

# WPLYW WYBRANYCH PARAMETRÓW WTRYSKU NA JAKOŚĆ ROZPYLENIA PALIW CIEKŁYCH DO ZASILANIA SILNIKÓW O ZS

Kazimierz LEJDA<sup>1</sup>, Krzysztof LEW<sup>2</sup>

W artykule przedstawiono wpływ najważniejszych parametrów związanych z wtryskiem paliwa na jakość rozpylenia paliw ciekłych do zasilania silników o ZS. Zaprezentowano przykładowe obliczenia zasięgu czoła strugi, kąta wierzchołkowego strugi oraz średniej średnicy Sautera. W tym celu posłużono się modelem opracowanym przez Hiroyasu, Arai i Tabata.

## 1. WPROWADZENIE

Jednym z podstawowych czynników decydujących o jakości przygotowania ładunku w komorze spalania silnika o ZS jest wtrysk rozpylonego paliwa. Optymalne wykorzystanie właściwie ukształtowanej strugi paliwa przyczynia się nie tylko do wzrostu mocy silnika, zmniejszenia jednostkowego zużycia paliwa, ale także do obniżenia emisji substancji szkodliwych [5,6].

Proces rozpylania paliwa zależy od wielu czynników związanych z parametrami wtrysku paliwa, warunkami otoczenia i konstrukcją samego rozpylacza. Czynniki te, poza konstrukcją rozpylacza, ulegają zmianom w czasie procesu wtrysku.

Ogólnie, można wyróżnić dwa zasadnicze zadania jakie powinien spełnić proces rozpylania [5,6,7]:

- zwiększenie powierzchni dawki paliwa przez rozbicie jej na dużą ilość kropli w celu intensyfikacji odparowania oraz wymieszania z powietrzem (zapewnienie odpowiedniej mikrostruktury mieszaniny),
- równomierne rozprowadzenie paliwa w komorze spalania stosownie do wymagań określonych jej wymiarami i sposobem działania (zapewnienie odpowiedniej makrostruktury mieszaniny).

Do rozpylenia paliwa w silniku o ZS wykorzystuje się jego energię kinetyczną, która powstaje w wyniku generowanego ciśnienia. Wypływające paliwo z rozpylacza z dużą prędkością, rozpada się na krople pod wpływem sił aerodynamicznych ośrodka, co określa się jako rozpad pierwotny strugi. Następnie krople te ulegają wtórnemu rozpadowi [5].

W artykule przedstawiono wpływ wybranych parametrów wtrysku na jakość rozpylenia paliw ciekłych do zasilania silników o ZS. Przede wszystkim zwrócono uwagę na te parametry, które decydują o pierwotnym rozpadzie strugi i wtórnym rozpadzie kropeł, co bezpośrednio wpływa na rozmiar średnic. W tym celu dokonano obliczeń wykorzystując model opracowany przez Hiroyasu, Arai i Tabata.

## 2. OBLICZENIA SYMULACYJNE PARAMETRÓW MAJĄCYCH WPLYW NA JAKOŚĆ ROZPYLENIA

Do obliczeń symulacyjnych został wykorzystany model rozpylenia Hiroyasu i Arai, który jest najczęściej stosowany w tego typu obliczeniach. Model ten pozwala na obliczenie zasięgu czoła strugi, kąta wierzchołkowego strugi oraz średnicy Sautera [1,2,3]. Średnia

---

<sup>1</sup> Prof. dr hab. inż., Kazimierz Lejda; Politechnika Rzeszowska, Zakład Pojazdów Samochodowych i Silników Spalinowych

<sup>2</sup> Mgr inż., Krzysztof Lew; Politechnika Rzeszowska, Zakład Pojazdów Samochodowych i Silników Spalinowych

średnica Sautera (*SMD – Sauter Mean Diameter*) jest dobrym kryterium oceny jakości rozpylania, przydatnym do wnioskowania. W tabeli 1 przedstawiono parametry paliw, dla których wykonano obliczenia symulacyjne.

