

Dr inż. Mariusz S. KUBIAK
Dr inż. Marek JAKUBOWSKI
Wydział Mechaniczny, Politechnika Koszalińska

MODEL SYMULACYJNY WARUNKÓW PRZEPEŁYWU W KOMORZE WĘDZARNICZEJ®

Artykuł przedstawia wstępną analizę symulacyjną przepływu jednofazowego w komorze wędzarniczej, występującego podczas wędzenia zasadniczego. Opracowano model symulacyjny przepływu powietrza w komorze wędzarniczej jednowózkowej typu KWP-1et wypełnionej wsadem. Wyniki symulacji przeanalizowano pod kątem zróżnicowania rozkładu prędkości przepływu nośnika dymu wędzarniczego.

WSTĘP

Wędzenie należy do najstarszych znanych metod utrwalania żywności. Podsuszanie oraz pieczenie (w dymie) mięsa i ryb stosowały już ludy pierwotne w celu zabezpieczenia upolowanej zdobyczy przed zepsuciem.

Wędzenie polega na nasyceniu surowców składnikami dymu drzewnego otrzymanymi przy niepełnym spalaniu drewna, usunięciu znacznej ilości wilgoci oraz uzyskaniu efektu utrwalania polegającego na wywołaniu celowych zmian sieciowania molekuł białka przez aldehydy. Dzięki temu wyrób staje się jadalny bez dodatkowej obróbki kulinarnej. Składniki dymu spowalniają także utlenianie tłuszczów oraz hamują rozwój mikroflory odpowiedzialnej za rozkład proteolityczny mięsa. Absorpcja cząstek dymu na powierzchni i wewnątrz obrabianego produktu skutkuje przejściem jego składników z fazy rozproszonej do ciekłej bezpośrednio w produkcji. Aldehydy i fenole kondensują, stanowiąc łącznie połowę składu chemicznego dymu i przyczyniają się do powstania typowej barwy mięsa wędzonego [3; 5]. Na powierzchni wędzonych produktów tworzy się tzw. podsuszka, utrudniająca dostęp drobnoustrojów w głąb produktu i zapewniająca jednocześnie utrzymanie jego soczystości.

W zależności od rodzaju technologii produkcji wyrobu gotowego, proces wędzenia wraz ze składowymi operacjami może stanowić etap pośredni (przygotowawczy do dalszej obróbki) lub końcowy produkcji [6].

Głównym celem wędzenia jest uzyskanie efektu utrwalającego wraz z jednoczesnym osiągnięciem zamierzonej charakterystycznej barwy na całej powierzchni oraz specyficznej smakowitości produktu.

Dym stosowany w wędzarnictwie jest mieszaniną powietrza i bardzo rozdrobnionych gazowych oraz ciekłych produktów niepełnego spalania drewna. Jego gęstość zawiera się w przedziale od 0,02 do 1,30 g/cm³. Przybliżona średnica pojedynczej cząstki dymu wynosi 0,15 μm [8]. Fazę rozpraszającą stanowią powietrze i składniki gazowe. W fazie tej znajduje się ok. 10% składników dymu. Fazę rozproszoną stanowią pozostałe składniki w stanie ciekłym i stałym, dla których nośnikiem jest faza gazowa. Pod wpływem oddziaływań różnorodnych sił fizycznych cząstki dymu znajdują się w ciągłym, nieuporządkowanym ruchu. Osiedlanie składników dymu zależy od właściwości powierzchni produktu,

temperatury realizacji operacji, stopnia koncentracji dymu i prędkości przepływu nośnika w komorze. Nie bez znaczenia jest także skład surowcowy obrabianego produktu.

Wędzenie szynki składa się z kilku operacji. Pierwszą z nich jest osadzanie, które ma na celu wyrównanie struktury wędlin, a także wilgotności i barwy. Kolejną jest suszenie realizowane w komorze o otwartych klapach, przy intensywnej wymianie powietrza w temperaturze 60°C przez 60 min. Po suszeniu następuje wędzenie właściwe, które prowadzone jest w zakresie temperatur od 65°C do 78°C (w zależności od masy całkowitej i jednostkowej oraz składu recepturowego) przez ok. 90 min., przy dławionych w $\frac{3}{4}$ otworach wlotowych.

Ostatnią operacją wędzenia jest parzenie stanowiące rodzaj pasteryzacji, które ma na celu inaktywację drobnoustrojów, a oddziaływanie temperatury powoduje denaturację białek w całym przekroju szynki.

