

MAREK JAKUBOWSKI, MARIUSZ SŁAWOMIR KUBIAK

Katedra Procesów i Urządzeń Przemysłu Spożywczego
Politechnika Koszalińska

MODELOWANIE CFD JAKO NARZĘDZIE WSPOMAGANIA OPTYMALIZACJI PROCESU I KONSTRUKCJI W PRAKTYCE PRODUKCYJNEJ*

CFD MODELLING AS A TOOL TO SUPPORT AN OPTIMIZATION
OF THE PROCESS AND STRUCTURE IN MANUFACTURING PRACTICE

Streszczenie. Współczesna praktyka produkcyjna przemysłu spożywczego, bez względu na branżę przetwórstwa, ukierunkowana jest na poszukiwania rozwiązań umożliwiających redukcję kosztów przy jednoczesnym zachowaniu wymaganych parametrów procesu technologicznego. Tradycyjne podejście przetwórców oparte na niezmienności wypracowanych wzorców technologicznych ustępuje działaniom zmierzającym do pewnej optymalizacji procesu technologicznego, której jednym z podstawowych kryteriów jest ograniczenie kosztocłonności realizacji operacji. Z drugiej jednak strony uwydatnia się na coraz szerszą skalę konieczność sprostania rosnącym wymaganiom jakościowym, w tym zdrowotnym, przy zachowaniu tradycyjnego charakteru produktu. W niniejszej pracy przedstawiono ogólny zarys jednej z wielu metod modelowania numerycznego (w tym przypadku jest to CFD – ang. *Computational Fluid Dynamics*) jako swego rodzaju narzędzia wspomagającego optymalizację istniejącego procesu technologicznego zarówno w kwestii zmian parametrów realizacji poszczególnych operacji, jak i wytycznych dotyczących zmian konstrukcyjnych stosowanych maszyn i aparatów. Zaprezentowano sposób wykorzystania modelowania CFD na przykładzie operacji wędzenia zasadniczego w komorze wędzarniczej jednowózkowej elektrycznej model KWP-1etz produkowanej przez firmę PEK-MONT Sp. z o.o. Modelowanym procesem w tym przypadku był przepływ mieszaniny powietrza i dymu w komorze. W modelu zadeklarowano trzy przykładowe odwzorowania geometryczne wsadu. Do budowy modelu wykorzystano oprogramowanie firmy ANSYS w postaci modułu ANSYS Mechanical, a do przygotowania samej symulacji, obliczeń i obróbki wyników – narzędzia CFD o nazwie CFX w wersji 12.1. W wyniku zrealizowanych obliczeń otrzymano przestrzenne rozkłady prędkości mieszaniny oraz tory ruchu cząstek dymu. Na tej podstawie przeprowadzono analizę,

*Praca finansowana ze środków na naukę w latach 2010-2013 (projekt rozwojowy nr N R12 0125 10).

określając równomierność przepływu mieszaniny wewnątrz komory z uwzględnieniem przestrzeni, w których występują „martwe strefy”.

Słowa kluczowe: modelowanie CFD, wędzenie zasadnicze, komora wędzarnicza

Wstęp

Wykorzystanie modelowania w praktyce inżynierskiej jest coraz bardziej powszechne. Wiele systemów stosowanych do projektowania posiada dodatkowe moduły do modelowania i symulacji wybranych zagadnień z zakresu chociażby wytrzymałości projektowanych elementów konstrukcyjnych. Szczególnie powszechne stają się m.in. dodatkowe moduły do „zgrubnych” obliczeń z wykorzystaniem metod siatkowych (np. FEM – ang. *Finite Element Method*). Z drugiej strony znaczne zwiększenie możliwości obliczeniowych komputerów osobistych pozwala prowadzić analizy symulacyjne i uzyskiwać (w realnym do zaakceptowania przedziale czasu) wyniki do dalszych prac z zakresu optymalizacji, np. konstrukcji elementów przeniesienia napędu lub wykonawczych. Istnieją także i są nieustannie rozwijane całe pakiety oprogramowania do obliczeń symulacyjnych z wykorzystaniem wielu algorytmów obliczeniowych (SEBASTIAN et AL. 2005). Jednym z nich jest zestaw narzędzi do analiz CFD o nazwie ANSYS CFX. Jest to program, obok współpracującego z nim (na poziomie postprocesora) programu Fluent, będący czołowym narzędziem do modelowania i symulacji zagadnień przepływu płynów.