Nazwa parametru	Parametr i jednostka	Paliwa				
		ON	OR	OR20	EOR	E95
Liczba cetanowa	LC	48	40	46,4	54,4	10
Gęstość w 20°C	$\rho_L$ [kg/m <sup>3</sup> ]	830	915	850	874	792
Lepkość kinematyczna w 20°C	$\nu_L$ [mm <sup>2</sup> /s]	2,8	38	10,6	7,9	1,26
Wartość opałowa	$W_L$ [MJ/kg]	42,5	38	41	39,45	25,2
Temperatura zapłonu	[°C]	78	246	112	ok. 100	13,5
Ciepło parowania	[kJ/kg]	250	800	300	325	810
Napięcie powierzchniowe w 20°C	$\sigma_L$ [N/m]	$29 \cdot 10^{-3}$	$36 \cdot 10^{-3}$	$30 \cdot 10^{-3}$	$32 \cdot 10^{-3}$	$28 \cdot 10^{-3}$
Zawartość siarki	S [%]	0	0,001	0,001	0,0015	0
Zawartość pierwiastków	C/H/O [%]	87/12,6/0,4	77/12/11	81/12/7	77/12,1/10,9	52/13/35

Tabela 1. Parametry wybranych paliw przyjętych do obliczeń symulacyjnych

Zasięg czopa strugi wybranych paliw został wyznaczony z zależności (1), (2) i (3) [1,2,4]. W obliczeniach tych zmiennymi parametrami były:

- ciśnienie wtrysku (rys.1),
- ciśnienie ośrodka gazowego (rys.2),
- średnica otworka rozpylacza (rys.3).

$$0 < t < t_b, \quad S = 0,39 \cdot \left( \frac{2 \cdot \Delta p}{\rho_\ell} \right)^{0,5} \cdot t \quad (1)$$

$$t > t_b, \quad S = 2,95 \cdot \left( \frac{\Delta p}{\rho_a} \right)^{0,25} \cdot (D \cdot t)^{0,5} \quad (2)$$

$$t_b = 28,65 \frac{\rho_\ell \cdot D}{(\rho_a \cdot \Delta p)^{0,5}} \quad (3)$$

gdzie:

S - zasięg czopa strugi rozpylanego paliwa [m],

D - średnica otworka rozpylacza [m],

$\Delta p$  - efektywne ciśnienie wtrysku ( $p_i - p_a$ ) [MPa],

$p_i$  - ciśnienie wtrysku [MPa],

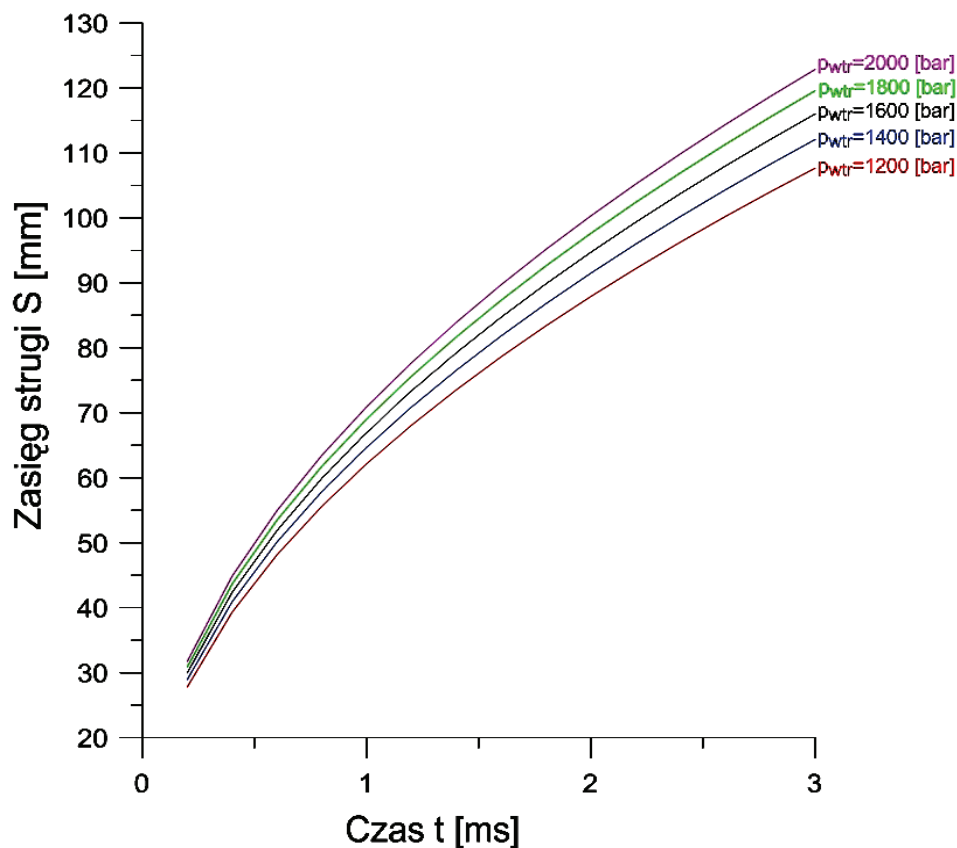
$p_a$  - ciśnienie otoczenia (powietrza, do którego dokonywany jest wtrysk) [MPa],

