

Marcin LEWANDOWSKI, Adam PELESZ

Politechnika Wrocławska, Instytut Podstaw Elektrotechniki i Elektrotechnologii

Elektryzacja kropeł aerozoli wytwarzanych przy użyciu głowic hydraulicznych

Streszczenie. W artykule przedstawiono proces elektryzacji cząstek aerozolu wytworzonego za pomocą rozpylaczy hydrodynamicznych. Do elektryzacji kropeł zastosowano metodę przewodnościową. Celem badań było wyznaczenie parametru (Q/m) dla różnych warunków elektryzacji. Uzyskane wartości parametru (Q/m) wskazują na stosunkowo niską skuteczność procesu elektryzacji. Uzyskane wyniki potwierdzają pozytywny wpływ elektrody uziemionej na stosunek (Q/m) .

Abstract. The process of electrification aerosol particles generated by hydrodynamic sprayer is presented in this paper. The conductive method to electrification drops was used. The aim of this study was to determine the parameter (Q/m) for different conditions of the electrification process. A relatively low efficiency of the electrification process is confirmed by obtained parameter (Q/m) . The positive impact of a grounded electrode on the ratio (Q/m) is attested by the results of the experiment. (**Electrification aerosol particles generated by hydrodynamic sprayer**)

Słowa kluczowe: elektryzacja przewodnościowa, elektro-aerozole, dysza hydrauliczna
Keywords: conductive electrification, electro-aerosol, hydrodynamic sprayer

Wstęp

Elektryzację cząstek aerozolu wykorzystuje się w wielu procesach technologicznych, głównie w celu poprawy ich efektywności [1]. Elektryzacja cząstek wykorzystywana jest w malowaniu farbami ciekłymi i proszkowymi oraz w rolnictwie. Coraz częściej elektro-aerozole stosowane są w medycynie, dezynsekcji, nanoszeniu cienkich warstw, przy gaszeniu pożarów lub kosmetologii [2,3,4]. Do tworzenia elektro-aerozoli z cieczy, w których faza rozpraszana jest obdarzona ładunkiem elektrycznym wykorzystuje się rozpraszanie elektrostatyczne, pneumatyczne, hydrauliczne i inne. Poniżej przedstawiono próby wykorzystania do wytworzenia elektro-aerozoli standardowych rozpylających głowic hydraulicznych. Celem podjętych badań była ocena efektywności elektryzacji oraz zbadanie wpływu dodatkowej uziemionej elektrody w układzie trójelektrodowym. Przyjmuje się, że minimalny poziom elektryzacji kropeł aerozolu – mierzony parametrem (Q/m) , przy którym obserwuje się oddziaływanie sił kulombowskich, jest na poziomie 2 mC/kg [5]. Przy dominującym wpływie sił elektrostatycznych można bardzo precyzyjnie sterować trajektorią lotu cząstek.

Elektryzacja kropeł

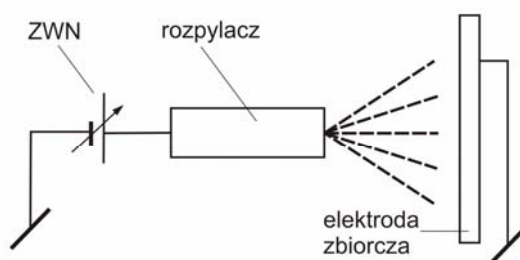
Do elektryzacji kropeł cieczy przewodzących stosuje się metodę przewodnościową, indukcyjną lub ulotową [1]. Ze względu na konstrukcję głowic rozpylających oraz konieczność ograniczenia przestrzeni zajmowanej przez elementy pod wysokim napięciem do badań wytypowano metodę przewodnościową. Metoda przewodnościowa, podobnie jak indukcyjna, wymaga uzyskania maksymalnej wartości natężenia pola elektrycznego E w obszarze atomizacji cieczy [6]. Spełnienie wymienionego warunku umożliwi osiągnięcie maksymalnej wartości gęstości ładunku

na powierzchni kropeł q_s . Zależność ładunku powierzchniowego od natężenia pola elektrycznego opisuje równanie:

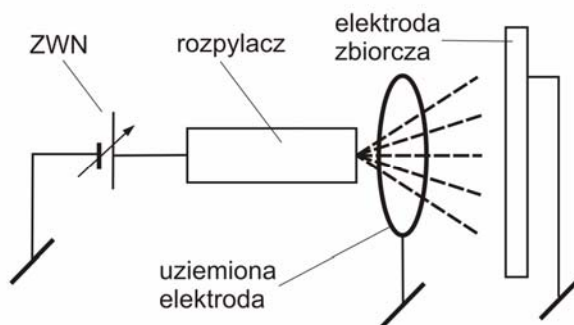
$$(1) \quad q_s = \varepsilon_0 E$$

W elektryzacji metodą przewodnościową wykorzystano układ dwuelektrodowy (rys.1) oraz trójelektrodowy (rys.2).