W praktyce produkcyjnej występuje znaczne zróżnicowanie rozwiązań konstrukcyjnych komór wędzarniczych zarówno w odniesieniu do wytwarzania dymu wędzarniczego, jak i sposobu jego propagacji. Stosowane rozwiązania w zakresie zasilania i rozprowadzenia mieszaniny w komorze, wymagają odpowiedniego doboru parametrów realizacji procesu wędzenia, w tym dostosowania właściwego natężenia i prędkości przepływu czynnika. Dobór właściwych parametrów ma bezpośrednie przełożenie na wyróżniki jakościowe gotowego produktu [4; 8].

Celem artykułu jest prezentacja możliwości zastosowania opracowanego wstępnego modelu symulacyjnego do analizy warunków przepływu powietrza w komorze wędzarniczej.

OBIEKT RZECZYWISTY I MODEL KOMPUTEROWY

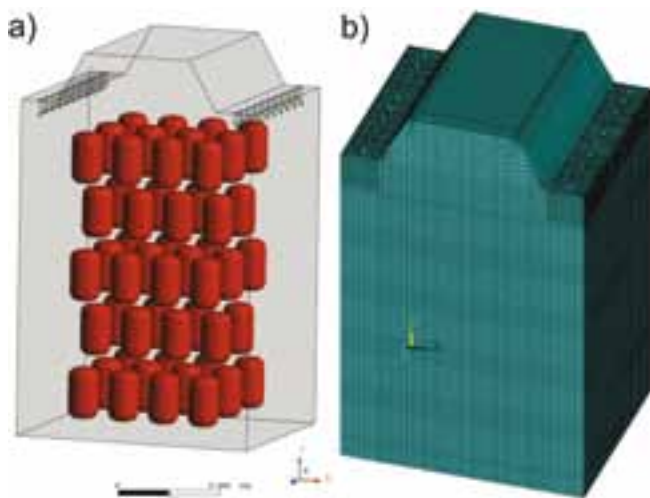
Obiektem rzeczywistym jest komora wędzarnicza KWP-1et (rys. 1a). Jest to typowa komora jednowózkowa stanowiąca podzespół bazowy zagregowanych rozwiązań wielokomorowych szaf wędzarniczych. Wymiary wewnętrzne komory wynoszą: długość – 1440 mm; szerokość – 1200 mm; wysokość – 2950 mm. Komory KWP-1et zostały zaprojektowane i wykonywane z myślą o małych i średnich zakładach przetwórczych. Stanowią optymalne rozwiązanie dla obróbki zróżnicowanych grup produktów mięsnych, których wędzenie wymaga szybkiej zmiany nastawów parametrów realizacji procesu [7].

Podstawę modelu komputerowego stanowi geometria przestrzeni roboczej komory, w której zadeklarowano (geometrycznie) obecność symetrycznie rozmieszczonych szynek o kształcie zbliżonym do zaokrąglonych w podstawie cylindrów o średnicy 210 mm i wysokości 300 mm. Wymiary i rozmieszczenie odwzorowania stanowi przybliżenie rzeczywistej geometrii zawieszonych 52 szynek (rys. 1b) o łącznej masie 250 kg, obrabianych w jednym cyklu operacji wędzenia właściwego. Należy jednak podkreślić, iż geometria i rozmieszczenie wsadu stanowi pewne uproszczenie związane z regularnością i jednolitymi wymiarami szynki.



Rys. 1. Komora wędzarnicza jednowózkowa: a) widok ogólny; b) wózek wypełniony wsadem.

Geometria modelu komputerowego oraz jej dyskretyzacja została wykonana w programie ANSYS 12.0 (rys. 2a,b). Do budowy siatki elementów skończonych wykorzystano dostępny w bibliotece programu element tetraedryczy typu Fluid 142 [1]. Wygenerowano siatkę strukturalną o liczbie elementów wynoszącą ok. 950 000. Przygotowany model został następnie wprowadzony do preprocesora programu CFX 12.0, w którym zadeklarowano warunki brzegowe i początkowe symulacji właściwe dla operacji wędzenia zasadniczego.



