

Artur Popko¹

PROGRAMOWANIE PROCESU EMULGACJI CIŚNIENIOWEJ Z WYKORZYSTANIEM APLIKACJI MATLAB MATHWORKS

Streszczenie. Opracowano mechanizm współdziaływania podstawowych parametrów procesu ciśnieniowego emulgowania, ciśnienia i temperatury, fizycznych właściwości emulsji, ilościowego udziału fazy rozproszonej emulsji. Sformułowano matematyczny model procesu uwzględniający wpływ tych parametrów na wartość wymiaru charakterystycznego cząstek fazy rozproszonej emulsji. Umożliwia on ustalania racjonalnych parametrów procesu, a w szczególności ciśnienia, niezbędnego do uzyskania wymaganego rozproszenia emulsji.

Słowa kluczowe: emulsja wodno-olejowa, emulgacja ciśnieniowa, wymiar charakterystyczny cząstki, faza rozproszona.

WPROWADZENIE

Emulgacja jest procesem wytwarzania emulsji, tzn. ciekłego układu dwufazowego niemieszających się cieczy. Polega na dyspergowaniu, rozdrabnianiu cząstek cieczy, fazy rozproszonej w cieczy stanowiącej fazę ciągłą emulsji. W wyniku emulgacji następuje rozdrobnienie i ujednorodnienie cząstek fazy rozproszonej emulsji, których ilość wzrasta najczęściej około 200–500 razy, a ich sumaryczna powierzchnia zwiększa się około 6–8 razy [1, 2, 5, 8, 10].

W procesie emulgacji ciśnieniowej podstawowymi parametrami warunkującymi wartość wymiaru charakterystycznego cząstki fazy rozproszonej są: ciśnienie emulgacji, temperatura oraz fizyczne właściwości emulsji: napięcie międzyfazowe, współczynnik lepkości dynamicznej fazy rozproszonej emulsji, gęstość fazy rozproszonej emulsji, gęstość fazy ciągłej emulsji, procentowy udział fazy rozproszonej emulsji [3, 6, 8, 9]. Dyspergowanie cząstek fazy rozproszonej emulsji jest wynikiem działania sił tnących i sił tarcia, wywołanych znacznymi gradientami prędkości [7, 8, 9]. Należy jednak podkreślić, że proces emulgacji ciśnieniowej jest jeszcze mało poznany. Wyniki badań są fragmentaryczne, dotyczą w zasadzie określonych zakresów zastosowania, szczególnie w przemyśle spożywczym. Brakuje wyczerpujących badań obejmujących całokształt problematyki umożliwiających utworzenie algorytmów postępowania mających na celu otrzymanie emulsji o założonych wymiarach cząstek fazy rozproszonej [3, 4, 6, 8].

¹ Katedra Podstaw Techniki, Politechnika Lubelska.

MODEL MATEMATYCZNY EMULGACJI CIŚNIENIOWEJ

Przeprowadzono badania i analizy wpływu ciśnienia, temperatury i zawartości fazy rozproszonej na wartość ekwiwalentnego wymiaru charakterystycznego d_{cze} dyspergowanych cząstek fazy rozproszonej emulsji [6–9]. Uzyskane wyniki umożliwiają sformułowanie stwierdzenia, że w procesie emulgacji ciśnieniowej podstawowymi parametrami warunkującymi wartość wymiaru charakterystycznego cząstki fazy rozproszonej są:

- parametry procesu:
 - ciśnienie emulgacji,
 - temperatura emulgacji.
- fizyczne właściwości emulsji:
 - napięcie międzyfazowe,
 - współczynnik lepkości dynamicznej fazy rozproszonej emulsji,
 - gęstość fazy rozproszonej emulsji,
 - gęstość fazy ciągłej emulsji,
 - współczynnik wydatku,
 - współczynnik oporu aerodynamicznego cząstki fazy rozproszonej emulsji.
- zawartość (%) fazy rozproszonej emulsji.

