

MARIUSZ SŁAWOMIR KUBIAK, MAREK JAKUBOWSKI

Katedra Procesów i Urządzeń Przemysłu Spożywczego  
Politechnika Koszalińska

## TRÓJWYMIAROWA ANALIZA SYMULACYJNA CFD ROZKŁADU POŁA PRĘDKOŚCI PRZEPIYWU MIESZANINY DWUFAZOWEJ W KOMORZE WĘDZARNICZEJ\*

**Streszczenie.** Praca przedstawia wstępne wyniki symulacji CFD przepływu mieszaniny powietrza i dymu w module komory wędzarniczej o załadunku roboczym jednego wózka. Porównano przepływ w komorze pustej z przepływem w komorze wypełnionej wsadem. Odwzorowanie geometryczne wsadu stanowiły elementy podłużne o kształcie zbliżonym do połędwicy sopockiej. Do analiz symulacyjnych wykorzystano model komputerowy, który został stworzony w środowisku programu ANSYS Mechanical APDL 12.1. Model jest geometrią przestrzeni komory pustej oraz wypełnionej wsadem. Do dyskretyzacji modelu wykorzystano siatkę strukturalną elementów skończonych zbudowaną z zastosowaniem elementu przestrzennego typu Fluid 142. Modele miały około 1 mln elementów siatki. Deklarację warunków brzegowych i początkowych symulacji oparto na wiedzy praktycznej z zakresu doboru parametrów właściwych dla realizacji operacji wędzenia właściwego oraz na praktyce produkcyjnej. Obliczenia symulacyjne przeprowadzono z wykorzystaniem pakietu ANSYS CFX 12.1 z zaimplementowanym kodem CFD pozwalającym na rozwiązanie numeryczne układu równań bilansowych ruchu płynu przepływającego w przestrzeni dyskretnej modelu. W wyniku przeprowadzonej serii obliczeń symulacyjnych uzyskano rozkład prędkości przepływu powietrza i dymu w przestrzeni komory. Dla wybranych przekrojów, interesujących z punktu widzenia prowadzonej analizy, określono zróżnicowanie przepływu, wskazując obszary, w których może wystąpić niedowędzenie spowodowane skrajnie małymi wartościami prędkości przepływu mieszaniny powietrza i dymu.

**Słowa kluczowe:** wędzenie, symulacja CFD, komora wędzarnicza, mieszanina dwufazowa

---

\*Projekt finansowany ze środków na naukę na lata 2010-2013 jako projekt rozwojowy nr N R12 0125 10.

## Wstęp

Jednym z podstawowych procesów technologicznych w produkcji wyrobów wędliniarskich jest obróbka termiczna. Najczęściej stosowanymi rodzajami takiej obróbki są: wędzenie, parzenie lub pieczenie. Można to głównie odnieść do wyrobów otrzymywanych sposobem tradycyjnym (MICHALSKI 2005, OLSZEWSKI 2007).