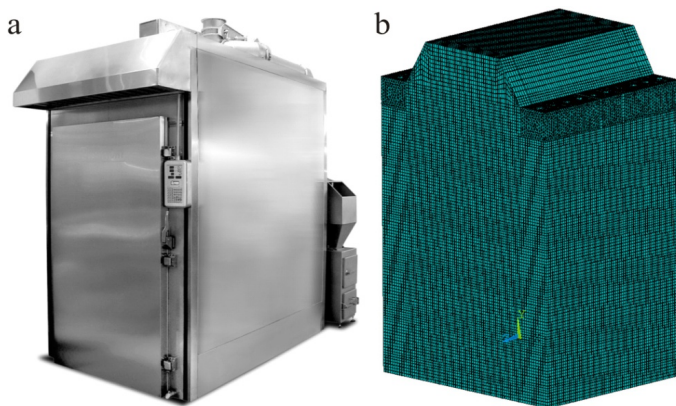
Przykładem zastosowania programu CFX są modele symulacyjne CFD przepływu mieszaniny dymu i powietrza w komorze wędzarniczej. Jako konstrukcję służącą do opracowania modelu geometrycznego komory wykorzystano powszechnie stosowaną w małych zakładach produkcyjnych jednowózkową komorę wędzarniczą (w tym przypadku była to komora elektryczna model KWP-letz produkowana przez firmę PEK-MONT Sp. z o.o.) (KOSTYRA 2005, JAKUBOWSKI i IN. 2010, KUBIAK i JAKUBOWSKI 2010 a, 2010 b, MATERIAŁY... 2010).

Podstawą poszukiwania charakterystyki przepływu mieszaniny w tej komorze była potrzeba rozwiązania problemu występowania wad technologicznych obrabianego surowca mięsnego. Po zakończonej operacji wędzenia w produktach wędzonych mogą występować wady związane głównie z niedowędzeniem lub z przewędzeniem. Przyczyną takiego stanu rzeczy jest często niewłaściwy dobór parametrów realizacji operacji. W wielu zakładach przetwórczych niedowędzenie eliminuje się poprzez przeprowadzenie dodatkowej operacji wędzenia. Z kolei wady związane z przewędzeniem eliminuje się przez zwiększenie dostępu powietrza i rozrzedzenie dymu w trakcie procesu wędzenia. Obydwa sposoby są jednak związane ze zwiększeniem kosztów produkcji, jak również mogą niekorzystnie wpływać na jakość gotowych wyrobów (ROBERTSON i IN. 2004).

Materiały i metody

Model symulacyjny stanowiło odwzorowanie geometryczne przestrzeni roboczej komory wędzarniczej jednowózkowej typu KWP-letz firmy PEK-MONT Sp. z o.o.

(rys. 1 a). Wewnętrzne wymiary gabarytowe części roboczej komory wynoszą: długość – 1440 mm, szerokość – 1200 mm, wysokość – 2950 mm. Komory te zostały zaprojektowane i są wykonywane z myślą o małych i średnich zakładach przetwórczych. Stanowią one właściwe rozwiązanie dla obróbki zróżnicowanych grup produktów mięsnych, których wędzenie wymaga szybkiej zmiany parametrów technologicznych (JAKUBOWSKI i IN. 2010, KUBIAK i JAKUBOWSKI 2010 a, 2010 b).



Rys. 1. Komora wędzarnicza jednowózkowa typu KWP-1etz firmy PEK-MONT: a – widok ogólny, b – model geometryczny przestrzeni roboczej podzielony siatką elementów skończonych (MATERIAŁY... 2010)

Fig. 1. Single truck smoking chamber type KWP-1etz by PEK-MONT: a – general view, b – geometric model of workspace with final elements grid (MATERIAŁY... 2010)