Uwzględniając opracowane zależności [6, 7, 9] uogólnioną postać matematycznego modelu mechanizmu emulgacji ciśnieniowej można przedstawić w postaci wzoru:

$$d_{cze} = \frac{2\rho_{cz} \left(4\sigma + \frac{1}{k} \mu \varphi \sqrt{\frac{2p}{\rho_{cz}}} \right)}{C_x \rho_s p \varphi^2} \quad (1)$$

gdzie:

- d_{cze} – ekwiwalentny wymiar charakterystyczny cząstki fazy rozproszonej,
- σ – napięcie międzyfazowe,
- μ – współczynnik lepkości dynamicznej fazy rozproszonej emulsji,
- φ – współczynnik efektywności wydatku,
- k_t – współczynnik korekcyjny rodzaju emulsji,
- ρ_{cz}, ρ_s – gęstości odpowiednio fazy rozproszonej i fazy ciągłej,
- p – ciśnienie emulgacji,
- S_v – procentowy udział fazy rozproszonej emulsji,
- C_x – współczynnik oporu aerodynamicznego.

oraz współczynniki zawartości fazy rozproszonej emulsji i wpływu temperatury [7, 9] w postaci zależności:

$$k_{S_v} = 0,9529 + 0,0594 S_v - 0,0013 S_v^2 \quad (2)$$

gdzie:

$$k_{S_v} = f(S_v)$$

$$k_t = 6,3775 - 0,046 t + 8,748E - 5 t^2 \quad (3)$$

Skąd ciśnienie emulgacji niezbędne do uzyskania emulsji o wymaganej wartości wymiaru charakterystycznego cząstek fazy rozproszonej można przedstawić za pomocą zależności:

$$p = \frac{4\rho_{cz}k_{S_v} \left(\frac{\mu^2}{k_t^2} + \frac{2}{k_{S_v}} \sigma d_{cze} C_x \rho_s + \frac{\mu}{k_t} \sqrt{\frac{\mu^2}{k_t^2} + \frac{4}{k_{S_v}} \sigma d_{cze} C_x \rho_s} \right)}{d_{cze}^2 C_x^2 \rho_s^2 \varphi^2} \quad (4)$$

Opracowana formuła współoddziaływania podstawowych parametrów procesu emulgacji ciśnieniowej, ciśnienia i temperatury, fizycznych właściwości emulsji, oraz zawartości fazy rozproszonej emulsji daje możliwość określenia wymaganej wartości ciśnienia niezbędnego do uzyskania założonego stopnia zdyspersgowania cząstek fazy rozproszonej emulsji przy ustalonych parametrach procesu.

PROGRAMOWANIE PROCESU EMULGACJI CIŚNIENIOWEJ

Pierwszym etapem obliczeń jest wyznaczenie wymaganej wartości ciśnienia niezbędnego do uzyskania założonego stopnia zdyspersgowania cząstek fazy rozproszonej emulsji. Dla uzyskania pożądanej wartości ekwiwalentnego wymiaru charakterystycznego d_{cze} wymaganą wartość ciśnienia p należy obliczyć stosując wzór 4. Przykładowo, dla emulsji o ustalonych parametrach:

$$\begin{aligned} \rho_{cz} \text{ [kg/m}^3\text{]} &= 921.4945 - 0.6054*t; \\ \rho_s \text{ [kg/m}^3\text{]} &= 1000.8871 - 0.0598*t - 0.0039*t^2; \\ \mu \text{ [Pa*s]} &= 0.158 - 0.0043*t + 3.375E - 5*t^2; \\ \phi &= 0.9753 - 4.6604*10^{-9}*p + 8.5897*10^{-18}*p^2; \\ \sigma \text{ [N/m}^3\text{]} &= 0.0239321 - 0.0000905*t + 0.0000002*t^2; \end{aligned}$$

oraz przy założonej wartości np. $d_{cze} = 2 \mu\text{m}$, wartość wymaganego ciśnienia emulgowania, obliczona za pomocą skryptu 1, utworzonego w środowisku MATLAB Math-Works wynosi $p = 1,895 \text{ MPa}$.