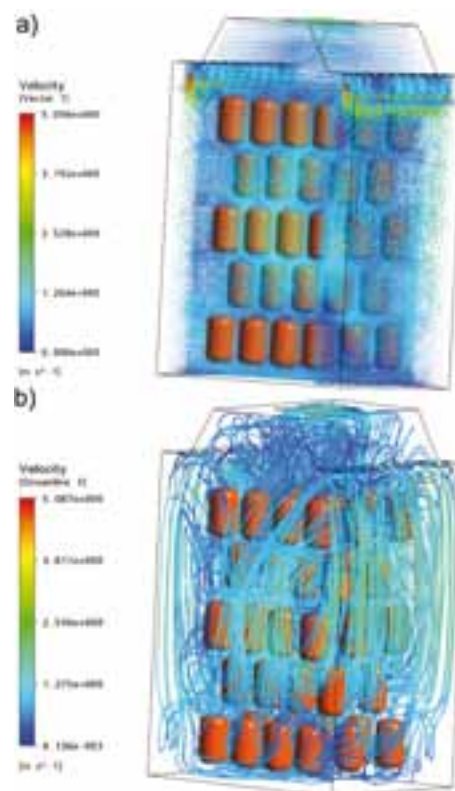
Rys. 2. Model komory: a) geometria przestrzeni wewnętrznej wypełnionej wsadem; b) siatka dyskretyzacyjna.

Obliczenia symulacyjne zostały przeprowadzone z wykorzystaniem solver-a CFX z zaimplementowanym kodem CFD pozwalającym na rozwiązanie numeryczne układu

równań bilansowych w przestrzeni dyskretnej modelu [2]. Przyjęto domyślne kryteria zbieżności ustalając maksymalną ilość iteracji na 10 000. Zbieżność modelu uzyskano po ok. 4 500 iteracji. Akwizycję wyników wykonano także w programie CFX, w module Post.

ANALIZA PRĘDKOŚCI PRZEPIYWU

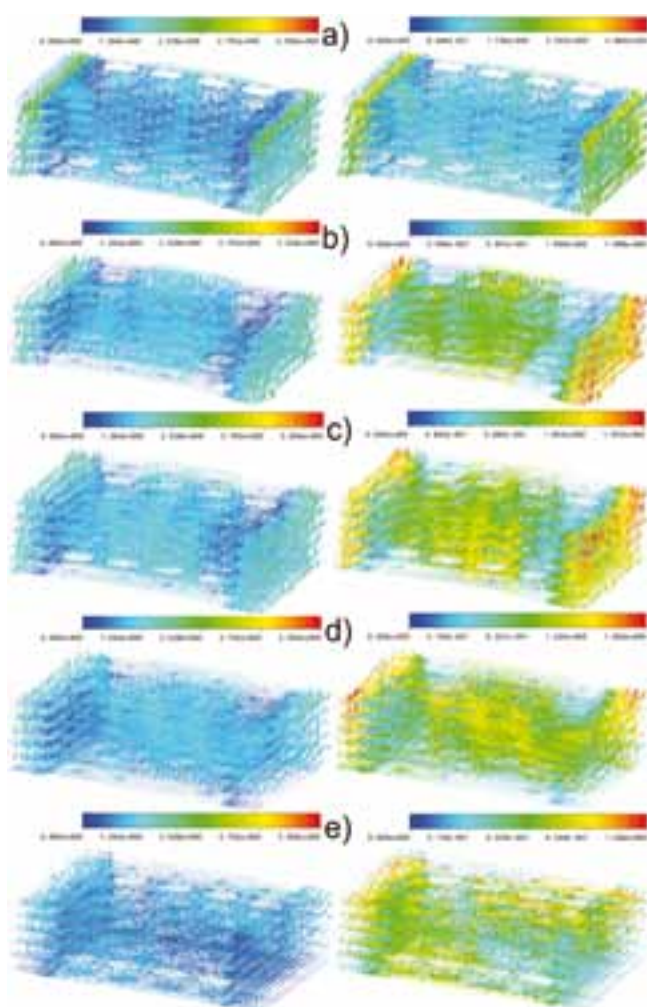
W wyniku przeprowadzonych obliczeń uzyskano dane, na podstawie których możliwe było wygenerowanie przestrzennych map rozkładu prędkości przepływu powietrza w komorze. Na rys. 3a przedstawiono rozkład wektorów prędkości w całej przestrzeni wewnętrznej komory. Dla lepszego zobrazowania przedstawiono tą samą sytuację w postaci linii prądu przepływu (rys. 3b).



Rys. 3. Wyniki analizy symulacyjnej przepływu w komorze: a) wektory prędkości w przestrzeni wypełnionej wsadem; b) linie prądu przepływu nośnika dymu.

Pobieżna analiza wyników wskazuje na występowanie w przestrzeni centralnej wyższych wartości prędkości. Ponadto charakterystyczne dla tego przepływu jest występowanie niskich prędkości w najniższej położonej partii wsadu. Ta sama sytuacja występuje w przestrzeniach zewnętrznych partii wsadu położonego najwyżej.

