonna, nie wymaga przechowywania próbek od dwóch do trzech dni, tak jak w przypadku metody podstojowej. Umożliwia kontrolowanie efektywności procesu homogenizacji praktycznie na bieżąco w toku produkcji.

PODSUMOWANIE

Proces homogenizacji ciśnieniowej jest jedną z najważniejszych operacji technologicznych, mających wpływ na zwiększenie trwałości i kształtowanie pożądaných przez konsumentów cech organoleptycznych emulsji spożywczych. Spośród parametrów decydujących o jego skuteczności, ciśnienie jest parametrem najistotniejszym – w największym stopniu wpływa na zmniejszanie średnic cząstek fazy tłuszczowej w ośrodku poddawanym homogenizacji, i warunkuje energochłonność procesu. Homogenizacja stanowi wyzwanie dla konstruktorów homogenizatorów, aby przy jak najmniejszym zużyciu energii otrzymywać produkt o zadowalających parametrach jakościowych.

Skuteczność procesu homogenizacji możemy opisywać za pomocą wielkości zwanej efektem homogenizacji, który określa procentowy udział kuleczek tłuszczu o wymiarze mniejszym bądź równym 2 mikrometry do ogólnej liczby kuleczek tłuszczu w ośrodku homogenizowanym. Należy

zaznaczyć, że efekt homogenizacji powinien być większy bądź równy 90% [5].

LITERATURA

- [1] **KOEHLER K. I IN. 2008.** *Design of a Microstructured System for the Homogenization of Dairy Products at High Content Part II Influence of Process Parameters.* Chemical Engineering & Technology, nr 12.
- [2] **KOMSTA H. 2000.** Analiza procesów homogenizacji ciśnieniowej emulsji i zawiesin w przemyśle spożywczym. Rozprawa habilitacyjna. Wydawnictwo AR w Lublinie, Lublin.
- [3] **KOMSTA H., ŁUKASIK K. 2008.** *Badania charakterystyki drgań zaworu homogenizującego.* Inżynieria Rolnicza, nr 9.
- [4] **KOMSTA H., OLSZEWSKI K. 2006.** *Modernizacja układu regulacji ciśnienia homogenizacji.* Inżynieria Rolnicza, nr 5.
- [5] **KOMSTA H. 1996.** *Wpływ konstrukcji zaworu homogenizującego na efektywność pracy homogenizatora.* Budowa i Eksploatacja Maszyn w Przemysle Spożywczym. VII Konferencja Naukowo-Techniczna. Bydgoszcz.
- [6] **LEWICKI P. 2005.** Inżynieria procesowa i aparatura przemysłu spożywczego. WNT Warszawa.
- [7] **POPKO H., POPKO R. 1981.** *Badanie wpływu konstrukcji zaworów homogenizujących na energochłonność procesu homogenizacji.* Przemysł Spożywczy, nr 2.
- [8] **POPKO H. I IN. 1979.** *Kierunki badań głowic homogenizujących.* Przemysł Spożywczy, nr 5.
- [9] **POPKO H., POPKO R. 1980.** *Kierunki oszczędności energii w procesie homogenizacji.* Przemysł Spożywczy, nr 6.
- [10] **POPKO H., POPKO R. 1997.** *Maszyny przemysłu spożywczego. Przemysł mleczarski.* Wyd. Naukowe Politechniki Lubelskiej, Lublin.
- [11] **POPKO H. I IN. 1980.** *Metodyka obliczeń homogenizatorów.* Przemysł Spożywczy, nr 1.
- [12] **POPKO H. 1981.** *Podstawy teorii homogenizacji.* Materiały I Krajowej Konferencji Uczelniano-Przemysłowej, pt.: „Homogenizacja w przemyśle spożywczym”, zorganizowanej przez Zakład Maszyn Spożywczych Politechniki Lubelskiej w czerwcu 1981 r. Wyd. Naukowe Politechniki Lubelskiej, Lublin.
- [13] **ZIAJKA S. 1997.** *Mleczarstwo. Zagadnienia wybrane.* T. 1. Wydawnictwo ART, Olsztyn.

PRACTICAL ASPECTS OF THE HOMOGENIZATION PROCESS IN FOOD INDUSTRY

SUMMARY

Paper presents issue of homogenization in food industry, starting from the definition, and the appropriateness of its use as a means to obtain a food emulsion with increased stability. Then, the mechanism of this operation is shown on the example of the dairy industry and the technological parameters such as: pressure, temperature, and the fat content in the raw material. Also presents geometric parameters of homogenizing valve influencing the efficiency of homogenization and energy consumption. In addition, this paper describe methods for testing efficiency of homogenization.

Key words: *pressure homogenization, homogenization mechanism, homogenization effect.*