Wykorzystując opracowane współzależności, dla emulsji o danych parametrach tj.: napięciu międzyfazowym σ , lepkości dynamicznej fazy rozproszonej μ , gęstości fazy rozproszonej ρ_{cz} , gęstości fazy ciągłej ρ_s oraz procentowej zawartości fazy rozproszonej S_v , przy ustalonej temperaturze emulgacji t , można za pomocą skryptu 2,

```

% skrypt: oblicz_ciśnienie
% autor: Artur Popko

format long
Cx=0.44;

t=40;
s_v=2;

rho_cz=921.4945-0.6054*t;
rho_s=1000.8871-0.0598*t-0.0039*t.^2;
mu=0.158-0.0043.*t+3.375E-5.*t.^2;
phi=0.9753-4.6604.*10.^-9.*p+8.5897.*10.^-18.*p.^2;
sigma=0.0239321-0.0000905.*t+0.0000002.*t.^2;
k_s_v=0.9529+0.0594.*s_v-0.0013.*s_v.^2;
k_t=6.3775-0.046.*t+0.00008748.*t.^2;

d_cze=2,e-6

p=4.*rho_cz.*k_s_v.*d_cze.^-2.*Cx.^-2.*rho_s.^-2.*phi.^-
  2.*(mu.^2*k_t.^-2+2.*sigma.*d_cz.*Cx.*rho_s.*k_s_v.^-
  1+mu.*k_t.^-1.*(mu.^2.*k_t.^-2+4.*sigma.*
  ma.*d_cze.*Cx.*rho_s.*k_s_v.^-1).^0.5);

p
p = 1.894965176730880e+006

```

Skrypt 1. Obliczenia wartości ciśnienia emulgacji

```

% skrypt: emulgacja
% autor: Artur Popko

format long
Cx=0.44;
p=0:500000:16000000;
t=60;
s_v=2;

rho_cz=921.4945-0.6054.*t;
rho_s=1000.8871-0.0598.*t-0.0039.*t.^2;
mu=0.158-0.0043*t+3.375E-5.*t.^2;
phi=0.9753-4.6604.*10.^-9.*p+8.5897.*10.^-18.*p.^2;
sigma=0.0239321-0.0000905.*t+0.0000002.*t.^2;
k_s_v=0.9529+0.0594.*s_v-0.0013.*s_v.^2;
k_t=6.3775-0.046.*t+0.00008748.*t.^2;
d_cze=2.*rho_cz.*k_s_v.*Cx.^-1.*rho_s.^-1.*p.^-1.*phi.^-
  2.*(4.*sigma+mu.*phi.*k_t.^-1.*(2.*p./rho_cz).^0.5);