Wędzenie jest najstarszym i szeroko stosowanym sposobem utrwalania wyrobów mięsnych oraz nadawania im charakterystycznego smaku. W zależności od rodzaju wyrobu procesy wędzenia mogą być końcowym etapem produkcji bądź etapem pośrednim – przygotowawczym do dalszej obróbki cieplnej (KOSTYRA 2005, PAN i IN. 2000). Wędzenie polega na nasyceniu produktu składnikami dymu otrzymanego w wyniku pirolizy twardego drewna, na usunięciu części wody i na spowodowaniu zmian w białkach poprzez sieciowanie ich molekuł przez aldehydy, a przede wszystkim przez formaldehydy. Dzięki temu następuje wzrost odporności termicznej, a produkt będzie się nadawał do spożycia bez dodatkowej obróbki kulinarnej z jednoczesnym zachowaniem struktury włókienkowej. Składniki dymu wnikaące do wędzonej żywności lub osiadające na jej powierzchni spowalniają utlenianie tłuszczów składowych oraz hamują rozwój mikroflory (*Leuconostoc mesenteroides*, *Staphylococcus aureus*, *Listeria monocytogenes*, bakterii Gram-ujemnych: *Escherichia coli*, *Salmonella typhimurium* i *enteritidis*, *Yersinia enterocolitica*) (ANIFANTAKI i IN. 2002, SUNEN i IN. 2001, WANG 2001). Absorpcja składników dymu na powierzchni i wewnątrz obrabianego produktu oznacza przejście komponentów dymu z fazy rozproszonej do ciekłej bezpośrednio w produkcie (woda i/lub tłuszcz), przy czym aldehydy i fenole kondensują, stanowiąc łącznie połowę składników dymu, i przyczyniają się istotnie do powstania typowej barwy mięsa wędzonego. Na wędzonych produktach tworzy się charakterystyczna podsuszona warstwa wierzchnia (skórka), utrudniająca drobnoustrojom dostęp do głębszych warstw mięsa i zapewniająca jego soczystość. Proces wędzenia jest szeroko stosowany w wielu branżach przetwórstwa spożywczego. Sam dym wędzarniczy otrzymuje się podczas pirolizy kawałków drewna i trocin pochodzących z drzew liściastych: buka, dębu, olchy, przy ograniczonym dostępie powietrza. Do wytwarzania dymu używa się głównie drewna (w postaci trocin, zrębków lub kłoców) i ewentualnie przypraw (KOSTYRA 2005, PEK-MONT... 2010). Dym wędzarniczy jest aerozolem, który powstaje w wyniku wymieszania się gazowych, ciekłych i bardzo rozdrobnionych stałych produktów częściowego spalania drewna z powietrzem. Cząsteczki dymu mają przybliżoną średnicę, wynoszącą 0,15  $\mu\text{m}$ , a gęstość mieszaniny dymu i nośnika (powietrza) mieści się w granicach 0,02-1,3  $\text{g}/\text{cm}^3$ . Cząstki dymu znajdują się w ciągłym ruchu pod wpływem oddziaływań sił dyfuzyjnych (ruchy Browna), grawitacyjnych, konwekcyjnych, odśrodkowych, elektrostatycznych itp. Największy udział będący przyczyną koagulacji i osiadania cząstek dymu na produkcie mają ruchy Browna. Tam, gdzie cząstki dymu mają styczność z zimniejszą powierzchnią ścianek lub przewodów, podlegają siłom termicznym (PEK-MONT... 2010).

W dymie znajdują się faza lotna (rozpraszająca), którą stanowią powietrze i składniki gazowe, oraz frakcja nielotna (rozproszona). Fazę rozpraszającą stanowi ponad trzysta zidentyfikowanych lotnych związków, m.in.: fenole, kwasy organiczne, związki karbonylowe. W fazie tej znajduje się około 10% składników dymu. Fazę rozproszoną stanowią pozostałe składniki, zawieszane w postaci małych kuleczek w fazie gazowej.

Są to pyły popiołu i sadzy, jak również pary trudno lotnych cieczy (smoła i żywice), (GARCIA-FALCON i SIMAL-GANDARA 2005, GUILLEN i MANZANOS 2002).

Układ aerozolowy, jakim jest dym, podlega szybkim przemianom głównie ze względu na przechodzenie składników z fazy rozpraszającej do rozproszonej i na odwrót oraz ze względu na polimeryzację składników. Ponieważ zdolność wędzenia mają głównie składniki fazy rozpraszającej dymu, kondensacja składników zmniejsza skuteczność procesu, z tego też powodu nie można dymu wyprodukować na zapas, gdyż szybko traci swoje właściwości. Istnieje natomiast możliwość regeneracji dymu w warunkach podwyższonej temperatury wrzenia poszczególnych składników.

Barwa dymu zależy od stężenia oraz ilościowego stosunku składników fazy rozpraszającej (powietrza) i rozproszonej (dymu). Dym zawierający dużo sadzy i niecałkowicie spalonych, drobnych cząsteczek drewna charakteryzuje się ciemną barwą i nadaje produktom zabarwienie od złocistego brązu po wiśniowy czy bardzo ciemny brąz (GARCIA-FALCON i SIMAL-GANDARA 2005).

Intensywność odczuwania wędzonego aromatu w produkcji zależy m.in. od złożonych parametrów procesu wędzenia, jak również od rozwiązań konstrukcyjnych elementów komory wędzarniczej dozujących mieszaninę dymu. Prawidłowo przeprowadzony proces wędzenia, z odpowiednią regulacją dopływu powietrza, oraz właściwe rozmieszczenie dysz zapewniają odpowiednią jakość wyrobów, bez konieczności ponownego wędzenia.

