

Andżelika KRUPIŃSKA, Marek OCHOWIAK, Sylwia WŁODARCZAK, Małgorzata MARKOWSKA
Politechnika Poznańska
Wydział Technologii Chemicznej

POMIAR ROZKŁADU PROMIENIOWEGO WIELKOŚCI KROPEL

Celem niniejszej pracy jest przedstawienie metodyki pomiarowej z wykorzystaniem zmodyfikowanego stanowiska badawczego umożliwiającego wyznaczenie charakterystyki powstającego aerozolu. Głównym elementem układu jest analizator wielkości cząstek Spraytec firmy Malvern Instruments wraz z komputerem z odpowiednim oprogramowaniem. Aby wyznaczyć promieniowy rozkład wielkości kropeł opracowano odpowiednią procedurę pomiarową, dostosowano tryb pomiaru oraz częstotliwość zbierania danych. Badane rozpylacze umieszczone były na suwnicy poruszającej się po określonym torze, ze stałą prędkością, co pozwalało na pomiar średnicy kropeł w całym obszarze rozpylanej strugi cieczy.

THE MEASUREMENT OF THE RADIAL DISTRIBUTION OF DROPLETS SIZE

The aim of this paper is to present the measurement methodology using a modified experimental set-up allows for the aerosol characteristic determination. The main element of the system is a particle size analyser Spraytec by Malvern Instruments with a PC computer equipped with appropriate software. To determine the radial droplet size distribution, an appropriate measurement procedure was developed, the measurement mode and frequency of data collection were adapted. The tested atomizers were placed on a crane moving along a defined path, at a constant speed, which allowed measurement of the droplets diameter in the entire sprayed liquid area.

1. WPROWADZENIE

Rozpylenie cieczy to proces, podczas którego masa cieczy rozpada się na małe krople w wyniku działania sił wewnętrznych oraz zewnętrznych [1]. Dezintegracja strugi jest możliwa w momencie, gdy siły niszczące przekraczają siły napięcia powierzchniowego cieczy. Proces rozpylenia charakteryzowany jest przez wiele parametrów. Jednym z istotniejszych jest jakość rozpylenia, którą można zdefiniować jako sumę dwóch składowych: stopnia oraz jednorodności rozpylenia. Stopień rozpylenia pozwala uzyskać informację, jak małe krople wytworzono podczas procesu, natomiast jednorodność rozpylenia oznacza różnicę między skrajnymi charakterystycznymi średnicami kropeł $D_{0,9}$ i $D_{0,1}$. Średnice te informują, że odpowiednio 10% i 90% całej objętości cieczy tworzą krople o średnicach mniejszych bądź równych temu wymiarowi. Większa jednorodność jest równoznaczna z węższym zakresem średnic. Oceny jakości rozpylenia cieczy dokonuje się doświadczalnie, poprzez pomiary uzyskanych średnich średnic kropeł. Mały stopień rozpylenia oznacza, że otrzymano duże średnice kropeł, zaś duży stopień rozpylenia – krople o małych rozmiarach [2].

W zależności od miejsca wykorzystania procesu rozpylenia pojawiają się odmienne wymagania dotyczące charakterystyki aerozolu, ze szczególnym uwzględnieniem średnic powstających kropeł i ich rozkładu. W literaturze spotyka się kilka umownych średnich średnic kropli, które dostarczają różnorodnych informacji w zależności od wymagań procesu [3]. Jedną z najpopularniejszych średnich średnic kropli jest średnica Sautera, nazywana średnią średnicą objętościowo- powierzchniową. Zdefiniowana jest ona zależnością:

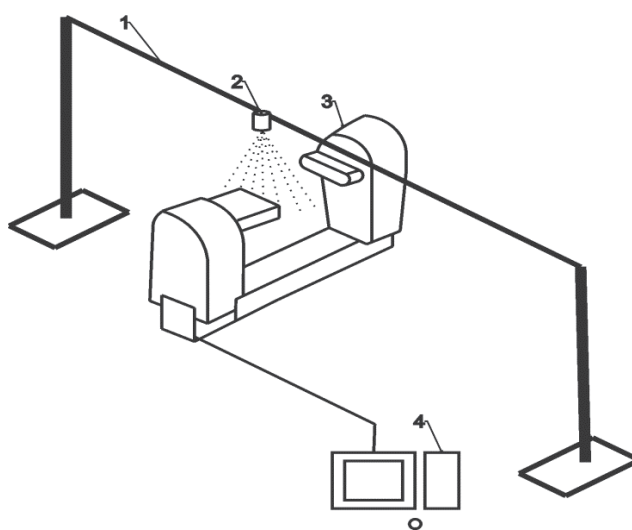
$$D_{32} = SMD = \frac{\sum_{i=1}^{i=j} N_i D_i^3}{\sum_{i=1}^{i=j} N_i D_i^2} \quad (1)$$

Średnia średnica Sautera to średnica kropli o takim samym stosunku objętości do pola powierzchni jak całkowita objętość wszystkich kropli, do całkowitej powierzchni wszystkich kropli w danym zbiorze rzeczywistym. Wykorzystywana jest m.in.: do charakterystyki makrostruktury sprayu, gdzie istotna jest powierzchnia aktywna, np. w katalizie, podczas spalania, do obliczania wydajności i szybkości transportu masy w reakcji chemicznej [4,5].

