

MODELOWANIE PROCESU EMULGACJI CIŚNIENIOWEJ

PRESSURE EMULSIFICATION PROCESS MODELING

W artykule przedstawiono problematykę zastosowań oraz modelowania emulsji wodno-olejowych o wymaganych parametrach. Przykładowo, zastosowanie emulsji wodno-olejowych o określonych parametrach daje możliwość znacznego zmniejszenia zawartości tlenków azotu NO_x oraz zawartości cząstek stałych PM w emitowanych spalinach oraz istotnie zmniejsza koszty eksploatacji pojazdu. Opracowany przez autora, teoretyczno-eksperymentalny model wysokociśnieniowego dyspergowania fazy rozproszonej emulsji daje możliwość określania optymalnych dla realizacji tego procesu parametrów emulsji. Sformułowany model matematyczny emulgacji ciśnieniowej ujmuje kompleksowo wpływ podstawowych parametrów procesu, właściwości emulsji oraz ilościowej zawartości fazy rozproszonej emulsji na wartości wymiaru charakterystycznego cząstek fazy rozproszonej.

Słowa kluczowe: emulsja wodno-olejowa, emulgacja ciśnieniowa, wymiar charakterystyczny cząstki fazy rozproszonej, zawór emulgujący

The paper presents the problems of applications and modeling for oil in water emulsions of selected parameters. For the example: oil-in-water emulsions of selected parameters enable substantial reduction of NO_x nitric oxide content and of solid particle (PM) content in exhaust gases and reduce cost of car maintenance. The described theoretical and experimental model of high pressure emulsification process of dispersed phase makes possible to determine optimal emulsion parameters. The mathematical model, formulated by the author, binds the complex influence of basic process parameters, emulsion properties and quantitative content of dispersed phase on the values of dispersed phase particle characteristic dimension.

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

1. Wprowadzenie

Jednym z kluczowych problemów związanych z eksploatacją silników o zapłonie samoczynnym jest emisja spalin zawierających składniki toksyczne, takie jak tlenki azotu NO_x i cząstki stałe PM [1 ÷ 11, 22 ÷ 24]. Dążenie do zmniejszenia ich zawartości w spalinach jest wciąż aktualne, ważne, a jego podejmowanie ze wszech miar uzasadnione. Nie są dostępne metody umożliwiające równoczesne zmniejszenie zawartości obydwu wymienionych, toksycznych składników w spalinach poprzez wprowadzanie modyfikacji silników o zapłonie samoczynnym. Natomiast wyniki dostępnych [9 ÷ 11, 22, 25] rozważań teoretycznych oraz badań jednoznacznie wykazują, że efektywnym sposobem zmniejszenia emisji tlenków azotu jest wtryskiwanie do cylindra odpowiednio spreparowanej emulsji paliwowo-wodnej. W takim przypadku możliwe jest uzyskanie równoczesnego zmniejszenia emisji cząstek stałych, w pewnych warunkach, nawet przy mniejszym zużyciu paliwa. Problemem dotychczas nierozwiązanym pozostaje jednak sposób przygotowania takiej emulsji. Dostępne modele matematyczne procesu emulgacji ciśnieniowej oparte są na konkretnych wynikach badań, mają charakter eksperymentalny lub dotyczą jedynie określonych rodzajów emulsji, co ogranicza zakres ich stosowania. Stosowana obecnie metodyka obliczeń elementów roboczych, a w szczególności parametrów konstrukcyjno-eksploatacyjnych zaworów emulgujących emulsora ciśnieniowego, opiera się na eksperymentalnie określonej zależności wymiaru charakterystycznego cząstki fazy rozproszonej d_{cz} emulsji od ciśnienia emulgacji p dla każdego rodzaju emulsji. Ustalenie współzależności pomiędzy parametrami konstrukcyjnymi zaworu emulgującego a parametrami emulsji (fizyczne właściwości emulsji, procentowy udział fazy rozproszonej emulsji)