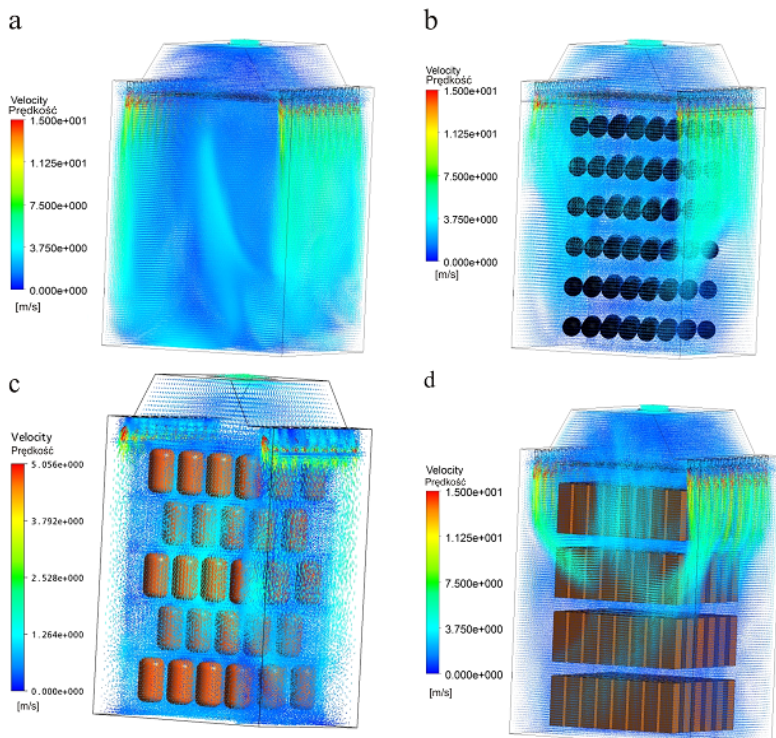
Do analizy symulacyjnej wykorzystano cztery warianty: komorę pustą, komorę wypełnioną wsadem o geometrii zbliżonej do wypełnienia szynkami o kształcie owalnym, szynkami o kształcie kulistym oraz połędwicami typu Sopocka. Wymiary pojedynczej sztuki z partii wsadu odpowiadają średnim wymiarom właściwym dla danego typu produktu. Także rozmieszczenie odwzorowania stanowi przybliżenie do rzeczywistego, praktykowanego zawieszania wsadu w rzędach i na kijach wędzarniczych. Należy jednak zaznaczyć, iż geometria i samo rozmieszczenie stanowią pewne uproszczenie związane z założeniem regularnych i jednolitych wymiarów obrabianego wsadu.

Geometria modelu komputerowego oraz jej dyskretyzacja (rys. 1 b) zostały wykonane w programie ANSYS Mechanical APDL 12.1. Do budowy siatki elementów skończonych wykorzystano dostępny w bibliotece programu element tetragonalny typu Fluid 142 (ANSYS MECHANICAL... 2010). Wygenerowano cztery siatki o liczbie elementów odpowiednio około 1 250 000 dla komory pustej i około 1 500 000 dla komór wypełnionych wsadem. Przygotowany model został następnie wprowadzony do preprocesora programu CFX, w którym zadeklarowano warunki brzegowe i początkowe symulacji właściwe dla warunków i parametrów realizacji operacji wędzenia zasadniczego. Na-

stępnym elementem prowadzonych analiz symulacyjnych było wprowadzenie gotowego modelu do modułu solwera i uruchomienie symulacji (ANSYS CFX 12.1. 2010).

Wyniki i dyskusja

Po wykonanych obliczeniach pliki wynikowe, zawierające informacje dotyczące przepływu wewnątrz analizowanych modeli przestrzeni roboczych komór, zostały wprowadzone do modułu postprocesora. Umożliwia on obróbkę wartości wynikowych parametrów opisujących przepływ i ich prezentację w postaci graficznej, np. przestrzennych map rozkładu prędkości przepływu mieszaniny w komorze. Na rysunku 2 przedstawiono rozkład prędkości w całej przestrzeni wewnętrznej komory pustej (rys. 2 a) i w komorach wypełnionych wsadem (rys. 2 b-d).