Równomierne rozprowadzenie mieszaniny w komorze wędzarniczej w dużym stopniu wpływa na jakość i bezpieczeństwo wędzonej żywności (ROBERTSON i IN. 2004). W komorach wędzarniczych są stosowane różnego rodzaju rozwiązania konstrukcyjne, które odpowiadają za prawidłowe doprowadzenie mieszaniny dymno-powietrznej, co ma wpływ na wynik procesu wędzenia (PEK-MONT... 2010). Wędzenie z wykorzystaniem dymu wytwarzanego w dymogeneratorach jest wysoko oceniane za walory sensoryczne i barwę obrabianego produktu. W licznych pracach badawczych poświęconych technologii wędzenia podejmowano próby określenia wpływu parametrów wytwarzania dymu, konstrukcji urządzeń wykorzystanych podczas procesu oraz składu dymu na cechy sensoryczne wędzonych produktów. W przetwórstwie mięsnym, gdzie tradycja wędzenia łączy się z nowoczesną technologią i konstrukcją urządzeń, występuje wiele problemów, które w dużym stopniu wpływają na jakość końcowego produktu (ROBERTSON i IN. 2004, SEBASTIAN i IN. 2005).

Technologia wędzenia powinna zapewnić konsumentowi bezpieczeństwo zdrowotne, jak i subiektywne pozytywne doznania podczas konsumpcji produktów w ten sposób obrabianych. Równomierne rozprowadzenie składników dymu na powierzchni i wewnątrz produktu zapewnia nie tylko trwałość, lecz także pozytywny wygląd ogólny, co przyczynia się do powtarzalności preferencji zakupu danego produktu (KOSTYRA 2005).

W latach dwudziestych i trzydziestych XX wieku wyniki wielu badań przyczyniły się do opracowania pierwszej generacji preparatów dymu wędzarniczego, chociaż o cieczach zawierających dym wspomniano w piśmiennictwie o wiele wcześniej. Już w 1811 roku przeprowadzono pierwsze próby traktowania mięsa płynnymi środkami wędzarniczymi (KOSTYRA 2005, FREIER 2009). Owe płynne środki wędzarnicze do stosowania w przetworach mięsnych wytwarzano przede wszystkim tam, gdzie w technicznych ilościach był produkowany węgiel drzewny metodą suchej destylacji drewna.

Preparaty te zazwyczaj nie posiadały dostatecznej stabilności i powtarzalności kolejnych partii produkcyjnych. Postęp w technologii wytwarzania preparatów dymu wędzarniczego wyeliminował wady, które w latach sześćdziesiątych nagminnie występowały po procesie wędzenia w finalnych produktach. Obecnie produkowane preparaty wędzarnicze cechują się bardzo dobrą i powtarzalną jakością (FREIER 2009).

Zagadnienie modelowania samej operacji wędzenia jest znacznie nowszym zagadnieniem niż samo wędzenie. Rozwój i postęp w dziedzinie obliczeń komputerowych pozwolił na stworzenie różnych koncepcji opisu formalnego zjawisk zachodzących w przepływie mieszaniny w komorze. Jedną z wielu prac dotyczących tego tematu jest doniesienie autorów francuskich (SEBASTIAN i IN. 2005) na temat modelowania przepływu masy i energii podczas suszenia i wędzenia mięsa w kontekście kumulacji benzo(a)pirenu w produkcji. GŁAZUNOW i ERSZOW (2006) prowadzili analizy nad zagadnieniem modelowania matematycznego procesu wędzenia ryb.

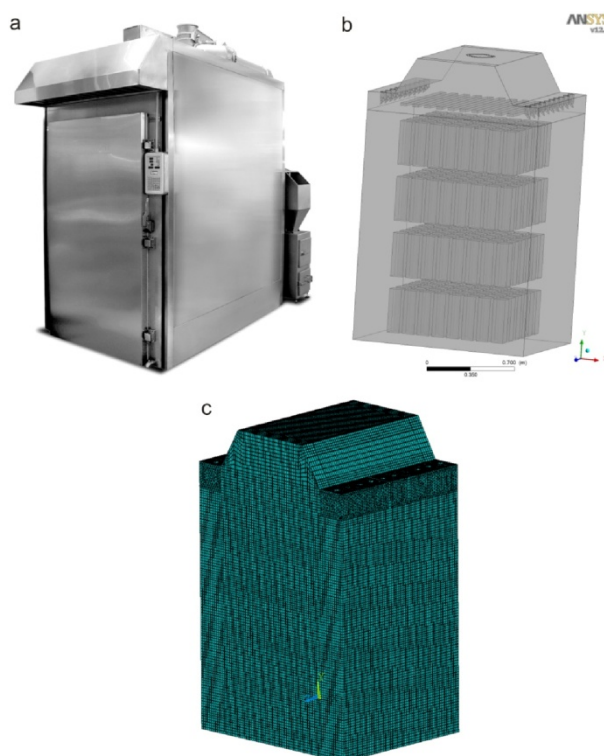
Prezentowany poniżej model i przeprowadzony z jego pomocą eksperyment numeryczny ma w założeniu stanowić metodę poznania mechanizmu procesu przepływu mieszaniny powietrza i dymu w komorze wędzarniczej w trakcie operacji wędzenia właściwego.