Równorzędnie ważną daną jak rozmiar powstających kropli jest rozkład wielkości kropli. W pracy [6] autorzy opisują możliwe warianty pomiaru rozkładu kropli w powstającym aerozolu, jako odnoszące się do: pełnego rozkładu kropli, obwodowego i promieniowego. Pełny (trójwymiarowy) rozkład wielkości kropli pozwala na uzyskanie najbardziej szczegółowych i wiarygodnych danych, jednakże wymaga zdecydowanie większej pracochłonności od dwóch pozostałych. Jest to argument przemawiający często za wyborem do analizy rozkładu obwodowego, czy promieniowego.

2. CZĘŚĆ EKSPERYMENTALNA

Na rysunku 1 przedstawiono schemat utworzonego, zmodyfikowanego stanowiska pomiarowego, umożliwiającego pomiar rozkładu promieniowego wielkości kropli. Stanowisko składa się z dwóch modułów: modułu pozwalającego na sterowanie parametrami operacyjnymi procesu oraz modułu pomiarowego. Elementami układu są: zbiornik magazynujący rozpylaną ciecz, rotametry firmy Krohne Messtechnik typu VA 40, pompa CHI 2-30 firmy Grunfos Poland, sprężarka Metabo Mega 350-100D, suwnica, analizator Spraytec firmy Malvern Instruments oraz komputer z oprogramowaniem SOP. Stanowisko znajduje się w Sieci Badawczej Łukasiewicz, w Przemysłowym Instytucie Maszyn Rolniczych w Poznaniu.



Rys. 1. Schemat stanowiska badawczego: 1 – suwnica, 2 – rozpylacz, 3 – analizator Spraytec, 4 – komputer

Fig. 1. Scheme of experimental set-up:

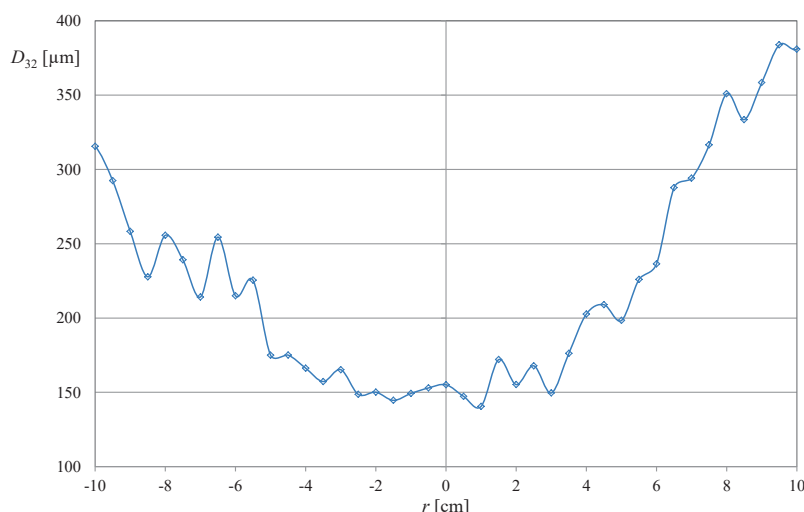
1 – gantry crane, 2 – atomizer, 3 – Spraytec analyzer, 4 – computer

Badane rozpylacze umieszczone były na suwnicy poruszającej się po wyznaczonym torze jazdy wynoszącym $l = 0,842$ m, ze stałą prędkością $w = 0,05$ m/s. Aby zapewnić powtarzalność wyników próbki rozpylano zawsze z tego samego miejsca. Odległość pomiędzy otworem wylotowym rozpylacza a punktem pomiarowym (wiązką lasera) była stała i wynosiła 0,520 m. Głównym elementem jednostki optycznej jest analizator wielkości cząstek. Do pomiarów wybrano soczewkę 750 mm, ponieważ jest ona dedykowana dla aerozoli, których średnice D_{50} należą do zakresu 5–1600 μm . Kluczowym etapem przeprowadzenia procesu pomiarowego było stworzenie standardowej procedury pomiarowej (SOP). Wybrano tryb pomiaru szybki (*rapid*), o częstotliwości

zbierania danych wynoszącej 10 Hz. Wartość czasu pomiaru zdefiniowano na podstawie wielokrotnej obserwacji pomiaru testowego i wynosiła ona 40 s. Jest to interwał czasu pozwalający na dwukrotne przebycie przez rozpylacz wyznaczonej drogi.