Rozpraszaną ciecz umieszczono w zbiorniku ciśnieniowym, zasilanym sprężonym powietrzem, umożliwiającym podawanie jej na głowicę rozpylającą. Zbiornik (lub rozpylacz) umieszczony jest na wysokim potencjale względem ziemi natomiast elektroda zbiorcza – kolektor jest uziemiona. Dodatkowo w układzie trójelektrodowym w pobliżu obszaru atomizacji cieczy umieszczona jest elektroda na potencjale ziemi. Zastosowanie elektrody uziemiającej pozwalało uzyskać lokalny wzrost natężenia pola elektrycznego w obszarze atomizacji. W opisanej metodzie ciecz bez względu na układ elektrod zawsze znajduje się na wysokim potencjale.



Rys.1. Schemat układu dwuelektrodowego dla elektryzacji metodą przewodnościową



Rys.2. Schemat układu trójelektrodowego dla elektryzacji metodą przewodnościową

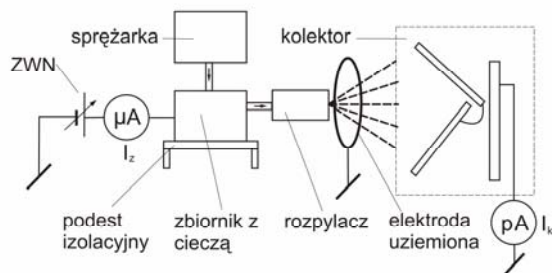
Układ pomiarowy

Układ do pomiaru właściwości elektrycznych dysz hydraulicznych przedstawiono na rysunku 3.

Zbiornik z cieczą zasilany jest napięciem stałym z regulowanego zasilacza wysokiego napięcia stałego ZWN typu Glassman 0-40 kV. W celu odizolowania zbiornika z cieczą rozpraszaną do masy, umieszczony został on na podeście izolacyjnym Zbiornik

VI Lubuska Konferencja Naukowo-Techniczna – i-MITEL 2010

został podłączony do sprężarki za pomocą elastycznego, nieprzewodzącego węża wykonanego z PCV. Prąd kolektora (chmury) mierzony był analogowym pikoamperomierzem PA-100 (I_k), a prąd zasilacza mikroamperomierzem magnetoelektrycznym LG-1 (I_z). Do zbierania naelektryzowanych cząstek aerozoli zastosowano kolektor opisany w pracy [6].



Rys.3. Schemat układu pomiarowego do badania właściwości elektrycznych dysz hydraulicznych (dla układu dwuelektrodowego bez elektrody uziemionej; dla układu trójelektrodowego z elektrodą uziemioną) dla elektryzacji metodą przewodnościową gdzie I_z - prąd zasilacza, I_k - prąd kolektora

Wartość parametru (Q/m) została wyznaczona na podstawie zależności:

$$(2) \quad (Q/m) = \frac{I_k t_k}{V_k \gamma}$$

gdzie: I_k - maksymalna ustalona wartość prądu chmury dla określonych warunków elektryzacji oraz przepływu mediów (wody i powietrza), γ - gęstość medium rozpraszanego (wody), V_k - objętość rozpraszanej cieczy, zebranej na kolektorze w czasie t_k .

Głowice rozpylające

Jedną z częściej stosowanych metod tworzenia aerozoli, głównie w przemyśle agrotechnicznym, jest rozpraszanie za pomocą dysz hydraulicznych (hydrodynamicznych) [7]. Badaniom poddano dysze o różnych kształtach strumienia aerozolu: wachlarzowym (rys.4,5) i wirowym (rys.6).