## Material i metody

Przygotowany do analizy model stanowi przestrzeń wewnętrzną konstrukcji komory wędzarniczej jednowózkowej typu KWP-1et firmy PEK-MONT (rys. 1 a). Wymiary wnętrza komory wynoszą: długość – 1440 mm, szerokość – 1200 mm, wysokość – 2950 mm. Komora typu KWP-1et została zaprojektowana i jest wykonywana na potrzeby małych oraz średnich zakładów przetwórczych. Konstrukcja ta stanowi optymalne rozwiązanie dla obróbki zróżnicowanych grup produktów mięsnych, których wędzenie wymaga szybkiej zmiany nastawów parametrów realizacji procesu (PEK-MONT... 2010). Komora typu KWP-1et może stanowić konstrukcję bazową dla rozwiązań modułowych o większych pojemnościach roboczych.

Do analizy symulacyjnej wybrano dwa warianty w postaci komory pustej oraz komory wypełnionej wsadem o geometrii zbliżonej do wypełnienia podłużnymi połędwicami typu sopocka. Wymiary pojedynczej połędwicy wynoszą: długość – 100 mm, szerokość – 100 mm i wysokość – 350 mm. Wymiary i rozmieszczenie odwzorowania stanowi przybliżenie rzeczywistej geometrii 192 sztuk połędwic typu sopocka zawieszonych w czterech rzędach (rys. 1 b) i obrabianych w jednym cyklu operacji wędzenia właściwego. Należy zaznaczyć, iż kształt geometryczny i rozmieszczenie wsadu stanowi pewne uproszczenie związane z regularnością i jednolitymi wymiarami obrabianych połędwic.

Geometria modelu komputerowego oraz jej dyskretyzacja zostały wykonane w programie ANSYS Mechanical APDL 12.1 (rys. 1 c). Do budowy siatki elementów skończonych wykorzystano dostępny w bibliotece programu element tetragonalny typu Fluid 142 (ANSYS CFX 12.1 2010, ANSYS MECHANICAL APDL 12.1 2010). Wygenerowano dwie siatki o liczbie elementów wynoszącej odpowiednio około 1 250 000 (komora pusta) i około 1 500 000 (komora wypełniona wsadem). Przygotowany model został następnie wprowadzony do preprocesora programu CFX 12.1, w którym zadeklarowano warunki brzegowe i początkowe symulacji właściwe dla operacji wędzenia zasadniczego.



Rys. 1. Komora wędzarnicza jednowózkowa: a – widok ogólny (PEK-MONT... 2010), b – rozmieszczenie wsadu, c – model geometryczny wnętrza z siatką dyskretyzacyjną

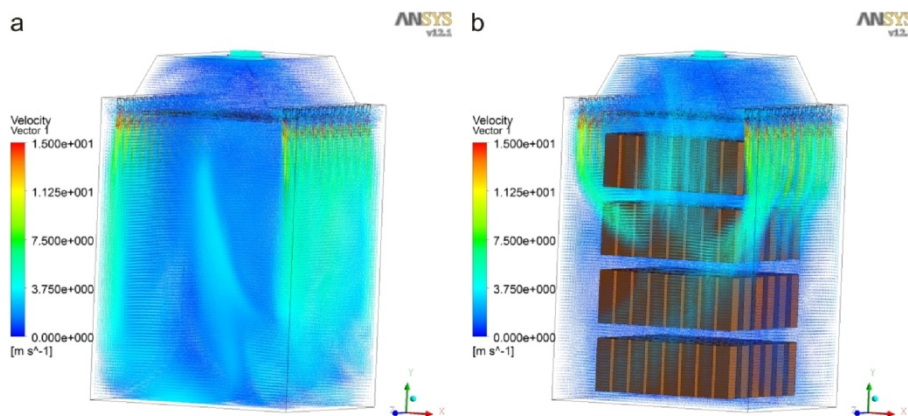
Fig. 1. Single-car curing chamber: a – general view (PEK-MONT... 2010), b – distribution charge, c – geometric model of interior with discretization grid

