

# XVII Konferencja Naukowo-Techniczna

# TKI2024

## TECHNIKI KOMPUTEROWE W INŻYNIERII

15–18 października 2024

### Modelowanie i analiza przepływu w dyszy do zamglawiania

Marcin Paturalski<sup>1</sup>, Łukasz Mazurkiewicz<sup>1</sup>, Michał Kucewicz<sup>1</sup>, Michał Tomaszewski<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Institut Mechaniki i Inżynierii Obliczeniowej, Wojskowa Akademia Techniczna  
email: marcin.paturalski@student.wat.edu.pl,

**STRESZCZENIE:** Celem badania było sprawdzenie sposobu rozchodzenia się strumienia z urządzenia zamglawiającego przy zastosowaniu technik symulacji komputerowej. Niezbędne było zamodelowanie domeny przepływu na podstawie modelu CAD badanej dyszy pneumatycznej. Wyniki analiz porównano z danymi uzyskanymi podczas badań eksperymentalnych wykonanych na tym samym urządzeniu. Model geometryczny modyfikowano w celu określenia optymalnych wartości. Parametrem walidacyjnym było natężenie przepływu dla rurki wlotowej powietrza. Zastosowano jednorodny ośrodek (powietrze), zgodnie ze sposobem przeprowadzenia eksperymentu z wykorzystaniem rotametri. Dzięki zastosowaniu różnych konfiguracji wylotu dyszy, udało się wskazać najważniejsze aspekty wpływające na wyniki. Wartości uzyskane podczas analizy dyszy ze zmodyfikowanym wylotem uznano za optymalne, co pozwala na wykorzystanie utworzonego modelu w dalszych badaniach.

**SŁOWA KLUCZOWE:** CFD, analiza przepływu, dysza, analiza numeryczna, mechanika płynów

#### 1. Wstęp

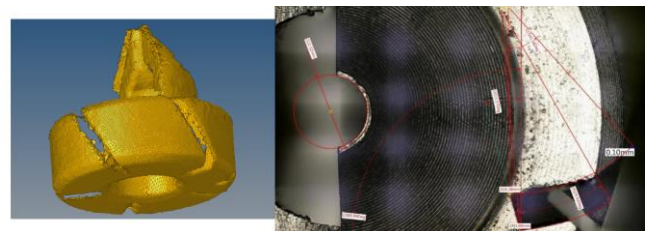
Zamglawianie, to proces najczęściej używany w dezynfekcji, polegający na wytwarzaniu mgły za pomocą dysz lub głowic rozpylających odpowiednie środki chemiczne. Mgła, zamglenie lub opary środka dezynfekcyjnego muszą osiągnąć określone stężenie i utrzymać je przez zadany okres, a rozpylone krople zwykle są bardzo drobne. Metoda nie zastępuje dokładnego czyszczenia – jest jedynie dodatkowym zabezpieczeniem. Proces, w którym mgła jest wytwarzana, jest dość powszechnie stosowany przez producentów chłodzonej żywności, zwłaszcza w środowiskach szczególnie wymagających wysokiej dbałości. Jest też stosowany w urządzeniach mających na celu przechowywanie jedzenia, np. lodówek czy zamrażarek [1]. W poprzednich latach, z powodu wybuchu pandemii, wzrosło zapotrzebowanie na technologie takie jak bramki czy namioty dezynfekcyjne. Ciągłe prowadzone są testy nowych rodzajów mechanizmów zamglawiających takich jak dysze pneumatyczne, czy zamglawiacze ultradźwiękowe, mogących usprawnić ich działanie [2].

#### 2. Zakres i cele pracy

W ramach analiz przepływu wykonano szereg testów, których zadaniem było sprawdzenie sposobu rozchodzenia się strumienia z urządzenia zamglawiającego. Uzyskane wyniki porównano z pomiarami eksperymentalnymi wykorzystującymi technikę PIV w objętości kontrolnej, mającego na celu otrzymanie rozkładu wektorów prędkości strugi płynu wypływającego z dyszy. W celu przeprowadzenia symulacji procesu zamglawiania niezbędne było zamodelowanie domeny przepływu, czyli objętości, w której analizowany jest przepływ.