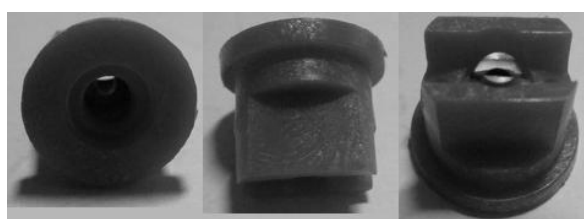
W rozpylaczu wachlarzowym (płaskostrumieniowym) dochodzi do zderzenia się strug cieczy płynących z przeciwnych kierunków. Ciecz wyływająca przez szczelinę przyjmuje formę płaskiej strugi (błony) w kształcie wachlarza. W rozpylaczu wirowym ciecz wprawiana jest w ruch obrotowy w komorze obrotowej. Ciecz wypływa z rozpylacza w formie stożkowej błony, która później rozpada się na krople. Struga w rozpylaczu wachlarzowym i wirowym łatwiej ulega rozpadowi na krople niż w strudze uzyskanej w klasycznym rozpylaczu strumieniowym [7].

Elektroda uziemiona dla układu trójelektrodowego została wykonana z aluminiowego pręta o średnicy 5mm. Geometria elektrod była określona kształtem strumienia dla poszczególnych rozpylaczy. Dla rozpylaczy wachlarzowych miała kształt prostokątny o wymiarach 75x180 mm natomiast dla rozpylacza wirowego - okręgu o średnicy 75 mm. Odległość elektrody uziemionej od rozpylacza wynosiła 40 mm dla

rozpylaczy wachlarzowych oraz 10 mm dla rozpylacza wirowego. Odległość ta była zdeterminowana odległością miejsca atomizacji strumienia cieczy od rozpylacza.



Rys.4. Rozpylacz wachlarzowy F110/1-2/3 110 SF 03



Rys.5. Rozpylacz wachlarzowy MF4.45



Rys.6. Rozpylacz wirowy

Parametry rozpylaczy zostały wyznaczone dla cieczy pod ciśnieniem 2,8 bara i umieszczone w tabeli 1.

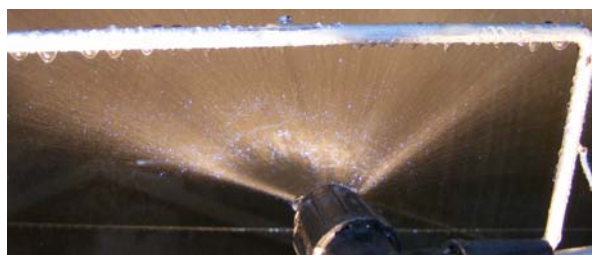
Tabela 1. Parametry rozpylaczy

Rodzaj rozpylacza	Wydatek wody [l/min]	Szerokość strumienia [deg]
110 SF 03	1,55	101 - 117
MF4.45	1,48	52 - 75
Wirowa	0,28	80 - 107

VI Lubuska Konferencja Naukowo-Techniczna – i-MITEL 2010

Wyniki

Strumienie cieczy rozpraszanej u wylotu dysz rozpylających, jak również tworzonego elektro-aerozolu przedstawiono dla rozpylacza wachlarzowego oraz wirowego odpowiednio na rysunkach 7 i 8. Przedstawione fotografie wykonano w warunkach elektryzacji strumienia cieczy w obszarze nasycania się prądu chmury aerozolu. Na fotografiach można zauważyć osadzające się krople rozpraszanej cieczy z widocznymi stożkami Taylora na uziemionej elektrodzie.



Rys.7. Strumień cieczy rozproszonej przy napięciu polaryzacji +26kV dla rozpylacza wachlarzowego



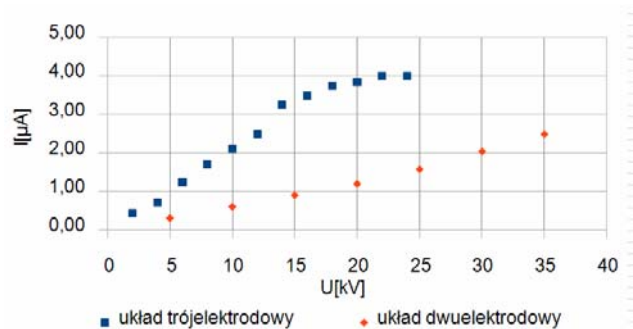
Rys.8. Strumień cieczy rozproszonej przy napięciu polaryzacji +18kV dla rozpylacza wirowego.

Wpływ napięcia polaryzującego zbiornik cieczy (oraz jej strumień zasilający głowicę rozpraszającą) na prąd kolektora (chmury) został przedstawiony na rysunku 9 dla rozpylacza wachlarzowego typu 110 SF 03, na rysunku 10 dla rozpylacza wachlarzowego typu MF4.45 oraz na rysunku 11 dla rozpylacza wirowego. Prąd kolektora został zmierzony dla układu dwu i trójelektrodowego. Odległość rozpylaczy od kolektora - 1 m.