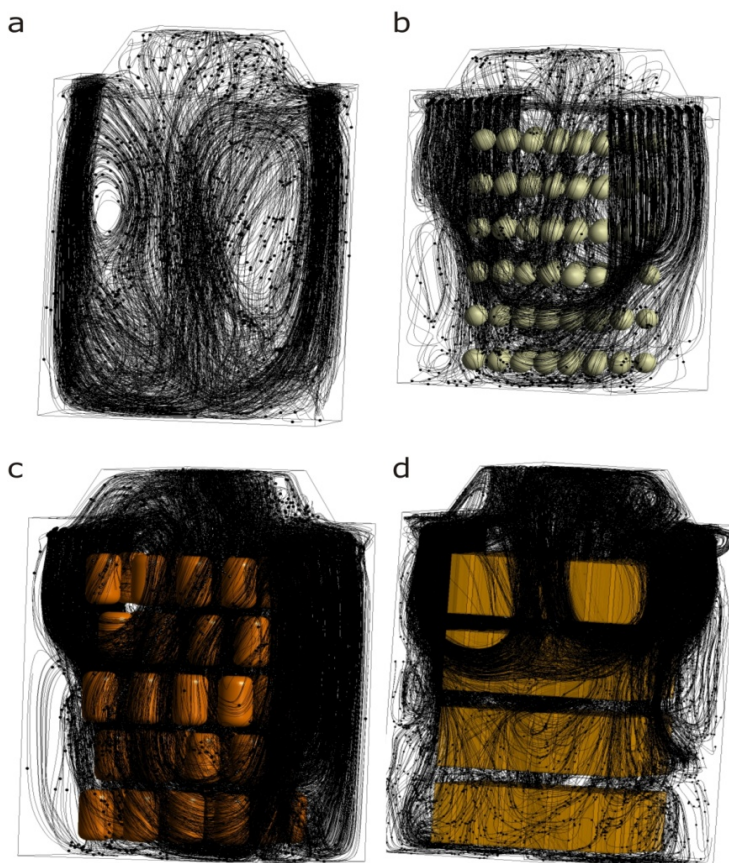


Rys. 2. Przestrzenne mapy rozkładu prędkości przepływu w przestrzeni roboczej komory: a – pustej, b – wypełnionej wsadem o kształcie kulistym, c – wypełnionej wsadem o kształcie owalnym, d – wypełnionej wsadem o kształcie zbliżonym do połędwicy Sopotckiej

Fig. 2. Space maps of the distribution of flow rates in work space of curing chamber: a – empty, b – with charger of spherical shape, c – with charger of oval shape, d – with charger of shape similar to the Sopot loir

Porównanie rozkładu prędkości przepływu mieszaniny we wszystkich wariantach wskazuje na znaczne zróżnicowanie między komorą pustą i komorami wypełnionymi. We wszystkich analizowanych przypadkach uwydatnia się brak symetrii w przepływie, pomimo równomiernego rozmieszczenia zarówno dysz wlotowych, jak i samego wsadu wewnątrz przestrzeni komory. Mapy prędkości ujawniają także występowanie znacznych nierównomierności przepływu w komorach, w których znajdują się przeszkody w postaci wsadu.

Przeprowadzono także analizę śledzenia (ang. *tracking*) cząstek fazy rozproszonej mieszaniny powietrza i dymu. Na rysunku 3 przedstawiono torzy ruchu dymu wędzarni-



Rys. 3. Torzy ruchu przykładowych 5000 cząstek dymu w przestrzeni roboczej komory: a – pustej, b – wypełnionej wsadem o kształcie kulistym, c – wypełnionej wsadem o kształcie owalnym, d – wypełnionej wsadem o kształcie zbliżonym do połędwicy Sopotkiej

Fig. 3. Movement path of selected 5000 smoke particles in work space of curing chamber: a – empty, b – with charger of spherical shape, c – with charger of oval shape, d – with charger of shape similar to the Sopot loin

czego dla przykładowych 5000 cząstek. W modelu przepływu w przestrzeni komory wypełnionej wsadem przyjęto założenie, iż cząstki, które zetkną się z obrabianym surowcem, „przywierają” do jego powierzchni.

Wyniki analizy *trackingu* cząstek fazy rozproszonej pozwalają na określenie miejsc o wyższym i niższym poziomie koncentracji dymu wędzarniczego. Pozwalają wskazać przestrzenie, w których mogą występować niedostatecznie korzystne warunki propagacji, decydujące o właściwym przebiegu operacji wędzenia.

Opracowany model jest stale rozwijany. Ponadto wymaga on weryfikacji eksperymentalnej, która w chwili obecnej jest w przygotowaniu (z wykorzystaniem testowej komory pracującej w warunkach przemysłowych, w Zakładzie Przetwórstwa Mięsnego „Grabowscy” w Ościcinie k. Gryfic w woj. zachodniopomorskim). Weryfikowany będzie przepływ w wybranych przestrzeniach z wykorzystaniem zestawu do pomiarów anemometrycznych.

Podsumowanie

Opracowany model i wyniki uzyskane na podstawie jego obliczeń, choć są tylko pewnym przybliżeniem warunków rzeczywistych, stanowią wartościowe narzędzie dla osób zajmujących się wędzeniem w praktyce produkcyjnej. Dotyczy to zarówno technologów mających wgląd w warunki i przebieg procesu, jak i projektantów komór wędzarniczych.