1. Introduction

The content of toxic compounds, i.e.: NO_x nitric oxides and solid particles (PM), in exhaust gas emissions is one of key problems related to the operation of Diesel engines [1 ÷ 11, 22 ÷ 24]. That is why the tendency to reduce this content is still important and widely justified. There are no available methods that allow simultaneous reduction of both mentioned toxic compounds simply by modification to Diesel motor construction. The available reference theoretical analyses and experimental results [9 ÷ 11, 22, 25] show that the injection of properly prepared water-fuel emulsion into a cylinder is a very effective method to reduce nitric oxide content. In this case – in certain conditions, it is simultaneously possible to reduce solid particle emissions and fuel consumption. The way how to prepare this emulsion is still an unsolved problem. The available mathematical models of pressure emulsification are based on particular research results, experiments or are valid only for selected emulsions, which makes their use restricted. The presently applied methodology for computations of working elements and construction – operation parameters of emulsifying valves takes the advantage of experimentally determined influence of emulsification pressure (p) on characteristic dimensions of dispersed phase (d_{cz}) for every type of emulsions. The basic element to increase the effectiveness of improvements in design of pressure emulsifiers is the determination of coincidence among valve construction parameters, emulsion parameters and pressure process parameters (i.e.: pressure and temperature). Emulsion parameters are understood as emulsion physical properties and dispersed phase content.

oraz parametrami procesu ciśnieniowego emulgowania (ciśnienie i temperatura) jest podstawowym elementem zwiększenia efektywności prac związanych z procesem projektowania elementów roboczych emulsorów ciśnieniowych.

2. Badania

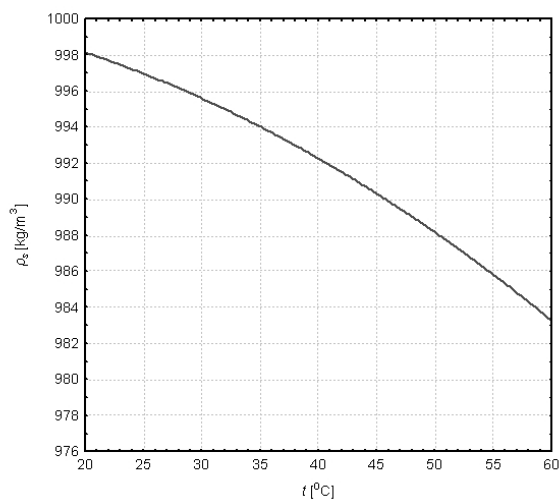
Badaniom poddano emulsje wodno-olejowe o ustalonych parametrach tj.: gęstości fazy ciągłej, gęstości fazy rozproszonej, lepkości dynamicznej, napięciu międzyfazowym σ emulsji w funkcji temperatury, przedstawionych na rys. 1 ÷ 4 i zawartości fazy rozproszonej: 1%, 1,8%, 9%, 12%, 18%.

Badania wpływu ciśnienia, temperatury i zawartości fazy rozproszonej na wartość wymiaru charakterystycznego d_{cz} cząstek fazy rozproszonej dyspergowanej emulsji przeprowadzono na stanowisku badawczym (rys. 5) zbudowanym w Politechnice Lubelskiej [15]. Do badań wykorzystano emulsor ciśnieniowy CHO-03M o wydajności do $8,61 \cdot 10^{-5} \text{ m}^3/\text{s}$, wyprodukowany w FMiUPS w Bełżycach, wyposażony w jednostopniową głowicę emulgującą

2. Research

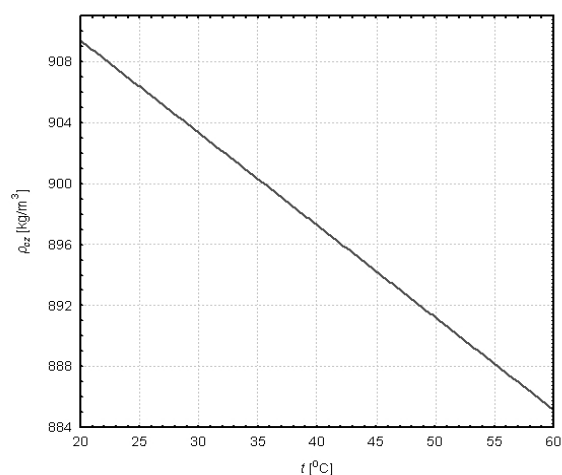
Oil-in-water emulsions of particular constant parameters have been subjected to the research. These parameters are: continuous phase density, dispersed phase density, dynamic viscosity, emulsion interfacial tension (σ) vs. temperature (presented in Fig. 1 ÷ 4) and dispersed phase content of 1%, 1.8%, 9%, 12%, 18%.