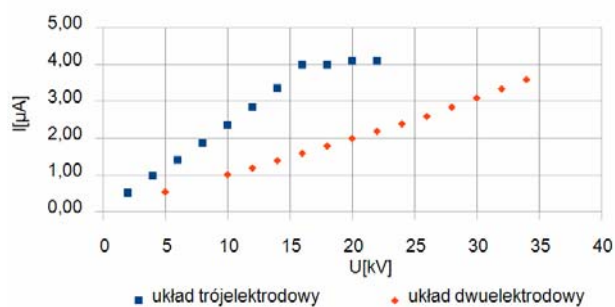
Z wyznaczonych zależności prądowo-napięciowych na rysunkach 9, 10, 11 można zauważyć obszar wysycenia się prądu chmury (kolektora) dla układu trójelektrodowego. Dla układu dwuelektrodowego prąd chmury zależy liniowo od napięcia zasilania. Dla rozpylaczy wachlarzowych otrzymano większe wartości prądu chmury dla układu z dodatkową elektrodą przy relatywnie mniejszym napięciu niż w układzie dwuelektrodowym. Odległość rozpylaczy od kolektora wynosiła – 1 m.

Wpływ napięcia polaryzującego zbiornik cieczy na parametr (Q/m) przedstawiono na rysunku 12 dla rozpylacza wachlarzowego typu 110 SF 03, na rysunku 13 dla rozpylacza wachlarzowego MF4.45 oraz na rysunku 14 dla rozpylacza wirowego. Parametr (Q/m) został zmierzony dla układu dwu- i trójelektrodowego i wyznaczony z

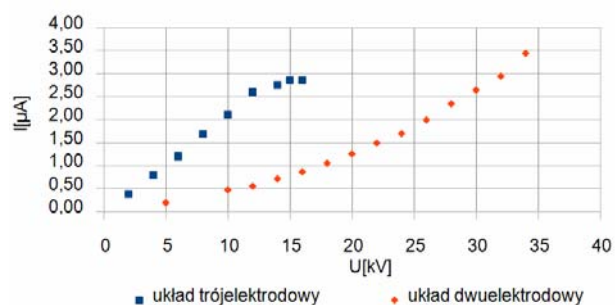
zależności (2). Zgodnie z tą zależnością parametr (Q/m) jest proporcjonalny do prądu kolektora dlatego wyznaczone charakterystyki na rysunkach 9,10 i 11 są analogiczne do wyznaczonych charakterystyk na rysunkach 12,13 i 14.



Rys.9. Zależność prądu kolektora (chmury) od napięcia polaryzacyjnego zbiornika z cieczą dla rozpylacza wachlarzowego 110 SF 03

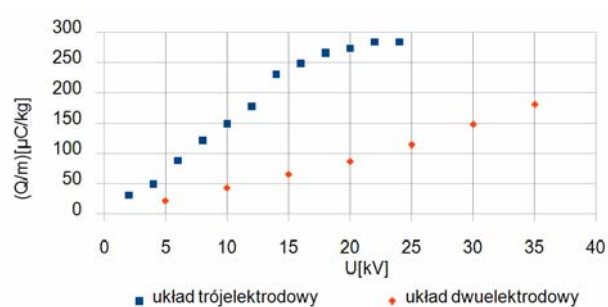


Rys.10. Zależność prądu kolektora (chmury) od napięcia polaryzacyjnego zbiornika z cieczą dla rozpylacza wachlarzowego MF4.45

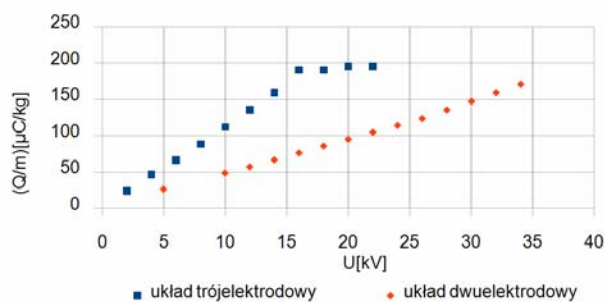


Rys.11. Zależność prądu kolektora (chmury) od napięcia polaryzacyjnego zbiornika z cieczą dla rozpylacza wirowego