#### 3. Metodologia, opracowanie modelu geometrycznego

Budowa modelu numerycznego została oparta o model CAD dyszy zamglawiającej wyprodukowanej przez firmę LAUFER. W celu stworzenia modelu geometrycznego dyszy wykonano pomiary z dokładnością do 0,01 milimetra. Części, w których występowały najmniejsze otwory i nacięcia zostały zmierzone pod specjalistycznym mikroskopem cyfrowym, pozwalającym na obserwację pod wieloma kątami, zapewniając przy tym dużą głębię ostrości. Te same elementy zostały poddane również skanom trójwymiarowym, wykorzystując oprogramowanie Shining 3D oraz skaner Einscan Pro 2x Plus (Rys.1.). Używając oprogramowania Solid Edge, zamodelowano wszystkie elementy dyszy, które następnie złożono tak aby odwzorować prawidłowe relacje między komponentami (Rys.2.).



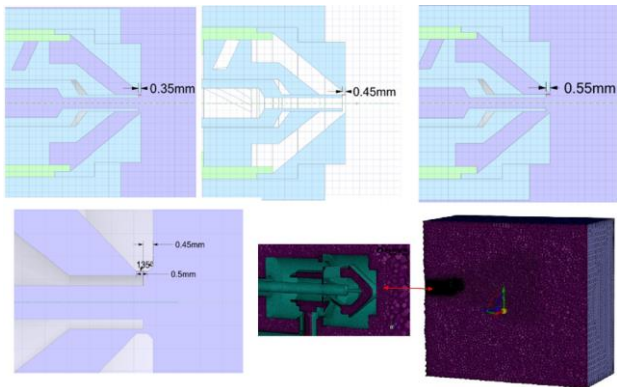
Rys. 1. Pozyskiwanie wymiarów najmniejszych elementów



Rys. 2. Model geometryczny dyszy zamglawiającej

#### 4. Modelowanie numeryczne i symulacja

Wstępne analizy pokazały, że na natężenie przepływu największy wpływ ma geometria wylotu dyszy, a dokładniej szczelina wylotowa, której wymiary definiują natężenie przepływu, które generowane jest przez dyszę. W celu określenia optymalnych wartości tego natężenia przeprowadzono szereg analiz dla zmiennej wielkości szczeliny oraz jej geometrii (Rys. 3.). Analizy prowadzone były na domenie przepływu w postaci prostopadłościanu, z zamontowaną dyszą na jednej ze ścianek.



Rys. 3. Konfiguracje dyszy analizowane podczas badań: 0,35 mm, 0,45 mm, 0,55 mm, 0,45 mm zmieniony stożek wylotowy

Wymuszenie było realizowane jako różnica ciśnienia. Na powierzchni wlotu rurki od powietrza przyłożono ciśnienie o wartości 2 bar.

Dla powierzchni wlotowych oraz wylotu domeny zadano ciśnienie atmosferyczne. Analizę prowadzono dla uproszczenia, które zakładało ściśle zachowanie płynu. Monitorowanym parametrem było natężenie przepływu na wlotach do rurek doprowadzających płyn. Analiza została przeprowadzona dla powietrza, tak aby była możliwa porównania z pomiarami natężenia przepływu wykonanymi za pomocą rotametri w badaniu eksperymentalnym. Całkowita liczba objętości skończonych z których składała się domena w zależności od przypadku wynosiła około 4 miliony.