The research on the influence of pressure, temperature and dispersed phase content on characteristic dimension d_{cz} of emulsion particles has been carried out at the test stand presented in Fig. 5, at Lublin University of Technology [15]. The test stand consists of a pressure emulsifier CHO-03M (capacity $8,61 \cdot 10^{-5} \text{ m}^3/\text{s}$, max. working pressure 16MPa), manufactured by FMi-



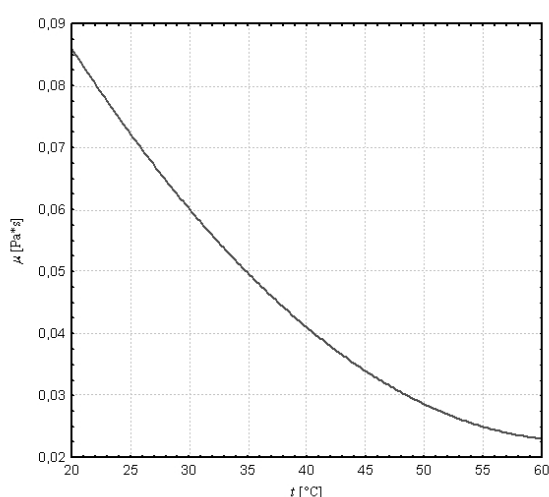
Rys. 1. Zależność gęstości fazy ciągłej emulsji od temperatury

Fig. 1. The dependence of continuous phase on temperature



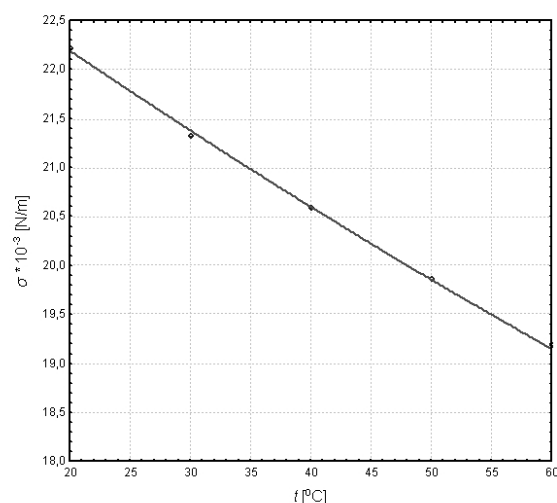
Rys. 2. Zależność gęstości fazy rozproszonej emulsji od temperatury

Fig. 2. The dependence of dispersed phase content on temperature



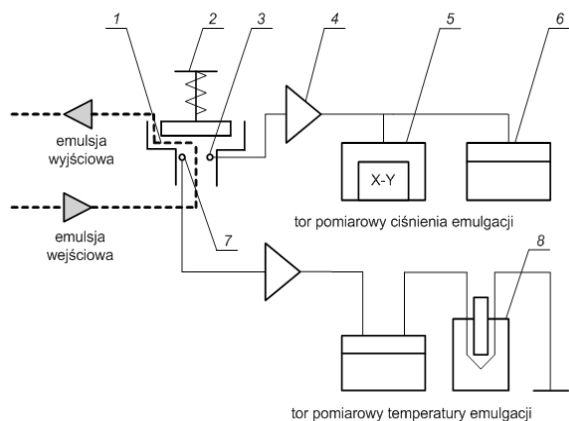
Rys. 3. Zależność lepkości dynamicznej fazy rozproszonej emulsji od temperatury

Fig. 3. The dependence of dispersed phase dynamic viscosity on temperature



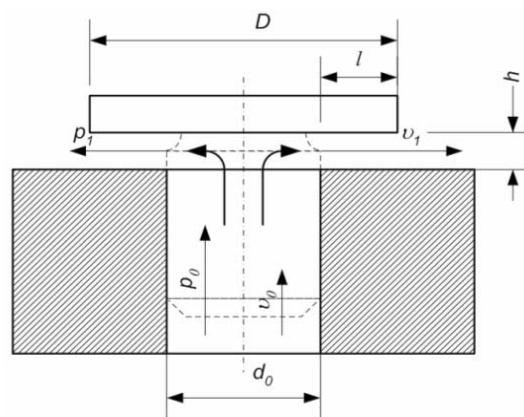
Rys. 4. Zależność wartości napięcia międzyfazowego σ emulsji w funkcji temperatury