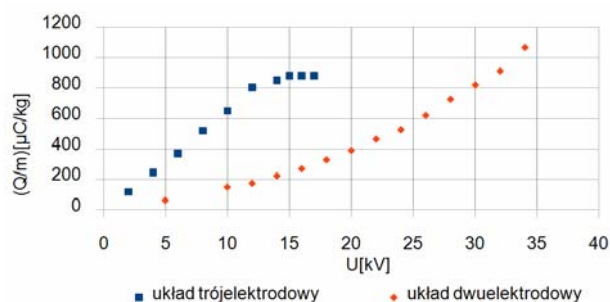
VI Lubuska Konferencja Naukowo-Techniczna – i-MITEL 2010



Rys. 14. Zależność parametru (Q/m) od napięcia polaryzacyjnego zbiornika z ciecżą dla rozpylacza wachlarzowego 110 SF 03



Rys. 15. Zależność parametru (Q/m) od napięcia polaryzacyjnego zbiornika z ciecżą dla rozpylacza wachlarzowego MF4.45



Rys. 16. Zależność parametru (Q/m) od napięcia polaryzacyjnego zbiornika z ciecżą dla rozpylacza wirowego

Podsumowanie

Zmierzona średnia wartość parametru (Q/m) dla całej chmury aerozolu zależy od udziału ładunku i masy niesionego przez poszczególne kropelki. Znane modele elektryzacji [1] wskazują, że parametr (Q/m) rośnie wraz ze zmniejszaniem się średnicy kropelek. Ze względu na występujący rozkład wielkości kropelek (ich średnic) oraz stosunkowo duże ich rozmiary – szacowane na 100 μm i więcej, obserwowane wartości parametru Q/m były na poziomie $n \times 10^{-5} - 10^{-4}$ C/kg. Wyniki te wskazują na stosunkowo niską skuteczność procesu elektryzacji.

Dla układu dwuelektrodowego, prąd chmury aerozolu zależy liniowo od napięcia zasilania. Nie obserwuje się zjawiska nasycenia prądu chmury.

Dla układu trójelektrodowego zaobserwowano wyraźne nasycenie się prądu chmury aerozolu, spowodowane występowaniem zjawiska ulotu między strumieniem rozpraszanej cieczy a dodatkową elektrodą.

Uzyskane wyniki potwierdzają możliwość korzystnego wpływu elektrody uziemionej na parametr (Q/m). Efektem zastosowania dodatkowej elektrody jest wzrost natężenia pola elektrycznego pomiędzy tą elektrodą a strumieniem rozpraszanej (przewodzącej) cieczy, znajdującej się na wysokim potencjale. Mniejsza wartość parametru (Q/m) dla układu z dodatkową elektrodą w porównaniu do układu dwuelektrodowego dla dyszy wirowej nie została wyjaśniona na obecnym etapie badań.

Praca naukowa finansowana ze środków na naukę w latach 2007-2010 jako projekt badawczo rozwojowy.

LITERATURA

- [1] Gajewski A., Procesy i technologie elektrostatyczne, *Wydawnictwo Naukowe PWN*, Warszawa – Kraków 2000
- [2] Gaunt L. F., Hughes J. F., Harrison N. M., Electrostatic deposition of charged insecticide sprays on electrically isolated insects, *Journal of Electrostatics*, 57 (2003), 35-47
- [3] Miao P., Balachandran W., Xiao P., Characterization of ZrO₂ and SiC ceramic thin films prepared by electrostatic atomization, *Journal of Material Science*, 36 (2001), 2925 – 2930
- [4] Cooper S. C., Law S. E., Electrostatic Sprays for Sunless Tanning of the Human Body, *IEEE Transaction On Industry Applications*, 42 (2006), 385 – 391
- [5] Law S. E., Agricultural electrostatic spray application: a review of significant research and development during the 20th century, *Journal of Electrostatics*, 51 – 52 (2001), 25 – 42
- [6] Kacprzyk R., Ulatowski W., Elektryzacja cząstek aerozoli cieczy przewodzących, *Przegląd Elektrotechniczny*, 10 (2008), s. 162-165.
- [7] Orzechowski Z., Prywer J., Rozpylanie cieczy, *Wydawnictwa Naukowo-Techniczne*, Warszawa 1991

Autorzy: mgr inż. Marcin Lewandowski, Politechnika Wrocławska, Instytut Podstaw Elektrotechniki i Elektrotechnologii,

Wyb. Wyspiańskiego 27, 50-370 Wrocław,

E-mail: marcin.p.lewandowski@pwr.wroc.pl;

Adam Pelesz, Instytut Podstaw Elektrotechniki i Elektrotechnologii, Wyb. Wyspiańskiego 27, 50-370 Wrocław,

E-mail: 145535@pwr.wroc.pl