Przepływ analizowany był z wykorzystaniem algorytmu typu Coupled, który umożliwia rozwiązywanie równań zachowania pędu oraz równań ciągłości bazujących na ciśnieniu w jednej pętli obliczeniowej. Zagadnienie rozwiązywane było jako przepływ ustalony w czasie (ang. steady-state). Zastosowano model turbulencji k-omega SST. Przeprowadzono około 6000 iteracji, które pozwoliły uzyskać zbieżność względną równania ciągłości na poziomie  $1e-5$ . Analizowano mapy prędkości dla poszczególnych konfiguracji dyszy. Parametrem walidacyjnym było natężenie przepływu dla rurki wlotowej powietrza, które porównano z odpowiadającymi wartościami natężenia przepływu uzyskanymi w wyniku przeprowadzonego eksperymentu przepływu przez rotametr w badaniu eksperymentalnym.

Zastosowanie jednorodnego ośrodka było podyktowane sposobem przeprowadzenia eksperymentu z wykorzystaniem rotametri. Natężenie przepływu wyliczone przy użyciu tej metody było rejestrowane dla przepływu powietrza bez obecności środka zamglawiającego.

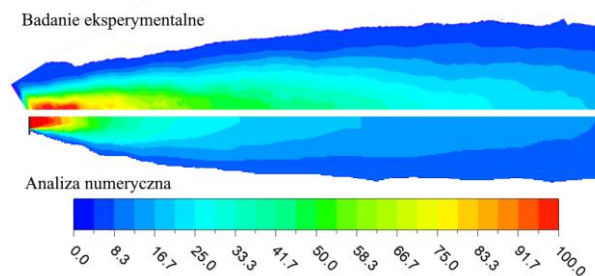
#### 5. Wyniki symulacji i ich analiza

W Tabeli 1. zestawiono wyniki analiz w odniesieniu do badania eksperymentalnego. Analizując rozkłady prędkości dla różnych konfiguracji dyszy stwierdzono, że osiągnięte prędkości oraz kształt formującej się strugi są zbieżne. Wartości prędkości we wspomnianych przypadkach nie pokrywały się z badaniami eksperymentalnymi.

Tabela 1. Zestawienie masowego natężenia przepływu dla wybranych konfiguracji dyszy

Szczelina wylotowa dyszy	Natężenie przepływu powietrza [g/s]
0,35 mm	<b>1.44</b>
0,45 mm	<b>1.62</b>
0,55 mm	<b>1.79</b>
0,45 mm zmieniony stożek wylotowy	<b>0.91</b>
<b>Badania eksperymentalne</b>	<b>0.95</b>

Zmiana konstrukcyjna stożka wylotowego pozwoliła uzyskać wyniki, które uznano za optymalne (Rys. 4), w związku z czym taki kształt dyszy będzie stosowany w dalszych badaniach.



Rys. 4. Porównanie wyników z badania eksperymentalnego z odpowiadającą analizą numeryczną przepływu

#### 6. Podsumowanie i wnioski

Strumień wylotowy dyszy uzyskał prędkość poniżej 200 m/s co jest zgodne z wartościami uzyskanymi na drodze badania eksperymentalnego. Zmodyfikowany kształt dyszy uznano za optymalny i będzie stosowany w dalszej części badań. Podczas testów wyciągnięto następujące wnioski:

- 1) Największy wpływ na natężenie przepływu ma geometria wylotu dyszy.
- 2) Charakter rozchodzenia się strumienia wypływającego z dyszy jest zbliżony pomiędzy konfiguracjami dyszy.

*Praca została wykonana w ramach projektu SYDEZ, DOB-SZAFIR/02/A/002/02/2021 finansowanego przez NCBiR*

#### Literatura

- [1] D. Burfoot, K. Hall, K. Brown, Y. Xu, Fogging for the disinfection of food processing factories and equipment, Trends in Food Science & Technology, Volume 10, Issues 6–7, 1999.
- [2] Zhao, C., Zhang, C., Bo, C., Li, Y., Hao, G., & Dou, H. (2020). Design and Optimization of Fan-Shaped Nozzle Structure Based on CFD. 2020 3rd International Conference on Power and Energy Applications, ICPEA 2020.
- [3] Malalasekera, H. K. i Vesteeg, W. (2007). An introduction to Computational Fluid Dynamics: The Finite Volume Method. Essex: Pearson Education Ltd.