Fig. 4. The dependence of emulsion interfacial tension σ on temperature



Rys. 5. Schemat stanowiska do badania wpływu parametrów emulgacji ciśnieniowej, ciśnienia, temperatury i zawartości fazy rozproszonej na wartość wymiaru charakterystycznego d_{cz} cząstek fazy rozproszonej: 1 – szczelina zaworu emulgującego emulsora, 2 – pokrętko regulacji ciśnienia emulgacji, 3 – tensometryczny czujnik ciśnienia typ PM-250/0-25MPa, 4 – stałoprądowy mostek tensometryczny typ MTS-03, 5 – rejestrator X-Y, 6 – woltmierz cyfrowy typ V-540, 7 – czujnik termoelektryczny TTFe (Fe - Co), 8 – wzorzec temperatury 0°C woda – lód

Fig. 5. Flow chart for the tests of the influence of pressure emulsification parameters: pressure, temperature and dispersed phase content on characteristic dimension of dispersed phase particles d_{cz} : 1 – emulsifier valve gap, 2 – pressure adjustment knob, 3 – strain gauge PM-250/0-25MPa, 4 – dc bridge MTS-03, 5 – logger X-Y, 6 – digital voltmeter V-540, 7 – thermal-electric sensor TTFe (Fe - Co), 8 – temperature constant point 0°C water/ice



Rys. 6. Zasada działania płaskiego zaworu emulgującego [16]: D – średnica grzybka, d_0 – średnica gniazda, v_0 – prędkość czynnika w otworze gniazda, p_0 – ciśnienie w otworze gniazda, v_1 – prędkość czynnika na wejściu do szczeliny zaworu, p_1 – ciśnienie na wejściu do szczeliny, d_0 – średnica otworu w gnieździe zaworu, h – wysokość szczeliny, l – długość szczeliny zaworu emulgującego

Fig. 6. The principle of operation for a flat emulsifier valve [16]: D – head diameter, d_0 – seat diameter, v_0 – medium velocity in head orifice, p_0 – pressure in head orifice, v_1 – medium inlet velocity, p_1 – medium inlet pressure, d_0 – seat orifice diameter, h – gap height, l – emulsifying valve gap length

z płaskim zaworem emulgującym (rys. 6, 7). Maksymalne ciśnienie robocze emulsora CHO-03M wynosi 16 MPa.

Przy ustalonych parametrach (ciśnienie i temperatura emulgacji) pracy emulsora pobierano próbki ujednorodnionej emulsji i określano wymiar charakterystyczny d_{cz} 150 cząstek fazy rozproszonej metodą mikroskopową zgodnie z PN/75-A-86059 przy pomocy mikroskopu biologicznego wyposażonego w mikromierz okularowy, przy dziesięciokrotnym powiększeniu (rys. 8).



Rys. 7. Widok badanego zaworu emulgującego
Fig. 7. Emulsifying valve image

UPS Bělzyce, Poland, equipped with an emulsifying head and a flat emulsifying valve (Fig. 6, 7)

Homogeneous emulsion samples have been taken at constant process parameters (emulsification pressure and temperature) and characteristic dimensions d_{cz} have been determined for 150 particles of the dispersed phase by means of a microscope, equipped with an eyepiece micrometer at magnification of 900x. The procedure is in accordance to Polish standards PN/75-A-86059 (Fig. 8).

3. Model emulgacji ciśnieniowej

Przeprowadzone badania i analizy [12 ÷ 21] umożliwiły sformułowanie uogólnionej postaci matematycznego modelu mechanizmu emulgacji ciśnieniowej, co można przedstawić w postaci wzoru:

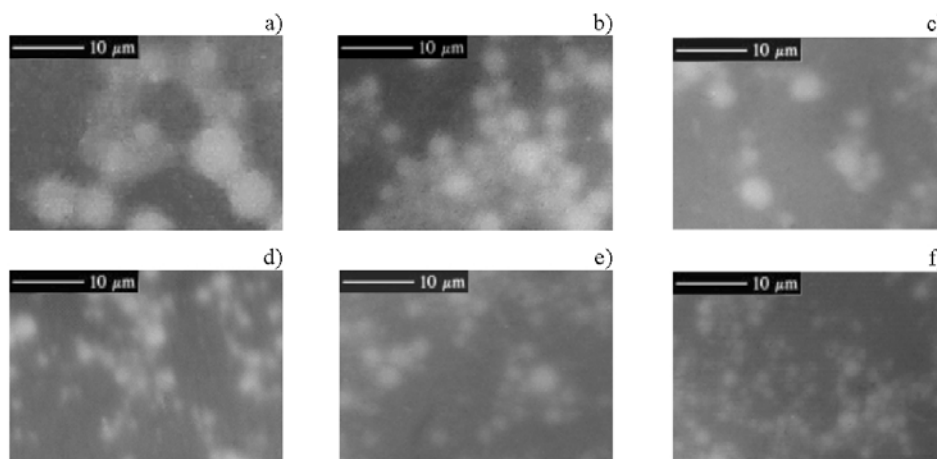
$$d_{cz} = \frac{2\rho_{cz} \left(4\sigma + \frac{\mu\phi}{6,3775-0,046 t + 8,748E-5 t^2} \sqrt{\frac{2p}{\rho_{cz}}} \right)}{C_x \rho_s p \phi^2} (0,9529 + 0,0594S_v - 0,0013S_v^2) \quad (1)$$

gdzie: d_{cz} - wymiar charakterystyczny cząstki fazy rozproszonej, ϕ - współczynnik efektywności wydatku, μ - współczynnik

3. Pressure emulsification model

The research and the analyses [12 ÷ 21] that have been carried out make possible to formulate a generalized mathematical model for the pressure emulsification process, which can be expressed by means of the following formula:

where: d_{cz} – characteristic dimension of dispersed phase particles, ϕ – capacity effectiveness coefficient, μ – absolute visco-



Rys. 8. Przykładowe emulsje uzyskane przy wartościach ciśnienia emulgacji kolejno: a) – f) 0.5 MPa, 1 MPa, 2 MPa, 4 MPa, 8 MPa, 16 MPa. Temperatura procesu emulgacji: 20 °C. Zawartość fazy rozproszonej: 1%

Fig. 8. Exemplary emulsions obtained at the following values of emulsification pressure: a) – f) 0.5 MPa, 1 MPa, 2 MPa, 4 MPa, 8 MPa, 16 MPa, process temperature 20 °C, dispersed phase content 1%

lepkości dynamicznej fazy rozproszonej emulsji, ρ_{cz} , ρ_s - gęstość odpowiednio fazy rozproszonej i fazy ciągłej, p - ciśnienie emulgacji, C_x - współczynnik oporu aerodynamicznego, k_t - temperaturowy współczynnik dyspergowania, k_{sv} - współczynnik stężenia fazy rozproszonej emulsji.

Opracowana zależność współdziaływania parametrów procesu emulgacji ciśnieniowej daje możliwości uzyskania określonego ekwiwalentnego wymiaru charakterystycznego cząstek fazy rozproszonej d_{cz} ujednorodnionej emulsji przy różnych kombinacjach parametrów procesu emulgacji, tj. ciśnienia i temperatury oraz zawartości fazy rozproszonej emulsji

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

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

Przykładowo, współdziaływanie parametrów procesu emulgacji ciśnieniowej w zakresie ilościowej zawartości fazy rozproszonej emulsji (1 ÷ 18)%, oraz w zakresie temperatur 20 °C ÷ 60 °C, dla ciśnienia emulgacji 16 MPa przedstawiono na rys. 9.

4. System emulgacji ciśnieniowej

Sformułowany przez autora model matematyczny procesu emulgacji ciśnieniowej (wzory 1, 2) ujmuje w sposób ilościowy wpływ konstrukcji zaworu emulgującego, podstawowych parametrów procesu, właściwości emulsji oraz zawartości fazy rozproszonej emulsji na wartość wymiaru charakterystycznego d_{cz} cząstek fazy rozproszonej, co dało podstawy do utworzenia mechanizmu współzależności oraz sterowania procesem emulgacji ciśnieniowej (rys. 10), umożliwiające realizację prac zmierzających do optymalizacji obliczeń projektowych zaworów emulgujących oraz sterowania procesem emulgacji ciśnieniowej.

sity coefficient of emulsion dispersed phase, ρ_{cz} , ρ_s – density of dispersed phase and continuous phase, respectively, p – emulsification pressure, C_x – aerodynamic drag coefficient, k_t – dispersion temperature coefficient, k_{sv} – dispersed phase concentration coefficient.