t - czas [s],

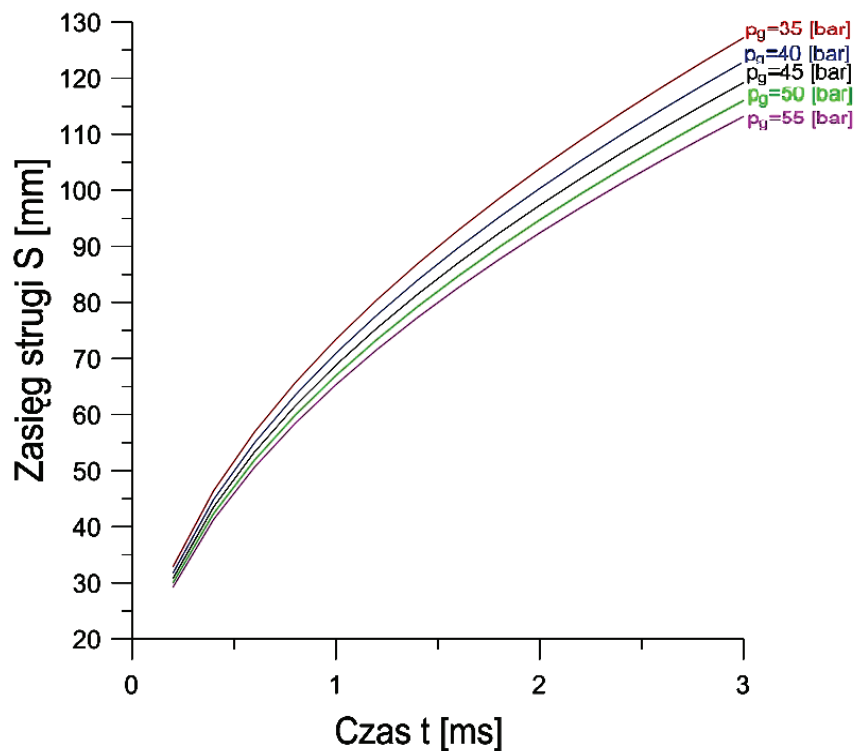
$t_b$  - czas rozpadu [s],

$\rho_a$  - gęstość powietrza [kg/m<sup>3</sup>],

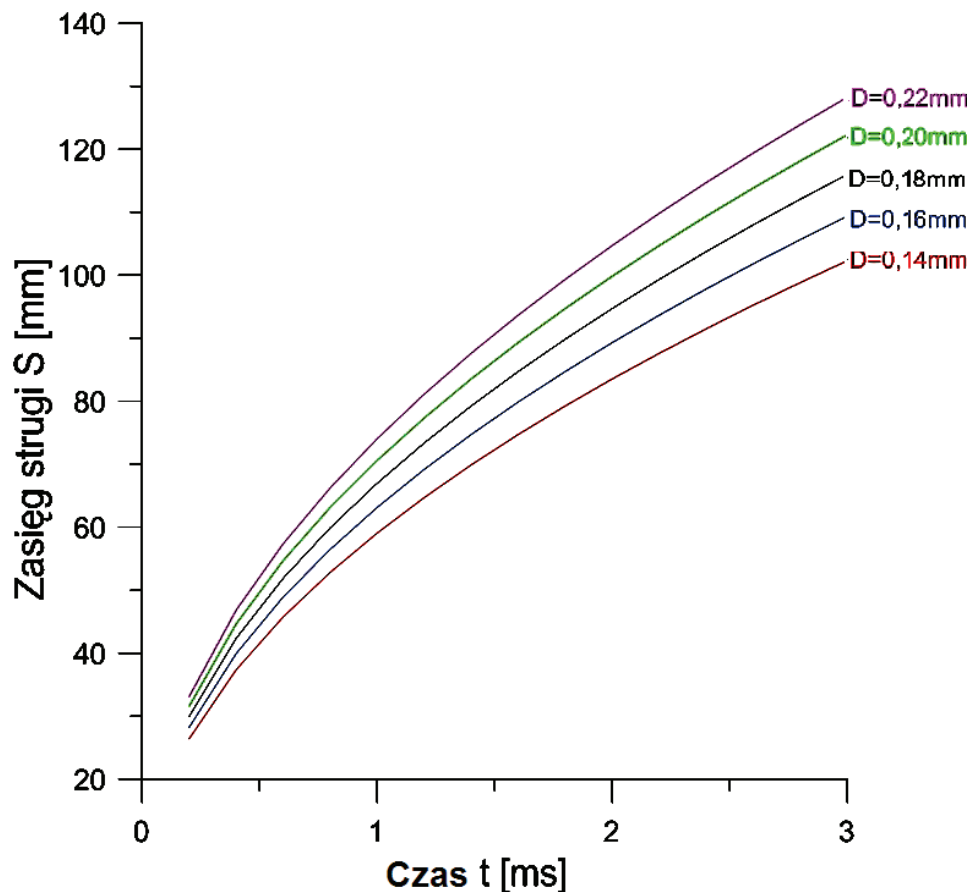
$\rho_\ell$  - gęstość paliwa [ $\text{kg}/\text{m}^3$ ].



Rys.1. Wpływ ciśnienia wtrysku paliwa na zasięg strugi ( $D=0,18$  [mm],  $p_g=50$  [bar])



Rys.2. Wpływ ciśnienia ośrodka gazowego, do którego odbywa się wtrysk paliwa na zasięg strugi ( $D=0,18$  [mm],  $p_{wtr}=1600$  [bar])