```

```

SUBPLOT(3,1,1), plot(p/1000000,d_cze*1000000)
grid on
xlabel «p [MPa]»
ylabel «d_c_z_e [\mum]»

p=16000000;
t=20:60;
s_v=2;
rho_cz=921.4945-0.6054.*t;
rho_s=1000.8871-0.0598.*t-0.0039.*t.^2;
mu=0.158-0.0043.*t+3.375E-5.*t.^2;
phi=0.9753-4.6604.*10.^-9.*p+8.5897.*10.^-18.*p.^2;
sigma=0.0239321-0.0000905.*t+0.0000002.*t.^2;
k_s_v=0.9529+0.0594.*s_v-0.0013.*s_v.^2;
k_t=6.3775-0.046.*t+0.00008748.*t.^2;
d_cze=2.*rho_cz.*k_s_v.*Cx.^-1.*rho_s.^-1.*p.^-1.*phi.^-
    2.*(4.*sigma+mu.*phi.*k_t.^-1.*(2.*p./rho_cz).^0.5);
SUBPLOT(3,1,2), plot(t,d_cze*1000000)
grid on
xlabel «t [°C]»
ylabel «d_c_z_e [\mum]»

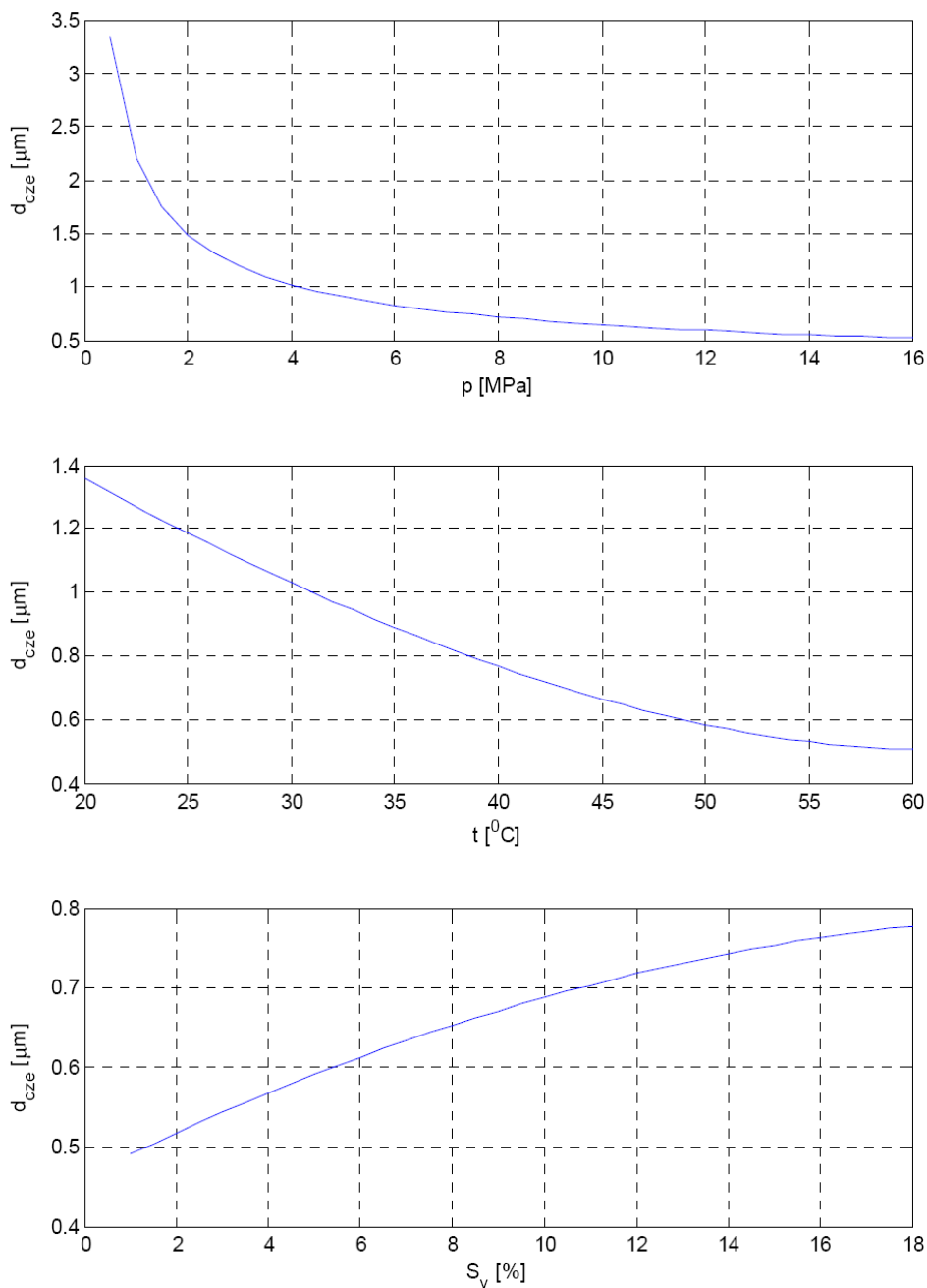
p=16000000;
t=60;
s_v=1:0.5:18;

rho_cz=921.4945-0.6054.*t;
rho_s=1000.8871-0.0598.*t-0.0039.*t.^2;
mu=0.158-0.0043.*t+3.375E-5.*t.^2;
phi=0.9753-4.6604.*10.^-9.*p+8.5897.*10.^-18.*p.^2;
sigma=0.0239321-0.0000905.*t+0.0000002.*t.^2;
k_s_v=0.9529+0.0594.*s_v-0.0013.*s_v.^2;
k_t=6.3775-0.046.*t+0.00008748.*t.^2;
d_cze=2.*rho_cz.*k_s_v.*Cx.^-1.*rho_s.^-1.*p.^-1.*phi.^-
    2.*(4.*sigma+mu.*phi.*k_t.^-1.*(2.*p./rho_cz).^0.5);

SUBPLOT(3,1,3), plot(s_v,d_cze*1000000)
grid on
xlabel «S_v [%]»
ylabel «d_c_z_e [\mum]»

```

Skrypt 2. Wyznaczanie charakterystyk wartości ekwiwalentnego wymiaru charakterystycznego zdyspergowanych cząstek fazy rozproszonej emulsji