The formulated expression of interaction among process parameters of pressure emulsification enable us to obtain some determined equivalent characteristic dimension of homogeneous emulsion dispersed phase d_{cz} at different combinations of process parameters, i.e.: pressure, temperature and dispersed phase content.

Emulsification pressure that is necessary to obtain the emulsion of required characteristic dimension of dispersed phase particles can be presented by the dependence:

The example of the influence of emulsification parameters on dispersed phase content within the range of (1 ÷ 18)%, temperature range : 20 °C ÷ 60 °C and for 16 MPa is presented in Fig. 9.

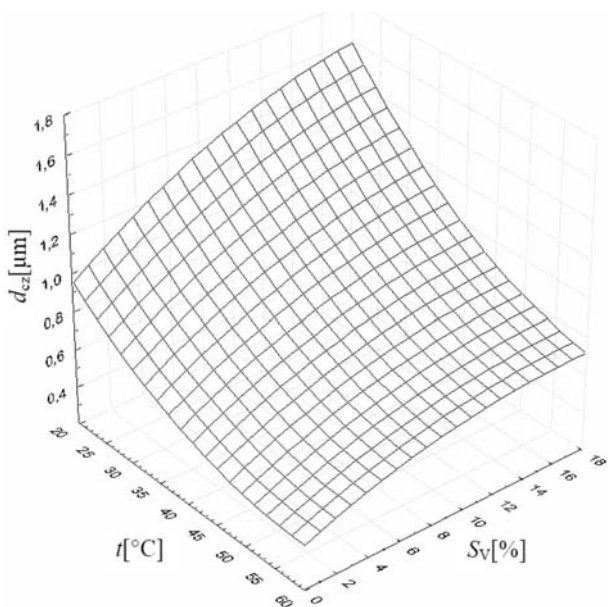
4. Pressure Emulsification System

The model formulated by the author for the pressure emulsification (eq. 1, 2) binds quantitatively the influence of emulsifying valve construction, process basic parameters, emulsion properties and dispersed phase content on the values of characteristic dimension d_{cz} of dispersed phase particles. This gives the foundation to elaborate the mechanism of relations and control for pressure emulsification processes (Fig. 10) which makes possible to optimize design computations for emulsifying valves and emulsification process control.

Określenie wartości ciśnienia (wzór 2) wymaganego do uzyskania założonego stopnia zdyspersgowania cząstek fazy rozproszonej emulsji (rys.1 ÷ 4) umożliwia ustalenie parametrów konstrukcyjno-eksploatacyjnych t.j. średnicy otworu d_0 w gnieździe zaworu oraz na tej podstawie, za pomocą powszechnie znanych zależności, wysokości szczeliny h płaskiego zaworu emulgującego. Przykładowo, uzyskanie założonej wartości wymiaru charakterystycznego $d_{cz} = 2 \mu\text{m}$ cząstek fazy rozproszonej emulsji o 2% zawartości fazy rozproszonej przy temperaturze emulgacji $t = 40^\circ\text{C}$ powinno wymagać zastosowania zaworu emulgującego o średnicy otworu w gnieździe zaworu $d_0 = 16\text{mm}$ oraz ciśnienia roboczego $p = 1,9 \text{ MPa}$. W analizowanym przykładzie osiągnięta została wartość wymiaru charakterystycznego $d_{cz} = 1,98 \mu\text{m}$ fazy rozproszonej emulsji oraz ustalonych parametrach procesu emulgacji $t = 40^\circ\text{C}$ i ustalonych parametrach pracy emulsora $p = 1,9 \text{ MPa}$.

5. Podsumowanie

Opracowany układ współzależności między parametrami konstrukcyjnymi płaskiego zaworu emulgującego i parametrami procesu ciśnieniowego dyspergowania emulsji umożliwiającą sterowanie procesem dyspergacji ciśnieniowej emulsji, uwzględnia współdziałanie podstawowych parametrów na jego przebieg, a w szczególności umożliwia ustalanie wartości parametrów wejścia procesu w celu uzyskania założonych, ustalonych wartości wyjściowych procesu. Opracowany system umożliwia dobór i weryfikację parametrów konstrukcyjno-eksploatacyjnych zaworu emulgującego wymaganego dla uzyskania założonego wymiaru charakterystycznego d_{cz} cząsteczki fazy rozproszonej dyspergowanej emulsji dla ustalonych wartości ciśnienia p i temperatury t .