Rys.3. Wpływ średnicy otworka rozpylacza na zasięg strugi ( $p_g=50$  [bar],  $p_{wtr}=1600$  [bar])

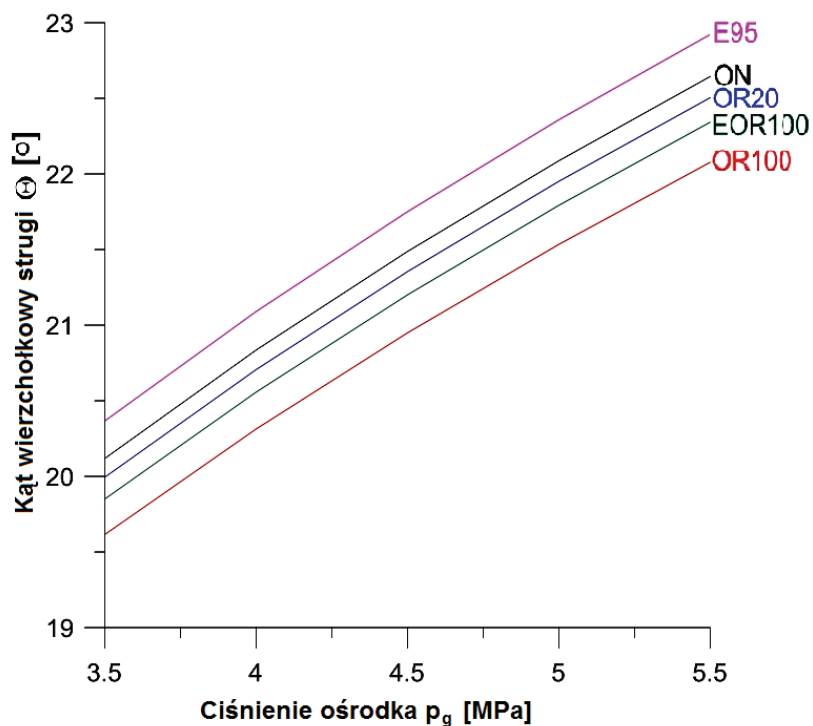
Kąt wierzchołkowy strugi wybranych paliw został wyznaczony z zależności (4) [1,2,4].  
W obliczeniach tych zmiennymi parametrami były:

- ciśnienie ośrodka gazowego (rys.4),
- średnica otworka rozpylacza (rys.5).