Zbudowany, testowany i analizowany model symulacyjny ma w założeniu stanowić narzędzie optymalizacji, której kryteria mogą być zorientowane na poszukiwanie nowych rozwiązań konstrukcyjnych zabudowy wnętrza komory, umożliwiających lepsze (bardziej jednorodne) warunki przepływu mieszaniny bez względu na postać geometryczną obrabianego surowca.

Literatura

- ANSYS CFX 12.1. 2010. ANSYS, Southpointe, Canonsburg, PA.
ANSYS MECHANICAL APDL 12.1. 2010.
FOOD AND HEALTH in Europe: a new basis for action. 2004. Eds. A. Robertson, C. Tirado, T. Lobstein, M. Jermini, C. Knai, J.H. Jensen, A. Ferro-Luzzi, W.P.T. James. WHO Region. Publ. Eur. Ser. 96.
JAKUBOWSKI M., KUBIAK M.S., DIAKUN J., 2010. Analiza symulacyjna przepływu występującego w wypełnionej wsadem komorze wędzarniczej jednowózkowej. *Inż. Apar. Chem.* 1: 1-2.
KOSTYRA E., 2005. Dym wędzarniczy i preparat dymu wędzarniczego. Skład, właściwości, zastosowanie. *Post. Tech. Przetw. Spoż.* 5, 2: 48-50.
KUBIAK M.S., JAKUBOWSKI M., 2010 a. Analiza symulacyjna rozkładu prędkości przepływu nośnika dymu w komorze wędzarniczej. *Zesz. Probl. Post. Nauk Roln.* 546: 201-206.
KUBIAK M.S., JAKUBOWSKI M., 2010 b. Model symulacyjny warunków przepływu w komorze wędzarniczej. *Post. Tech. Przetw. Spoż.* 20/36, 1: 55-57.
MATERIAŁY wewnętrzne firmy PEK-MONT Sp. z o.o. 2010. PEK-MONT, Bielsk k. Płocka. [www.pekmont.pl].

SEBASTIAN P., BRUNEAU D., COLLIGNAN A., RIVIER M., 2005. Drying and smoking of meat: heat and mass transfer modeling and experimental analysis. *J. Food Eng.* 70, 2: 227-243.

CFD MODELLING AS A TOOL TO SUPPORT AN OPTIMIZATION OF THE PROCESS AND STRUCTURE IN MANUFACTURING PRACTICE

Summary. The present-day food industry production practice, regardless of the processing industry, is oriented towards seeking solutions to make it possible to reduce costs while at the same time maintaining the technological regime. A traditional approach on the part of producers based on unchangeable technological standards is giving way to those actions which aim at a certain optimization of the technological process. One of the chief criteria here is a limitation of the costs of the execution of operations. On the other hand, there is a growing demand in relation to increasing qualitative requirements including health requirements while maintaining the traditional nature of the product. This paper presents an overall description of one of many numerical modelling methods (in this case, the Computational Fluid Dynamics – CFD) as a tool to support an optimization of the existing technological process both in relation to the changes of the parameters of individual operations and the guidelines for constructional changes of machines and devices used in these operations. This method of the use of CFD was presented on the example of basic smoking in a single truck smoking chamber. In this case, the modelled problem was a flow of air and smoke mixture in an electric single truck smoking chamber, KWP-1etz model manufactured by PEK-MONT. In the model, three geometric representations of the charge were declared. ANSYS software in the form of an ANSYS Mechanical module was used for the construction of the model; CFD tools known as CFX version 12.1 were used for the preparation of the simulation, calculations and processing of the results. As a result of the calculations made, spatial distributions of the mixture velocity and movement tracks of smoke particles were obtained. On this ground, an analysis was conducted of the uniformity of the mixture flow inside the chamber taking into consideration those spaces where “dead areas” occur.

Key words: CFD modelling, basic smoking, smoking chamber

Adres do korespondencji – Corresponding address:

Marek Jakubowski, Katedra Procesów i Urządzeń Przemysłu Spożywczego, Politechnika Koszalińska, ul. Raclawicka 15-17, 75-620 Koszalin, Poland, e-mail: marek.jakubowski@tu.koszalin.pl

Zaakceptowano do druku – Accepted for print:
13.01.2012

Do cytowania – For citation:

*Jakubowski M., Kubiak M.S., 2012. Modelowanie CFD jako narzędzie wspomaganie optymalizacji procesu i konstrukcji w praktyce produkcyjnej. *Nauka Przyr. Technol.* 6, 2, #31.*