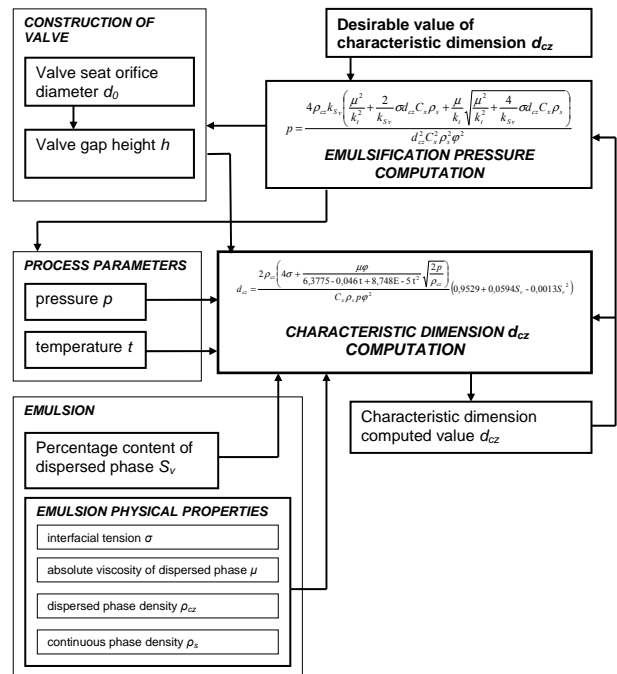
Rys. 9. Zależność wartości wymiaru charakterystycznego cząstki fazy rozproszonej od zawartości fazy rozproszonej S_v emulsji. Ciśnienie emulgacji $p = 16 \text{ MPa}$

Fig. 9. The dependence of particle characteristic dimension of dispersed phase on dispersed phase content S_v emulsification pressure $p = 16 \text{ MPa}$

The determination of pressure (eq. 2) required for the established dispersion of particles (Fig. 1 ÷ 4) enables the determination of construction – operation parameters i.e.: seat orifice diameter d_0 and on this basis and by means of commonly known formulae – flat valve gap height h . For the example: one would require the application of the valve of $d_0 = 16\text{mm}$ (valve seat orifice diameter) and pressure $p = 1.9 \text{ MPa}$, to obtain the established particle characteristic dimension of $d_{cz} = 2 \mu\text{m}$ and of 2% dispersed phase content at emulsification temperature $t = 40^\circ\text{C}$. The characteristic dimension value $d_{cz} = 1.98 \mu\text{m}$ has been reached at established process parameters: $t = 40^\circ\text{C}$ and $p = 1,9 \text{ MPa}$, for the analysed example.

5. Conclusion

The described system of interrelations among construction parameters of emulsification flat valve and pressure emulsification process parameters that makes possible to control the process takes into account the interaction of its basic parameters. In particular, this system makes possible to determine inlet process parameters to obtain established outlet process parameters. The presented system enables the selection and the verification of construction – operational parameters of the emulsifying valve, to reach the established characteristic dimension of the dispersed phase particles d_{cz} , at constant pressure p and temperature t .



Rys. 10. Schemat systemu współzależności między parametrami konstrukcyjnymi płaskiego zaworu emulgującego i parametrami procesu ciśnieniowego dyspergowania emulsji

Fig. 10. Flow chart of interrelations among construction parameters of emulsification flat valve and pressure emulsification process parameters