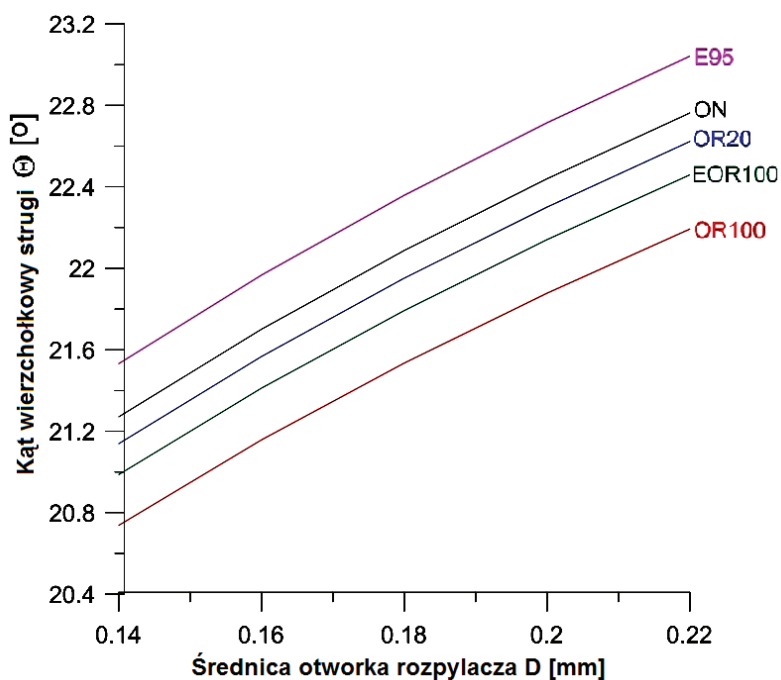
$$\theta = 83,5 \cdot \left(\frac{L}{D}\right)^{-0,22} \cdot \left(\frac{D}{D_0}\right)^{0,15} \cdot \left(\frac{\rho_a}{\rho_\ell}\right)^{0,26} \quad (4)$$

gdzie:

- $\theta$  - kąt wierzchołkowy strugi [°],
- $D$  - średnica otworka rozpylacza [m],
- $D_0$  - średnica komory rozpylacza [m],
- $L$  - długość otworka rozpylacza [m],
- $\rho_a$  - gęstość powietrza [ $\text{kg/m}^3$ ],
- $\rho_\ell$  - gęstość paliwa [ $\text{kg/m}^3$ ].



Rys.4. Wpływ ciśnienia ośrodka gazowego, do którego odbywa się wtrysk paliwa na kąt wierzchołkowy strugi dla różnych paliw ( $D=0,18$  [mm],  $p_{wtr}=1600$  [bar])



Rys.5. Wpływ średnicy otworka rozpylacza na kąt wierzchołkowy strugi dla różnych paliw ( $p_g=50$  [bar],  $p_{wtr}=1600$  [bar])

Średnia średnica Sautera wybranych paliw została wyznaczona z zależności (5), (6) i (7) [1,2,4]. W obliczeniach tych zmiennymi parametrami były:

- średnica otworka rozpylacza (rys.6),
- lepkość kinematyczna paliwa (rys.7).

Względną średnicę SMD -  $\frac{\bar{X}_{32}}{D}$  wyznaczamy z zależności:

$$\frac{\bar{x}_{32}}{D} = \text{MAX}\left[\frac{\bar{x}_{32}^{\text{LS}}}{D}, \frac{\bar{x}_{32}^{\text{HS}}}{D}\right] \quad (5)$$

Względna średnica SMD dla niecałkowitego rozpylenia -  $\frac{\bar{x}_{32}^{\text{LS}}}{D}$  :

$$\frac{\bar{x}_{32}^{\text{LS}}}{D} = 4,12 \cdot \text{Re}^{0,2} \cdot \text{We}^{-0,75} \cdot \left(\frac{\mu_{\ell}}{\mu_a}\right)^{0,54} \cdot \left(\frac{\rho_{\ell}}{\rho_a}\right)^{0,18} \quad (6)$$