Analizowano przepływ jako dwufazowy. Zadeklarowano cząstki dymu o średnicy 0,15  $\mu\text{m}$  oraz nośnik w postaci powietrza. Udział składników mieszaniny wynosił: 64% dymu i 33% powietrza. Prędkość początkowa mieszaniny na końcówkach dysz wlotowych do komory wynosiła 15 m/s. Przepływ w komorze rozpatrywano jako stan ustalony (analiza typu Steady State). Przepływ modelowano jako turbulentny, stosując model SST. Intensywność turbulencji zadeklarowano na poziomie 1%.

Obliczenia symulacyjne zostały przeprowadzone z wykorzystaniem modułu Solver-CFX z zaimplementowanym kodem CFD pozwalającym na rozwiązanie numeryczne układu równań bilansowych w przestrzeni dyskretnej modelu (ANSYS CFX 12.1 2010). Przyjęto kryteria zbieżności, ustalając wartości RMS na poziomie  $1\text{e-}6$  i maksymalną liczbę iteracji wynoszącą 6000. Dodatkowo wprowadzono kryterium wartości różnic reszt na poziomie 0,01. Zbieżność modelu uzyskano mniej więcej po 2300 iteracjach (komora pusta) i 5700 iteracjach. Akwizycję wyników wykonano także w programie CFX, w module postprocesora.

## Wyniki i dyskusja

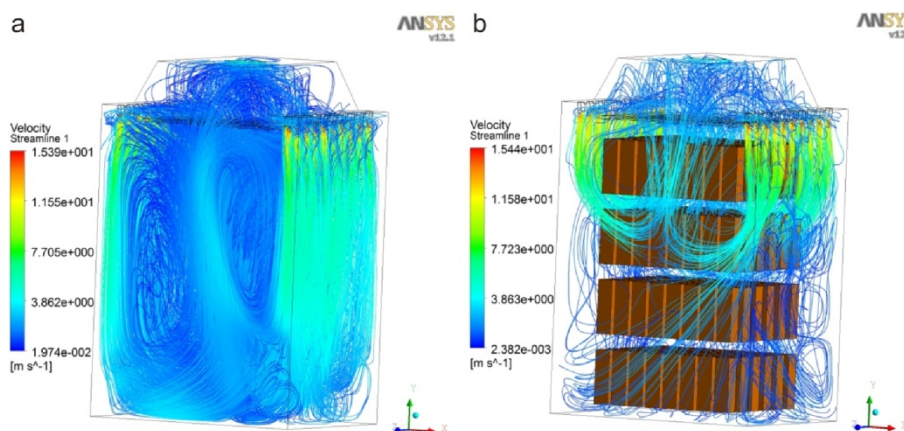
W wyniku przeprowadzonych obliczeń uzyskano pliki wynikowe, na podstawie których możliwe było wygenerowanie przestrzennych map rozkładu prędkości przepływu mieszaniny w komorze. Na rysunku 2 przedstawiono rozkład wektorów prędkości w całej przestrzeni wewnętrznej komory pustej (rys. 2 a) i wypełnionej wsadem (rys. 2 b). Porównanie rozkładu prędkości przepływu mieszaniny w obu wariantach wykazuje jego znaczne zróżnicowanie. W przypadku komory pustej widoczny jest brak symetrii przepływu, pomimo zasilania symetrycznie rozmieszczonymi dyszami wlotowymi. W wariacie z wypełnieniem brak symetrii przepływu jest znacznie mniej widoczny, jednak występuje, pomimo symetrycznie rozmieszczonego w przestrzeni komory wsadu. Mapy prędkości wykazują także występowanie znacznych nierównomierności przepływu w komorze, w której znajdują się przeszkody w postaci odwzorowania podłużnego wsadu. Szczególnie uwydatnia się znaczny spadek wartości prędkości przepływu w dolnej połowie komory dla dwóch niżej umiejscowionych rzędów wypełnienia oraz w przestrzeniach skrajnych partii wsadu położonej najwyżej. Skrajnie małe wartości prędkości przepływu mieszaniny w dolnej części komory wypełnionej wsadem ujawniają występowanie nieodpowiednich warunków korzystnej, z punktu widzenia poprawności realizacji operacji technologicznej, cyrkulacji mieszaniny dymu i powietrza. Znaczna część cyrkulacji przypada zatem na dwa górne rzędy wypełnienia, przy czym najlepsze warunki występują w jego centralnej strefie.