6. References

1. Chłopek Z. Ecological aspects of using bioethanol fuel to power combustion engines. *Eksploatacja i Niezawodność - Maintenance and Reliability* 2007; 3: 65-68.
2. Chłopek Z. Effects of using CRT particulate matter filters for self ignition engines. *Eksploatacja i Niezawodność - Maintenance and Reliability* 2007; 4: 20-23.
3. Chłopek Z, Bardziński W, Jarczewski M, Sar H. The influence of FAME vegetable oil methyl ester additive to the diesel oil, on ecology, fuel consumption and car dynamic properties. *Journal of KONES* 2006.
4. Czerwinski J, Zimmerli Y, Mayer A. Experiences about Retrofitting of City Busses with DPF's. *Silniki spalinowe* 2005; 3 (122): 38-53.
5. Drożdźiel P. The influence of the vehicle work organization conditions on the engine start-up parameters. *Eksploatacja i Niezawodność - Maintenance and Reliability* 2008; 1: 72-74.
6. Idzior M. Proekologiczne technologie w procesach produkcji środków transportu. *Inżynieria maszyn*. Wrocław: Agencja Wydawnicza Wrocławskiej Rady FSNT NOT, 2003.
7. Konieczny A, Orkisz M. Research of microstructure of atomized liquid by aeral injector. *Eksploatacja i Niezawodność - Maintenance and Reliability* 2007; 1: 23-30.
8. Merkisz J. *Ekologiczne problemy silników spalinowych*. Tom 1. Poznań: Wydawnictwo Politechniki Poznańskiej, 1998.
9. Niewczas A, Drożdźiel P, Kordos P. Wpływ warunków rozruchu na zadymienie spalin silnika o zapłonie samoczynnym. *Ekotechnologie XXI wieku: monografia / pod red. Inez Wiatr i Haliny Marczak*. Lublin: Wydawnictwo Naukowe Gabriel Borowski 2002; 149-156.
10. Piaseczny L, Zadrag R. Influence of Water-Fuel Emulsion Supply on Smoking of Ship's Combustion Engine. *Journal of KONES Internal Combustion Engines* 2003; 10: 171-178.
11. Piaseczny L, Zadrag R. Research on the influence of water delivery to cylinder on parameters of the combustion process and toxicity of CI engines. *Silniki spalinowe* 2005; 3(122): 61-67.
12. Popko A. Badania napięcia międzyfazowego emulsji. *Postępy Techniki Przetwórstwa Spożywczego* 1999; 1-2: 30-31.
13. Popko A. Badania procesu emulgacji ciśnieniowej. *Przegląd Mechaniczny* 1998; 5-6: 7-11.
14. Popko A. Badania wpływu zawartości fazy rozproszonej na efektywność ciśnieniowego dyspergowania emulsji. *The International Scientific Journal. Problems of Tribology* 2005; 3-4: 133-138.
15. Popko A. Badanie procesu ujednorodniania emulsji wodno-olejowej w emulgatorze ciśnieniowym. *Praca doktorska*. Politechnika Poznańska, 1997. Praca niepublikowana.
16. Popko A. Ciśnieniowe wytwarzanie emulsji wodno-olejowej. *Zagadnienia modelowania*. Lublin: Wydawnictwo Politechniki Lubelskiej, 2008.
17. Popko A. New interpretation of emulsifying mechanism. *International Agrophysics*. Polish Academy of Sciences. Lublin 2000: 105-111.
18. Popko A. New theoretical and experimental model of the emulsification process. *The International Scientific Journal. Problems of Tribology* 2003; 2: 173-182.
19. Popko A. Nowa matematyczna analiza wpływu parametrów konstrukcyjnych emulgatorów, właściwości emulsji oraz parametrów procesu na skuteczność emulgacji. *Postępy Techniki Przetwórstwa Spożywczego* 1999; 1-2: 32-34.
20. Popko A. Nowy opis matematyczny mechanizmu emulgacji. *Postępy Techniki Przetwórstwa Spożywczego* 1998; 1-2: 49-53.
21. Popko A. Zagadnienia ustalania parametrów eksploatacyjnych wysokociśnieniowych zaworów emulgujących. *Zagadnienia Eksploatacji Maszyn* 2007; 4(152): 151-166.
22. Sobieszkański M, Brzozowski K, Nowakowski J, Tekielak M. The impact of SI engine controlling parameters on the content of toxic components and smokiness of exhaust gases. *Eksploatacja i Niezawodność - Maintenance and Reliability* 2008; 3: 53-61.
23. Sowa K. The Introduction To Research Of The Supply Of Diesel Engines With The Emulsion Fuel-Water. *Journal of KONES Internal Combustion Engines* 2005; 3-4: 281-288.
24. Zając G, Węgrzyn A. Analysis of work parameters changes of diesel engine powered with diesel fuel and FAEE blends. *Eksploatacja i Niezawodność - Maintenance and Reliability* 2008; 2: 17-24.
25. Zwierzycki W. *Paliwa silnikowe i oleje opałowe*. Radom: Instytut Technologii Eksploatacji, 1997.

Dr Artur POPKO

Katedra Podstaw Techniki

Politechnika Lubelska

Ul. Nadbystrzycka nr 38, 20-618 Lublin, Polska

e-mail: a.popko@pollub.pl