Rys. 1. Wykreślone za pomocą skryptu 2 charakterystyki zmiany wartości wymiaru charakterystycznego d_{cze} w funkcjach ciśnienia, temperatury i zawartości fazy rozproszonej przykładowej emulsji

utworzonego w środowisku MATLAB MathWorks wyznaczyć charakterystyki ciśnieniowej emulgacji tej emulsji. Dla parametrów procesu zawartych w skrypcie 1 charakterystyki ciśnieniowej emulgacji tj. zmiany wartości ekwiwalentnego wymiaru charakterystycznego d_{cz} w funkcjach ciśnienia, temperatury i zawartości fazy rozproszonej przedstawiono na rysunku 1.

PODSUMOWANIE

Opracowane współzależności między parametrami emulgacji ciśnieniowej, właściwościami fizycznymi i zawartością fazy rozproszonej emulsji umożliwiają określanie optymalnych wartości ciśnienia p oraz temperatury procesu. Uzyskano wymagane fazy rozproszonej dyspergowanej emulsji dla założonego ekwiwalentnego wymiaru charakterystycznego d_{cz} cząstek. Przedstawione podstawy wspomaganie sterowania procesem emulgacji ciśnieniowej umożliwiają ustalenie wartości parametrów wejścia emulgacji w celu uzyskania założonych wartości wyjściowych procesu. Opracowane z użyciem aplikacji Matlab MathWoks programy stanowią algorytm postępowania mający na celu otrzymanie emulsji o założonym wymiarze cząstek fazy rozproszonej. Programy komputerowe umożliwiają ponadto wizualizacje obliczanych wielkości.

PIŚMIENNICTWO

1. Denkova P.S., Tcholakova S., Denkov N.D., Dano K.D., Campbell B., Shaw C., Kim D. Evaluation of the precision of drop-size determination in oil/water emulsions by low resolution NMR Spectroscopy. *Langmuir*, 20, 2004: 11402 – 11413.
2. Dickinson E., Whyman R.H. Colloidal properties of model oil-in-water food emulsion stabilized separately by as1-casein and j-casein. In.: E. Dickinson (Ed.) *Food Emulsions and Foams* 1996: 40–229.
3. Dumay E., Lambert C., Funtenberger S., Cheftel J.C. Effects of high pressure on the physico-chemical characteristics of dairy creams and model oil/water emulsions. *Lebensmittel-Wissenschaft und-Technologie*, 29(7), 1996: 606–625.
4. Lenik K., Korga S.: Modeling of friction reluctantse to certain conditions redrawing, clinching and extrude processes. *Advances in Science and Technology*, 4, 2010: 85–90.
5. Marie P., Perrier-Cornet J.M., Gervais P. Influence of major parameters in emulsification mechanisms using a high pressure jet. *Journal of Food Engineering*, 53(1), 2002:43–51.
6. Popko A.: Alternative oil-water emulsion fuel. *Rynek Energii*, 1, 2010: 37–41.
7. Popko A.: Applications of pressure emulsification model. *The Archive of Mechanical Engineering*, 4, 2009: 101–113.
8. Popko A.: New interpretation of emulsifying mechanism. *International Agrophysics*. Institute of Agrophysics, Polish Academy of Sciences, Lublin 2000.
9. Popko A.: Pressure emulsification process modeling. *Maintenance and Reliability*, vol. 43, 3, 2009: 14–19.

10. Tcholakova S., Denkov N.D., Sidzhakova D. Ivanov I.B., Campbell B.: Interrelation between drop size and protein adsorption at various emulsification conditions. *Langmuir*, vol. 19, 14, 2003: 5640–5649.

PROGRAMMING OF PRESSURE EMULSIFICATION PROCESS BASED ON MATLAB MATHWORKS APPLICATIONS

Summary

A mathematical model, created for description of the mechanism of interaction between basic parameters of emulsions high pressure dispersion, is presented in this paper. The model is applied for the analysis of the influence of emulsions physical properties, quantitative content of dispersed emulsion phase and parameters of emulsification, pressure and temperature, on the characteristic dimension of particles of the dispersed phase. The model makes it possible to determine appropriate process parameters, especially the pressure necessary to obtain the required dispersion of the emulsion.

Keywords: water-in-oil emulsion, pressure emulsification, characteristic dimension of particle, dispersed phase.