Względna średnica SMD dla całkowitego rozpylenia -  $\frac{\bar{x}_{32}^{\text{HS}}}{D}$  :

$$\frac{\bar{x}_{32}^{\text{HS}}}{D} = 0,38 \cdot \text{Re}^{0,25} \cdot \text{We}^{-0,32} \cdot \left(\frac{\mu_{\ell}}{\mu_a}\right)^{0,37} \cdot \left(\frac{\rho_{\ell}}{\rho_a}\right)^{-0,47} \quad (7)$$

gdzie:

D - średnica otworka rozpylacza [m],

Re - liczba Reynoldsa,

We - liczba Webera,

$\bar{x}_{32}$  - średnica Sautera [m],

$\bar{x}_{32}^{\text{LS}}$  - średnica Sautera dla niecałkowitego rozpylenia [m],

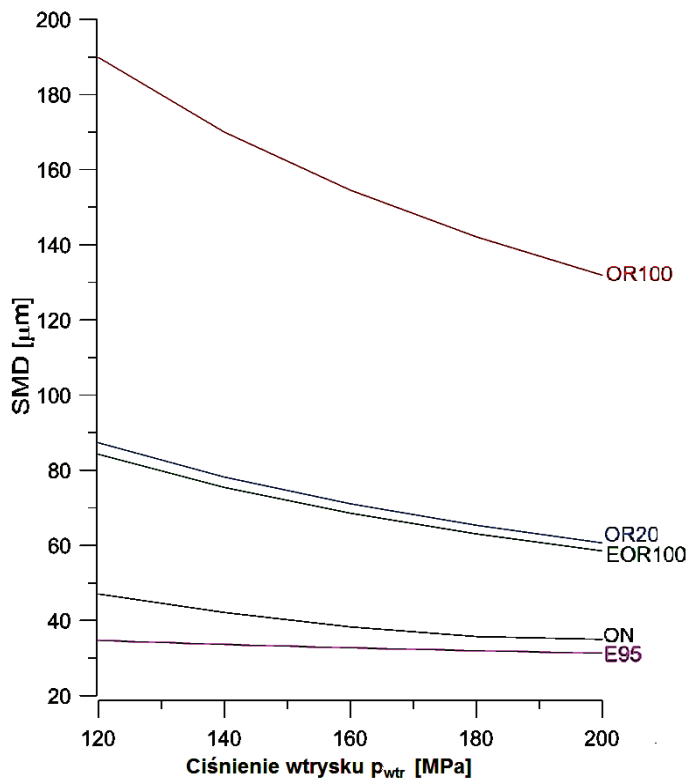
$\bar{x}_{32}^{\text{HS}}$  - średnica Sautera dla całkowitego rozpylenia [m],