Aby określić rozkład wielkości kropeł w powstającym aerozolu koniecznym jest wykonanie poszczególnych etapów procesu pomiarowego. W pierwszej kolejności należy przygotować i rozpylić ciecz, która ma być analizowana. Aerozol rozpylany jest w strefie pomiarowej, przez którą przechodzi wiązka światła laserowego helowo-neonowego, pomiędzy nadajnikiem a odbiornikiem. Optyka kolimacyjna ma na celu rozszerzenie wiązki laserowej tak, by powstała szeroka wiązka równoległa. Światło lasera, zaburzone przez przepływające krople, skupiane jest za pomocą soczewki Fouriera na detektorze. Odbiornik wyposażony jest w układ detektorów pozwalających na wychwytywanie wzorów rozproszenia światła na powstających strukturach i ich przekształcenie na sygnał elektryczny. Następnie zarejestrowany sygnał jest poddawany analizie, przy użyciu właściwego modelu optycznego, w celu obliczenia rozkładu wielkości kropeł. Światło, które nie uległo rozproszeniu, trafia także na soczewkę skupiającą Fouriera, a następnie przechodzi przez otwór na środku zespołu detektorów. Natężenie światła nierozproszonego jest mierzone przez detektor mocy lasera – detektor 0 – informując o transmisji światła. Wygenerowane wyniki są dostępne w różnych formach, np. jako dane tabelaryzowane, wykresy wraz z krzywymi skumulowanymi, udziały objętościowe poszczególnych frakcji. Oprogramowanie umożliwia powtórny analizę wyników kompleksowo, jak i wybranych punktów pomiarowych, a także nakładanie wykresów, czy obliczanie wartości średnich. Innym udogodnieniem jest alternatywa eksportowania danych do innych programów, w celu dokonywania dalszej analizy. Wielkość kropli jest wyznaczana na podstawie zmierzonego kąta rozproszenia światła. Odbiornik urządzenia wyposażony jest w ponad 30 osobnych detektorów przystosowanych do zbierania światła rozproszonego, w określonym zakresie kątów. Wielkość kropli a pomierzony kąt rozproszenia powiązane są zależnością odwrotnie proporcjonalna.

Znając prędkość przesuwu rozpylacza oraz częstotliwość zbierania danych można wyznaczyć wartość analizowanej średnicy kropli (np. D_{32}) w danej odległości od osi aerozolu. Po eksportowaniu danych do arkusza kalkulacyjnego Microsoft Excel istnieje możliwość wykreślenia zależności otrzymywanych średnic kropeł w odległości od osi aerozolu. Przykładowy rezultat obrazuje rysunek 2.



Rys. 2. Przykładowy promieniowy rozkład średnic średnic kropeł w strumieniu cieczy (r -odległość od osi aerozolu)

Fig. 2. An example of radial distribution of mean droplet diameter in a liquid stream (r -distance from the aerosol axis)

Rozwiązanie takie pozwala nie tylko na określenie wielkości powstających kropeł, ale także na pełniejszą charakterystykę całego strumienia, czy wykazanie jego symetrii. Ponadto z takiego układu

możliwym jest także wyznaczenie uzyskiwanego kąta rozpylania, który jest bardzo istotnym parametrem wydajnościowym.

3. PODSUMOWANIE

Modyfikacja standardowego stanowiska poprzez dodanie suwnicy umożliwiającej ruch badanego rozpylacza oraz opracowanie odpowiedniej procedury pomiarowej pozwala na wyznaczenie pełnej charakterystyki aerozolu. Poza standardowym wyznaczeniem wartość średniej średnicy kropli umożliwia ono określenie średniej średnicy w danej odległości od osi aerozolu, wyznaczenie kąta rozpylania, rozkładu promieniowego oraz określenie jednorodności i symetrii strumienia rozpylonych kropel.

Praca wykonana w ramach projektu PUT 0912/SABD/2002 dofinansowanego przez Ministerstwo Nauki i Szkolnictwa Wyższego.

LITERATURA

1. Liu H.: Science and engineering of droplets Fundamentals and Applications, Noyes Publications, New York 2000.
2. Ochowiak M.: Teoria i praktyka rozpylaczy o przepływie zawieszonym, BEL Studio Sp. z o.o., Warszawa 2018.
3. Bocheński C., Jankowski A., Sandel A., Siemiński-Jankowska B.: Badania widma rozpylenia paliwa w systemie common – rail do silników z zapłonem samoczynnym, Journal of KONES Internal Combustion Engines 2002.
4. Włodarczak S.: Analiza hydrodynamiki w rozpylaczach wirowych, Rozprawa doktorska Politechnika Poznańska 2016.
5. Schick R.J.: Spray Technology Reference Guide: Understanding Drop Size, Spraying Systems Co. 2006.
6. Zbrożek P., Prasula J.: Wpływ wielkości średnic kropli mgły wodnej na efektywność tłumienia pożarów i chłodzenie, Bezpieczeństwo i Technika Pożarowa 2009.