Przeprowadzono także analizę rozkładu prędkości dla przekrojów płaskich dla pięciu poziomów wsadu. Na rys. 4 przedstawiono mapy pól prędkości dla poziomu od najwyżej umiejscowionego (a) do najniższego położonego (e). Dla porównania mapy pól prędkości zaprezentowano dla przedziału wartości prędkości całkowitej (po lewej) i przedziału wartości prędkości lokalnej (po prawej).



Rys. 4. Wektorowe mapy pola prędkości dla płaszczyzn przekroju poziomów umiejscowienia wsadu: a) poziom 5 (umiejscowiony najwyżej); b) poziom 4; c) poziom 3; d) poziom 2; e) poziom 1 (umiejscowiony najniżej).

Analiza wyników przekrojów ujawnia występowanie znacznych różnic prędkości przepływu na poszczególnych poziomach wsadu. Na pierwszym poziomie umiejscowionym najniżej (rys. 4e) występują najniższe wartości prędkości przepływu, a rozkład jest nierównomierny. Zwrot strumienia przepływu związany z obiegiem cyrkulacyjnym ujawnia się na poziomie drugim (rys. 4d), dla którego widoczny jest wzrost wartości prędkości w obszarze centralnym strefy. Na poziomie następnym (rys. 4c) zaznacza się widoczne zróżnicowanie prędkości w strefie centralnej i na obrzeżach poziomu wsadu. Kolejny poziom ujawnia dalsze zróżnicowanie prędkości z widocznym oddziaływaniem przepływu zasilania komory. Pomiędzy poziomami (b) i (c) występuje niewielka różnica prędkości maksymalnej, a także zbliżone wartości prędkości w centralnej strefie obu poziomów. Ostatni analizowany poziom (a) znajduje się najwyżej i obejmuje warstwę wsadu umiejscowioną najbliżej króćców wlotowych i wylotu z przegrodą. W warstwie tej występuje największy gradient prędkości, co wynika z jej położenia względem wlotów i wylotu z komory.

Analizując całościowo przekroje od (a) do (e) należy zwrócić uwagę na brak symetrii i rozkład prędkości przepływu w komorze, co jest prawdopodobnie związane z występowaniem zaburzeń spowodowanych obecnością przeszkód w przepływie (w postaci elementów odwzorowania wsadu).

WNIOSKI

Zbudowany i testowany model stanowi narzędzie optymalizacji, której kryteria zorientowane są na poszukiwanie nowych rozwiązań konstrukcyjnych mających na celu ujednorodnienie warunków przepływu w komorze wędzarniczej.

Opracowany model pozwala na analizę stanu przepływu powietrza w komorze wędzarniczej. Testy modelu wykazały jego stabilność, co pozwala, po rozszerzeniu możliwości obliczeniowych stacji roboczej, na zadeklarowanie przepływu wielofazowego.

Istnieje możliwość zmiany w modelu geometrii wsadu, co pozwoli na analizy symulacyjne dla różnych wariantów wypełnienia komory.

LITERATURA:

- [1] ANSYS 12.0, Dokumentacja Programu, 2009.
- [2] ANSYS-CFX 12.0, Dokumentacja Programu, 2009.
- [3] BAGHE-KHANDAN, M.S., OKOS M.R., SWEAT V.E. 1982. *The thermal conductivity of beef as affected by temperature and composition*. Transactions of the ASAE, 25, 1118-1122.
- [4] BANGA J.R., PEREZ-MARTIN R.I., GALLARDO J.M., CASARES J.J. 1991. *Optimization of the thermal processing of conduction-heated canned foods: study of several objective functions*. Journal of Food Engineering, 14, 25-51.
- [5] KLETTNER P.G. 1979. *Modern methods of smoking meat products*. Fleischwirtschaft, 59(1), 73-76.
- [6] PAN Z., SINGH R.P., RUMSEY T.R. 2000. *Predictive modeling of contact-heating process for cooking a hamburger patty*. Journal of Food Engineering, 46, 9-19.
- [7] PEK-MONT Sp. z o.o. 2009. Materiały wewnętrzne firmy.
- [8] SEBASTIAN P., BRUNEAU D., COLLIGNAN A., RIVIER M. 2005. *Drying and smoking of meat: heat and mass transfer modeling and experimental analysis*. Journal of Food Engineering, 70, 227-243.

THE SYMULATIONAL MODEL FLOW CONDITION IN THE CURRING CHAMBER

SUMMARY

This work presents introductory simulational single-phase flow analysis in the curing chamber during principal curing. The air flow simulational model in the curing chamber single-carriage type KWP-1et fill by charge, were elaborated. The simulation results were made an analysis under distribution diversification angle of the flow carrier curing smoke velocity.