$\mu_a$  - lepkość powietrza [Pa s],

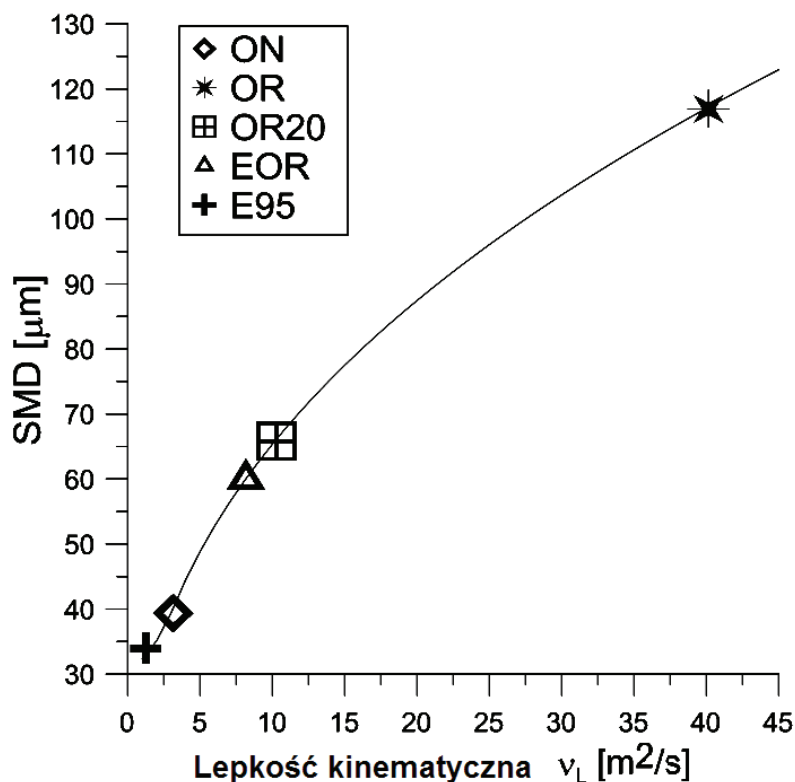
$\mu_{\ell}$  - lepkość paliwa [Pa s],

$\rho_a$  - gęstość powietrza [kg/m<sup>3</sup>],

$\rho_{\ell}$  - gęstość paliwa [kg/m<sup>3</sup>],



Rys.6. Wpływ ciśnienia wtrysku paliwa na średnią średnicę Sautera SMD (D=0,18 [mm],  $p_g=50$  [bar])



Rys.7. Wpływ lepkości kinematycznej paliwa na średnią średnicę Sautera SMD ( $p_g=50$  [bar],  $p_{wtr}=1600$  [bar],  $D=0,18$  [mm])

Na rys. 6, 7 przedstawiono wpływ zmiany średnicy Sautera w zależności od ciśnienia wtrysku paliwa oraz lepkości rozpatrywanych paliw. Z ilustracji graficznych wyników obliczeń wynika, że zwiększenie ciśnienia wtrysku jak również stosowanie paliwa o mniejszej lepkości, jest skutecznym sposobem na zmniejszenie średniej średnicy Sautera.

### 3. PODSUMOWANIE

Podstawowymi i zarazem najczęściej stosowanymi parametrami oceny jakości rozpylanego paliwa są zasięg czoła strugi, kąt wierzchołkowy oraz średnice kropeł. Najbardziej adekwatnym parametrem określającym wielkość tworzonych w procesie rozpylania kropeł jest ich średnica [6]. Spośród wielu warunków związanych z wtryskiem paliwa, duży wpływ na średnią średnicę Sautera wywiera prędkość wtrysku paliwa, średnica otworka rozpylacza oraz lepkość paliwa. Potwierdzeniem tego są przeprowadzone w tym artykule obliczenia symulacyjne z wykorzystaniem modelu rozpylenia Hiroyasu i Arai.

### LITERATURA

- [1] Hiroyasu H., Arai M.: Structures of Fuel Sprays in Diesel Engines. SAE Transactions, 1990.
- [2] Hiroyasu H., Arai M., Tabata M.: Empirical Equations for the Sauter Mean Diameter of a Diesel Spray. SAE Transactions, 1989.
- [3] Kuszewski H., Ustrzycki A.: Wpływ warunków wtrysku na mikrostrukturę strugi rozpylanego paliwa. Науково-технічний збірник, № 16 `2008, Вісник Національного транспортного університету, Київ 2008.
- [4] Kuszewski H.: Wykorzystanie zależności kryterialnych do obliczeń parametrów strugi rozpylanego paliwa. Науково-технічний збірник, № 16 `2008, Вісник Національного транспортного університету, Київ 2008.

- [5] Lejda K., Lew K.: Charakterystyka czynników determinujących parametry rozpylenia paliwa w silnikach wysokoprężnych. Works of Western Scientific Centre of Ukrainian Transport Academy on „Проектування, виробництво та експлуатація автотранспортних засобів і поїздів”, Vol. 16, Lwów 2009.
- [6] Lejda K., Lew K.: Wpływ rozpylenia paliwa na proces spalania we współczesnych silnikach wysokoprężnych. Науково-технічний збірник, № 16 `2008, Вісник Національного транспортного університету, Київ 2008.
- [7] Orzechowski Z., Prywer J.: Rozpylanie cieczy w urządzeniach energetycznych. Wydawnictwa Naukowo-Techniczne, Warszawa 1994.

### **EFFECT OF SELECTED INJECTION PARAMETERS ON QUALITY OF LIQUID FUEL SPRAYING TO DIESEL ENGINES SUPPLY**

The influence of key parameters related to the quality of the fuel injection spray of liquid fuel to power diesel engines has been presented. Some calculations examples of the range front of the spray, spray angle and average Sauter diameter are demonstrated. In order to do it, the model worked out by Hiroyasu, Arai i Tabata was used.