Rys. 2. Przestrzenne mapy rozkładu wektorów prędkości przepływu w komorze wędzarniczej jednowózkowej: a – pustej, b – wypełnionej wsadem o kształcie zbliżonym do połędwicy sopockiej

Fig. 2. Space maps of the distribution of flow rates of mixture in the working space of a single-car curing chamber: a – in empty chamber, b – in chamber with charger which shape is similar to the Sopot loir

W celu dokładniejszego przedstawienia zróżnicowania przepływu w poszczególnych strefach komory wyniki rozkładu wartości zmian prędkości przepływu mieszaniny powietrza i dymu zaprezentowano na rysunku 3 w postaci linii prądu przepływu z nanie-



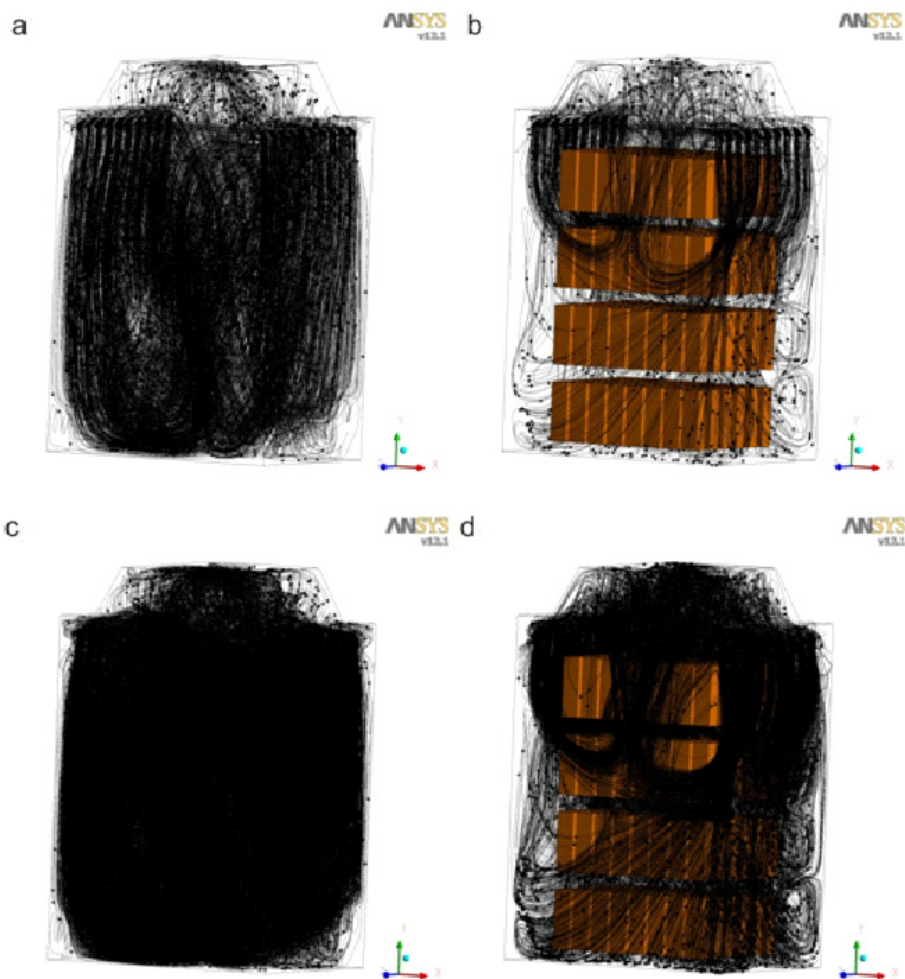
Rys. 3. Linie prądu obrazujące zmianę prędkości przepływu w komorze wędzarniczej jedno-wózkowej: a – pustej, b – wypełnionej wsadem o kształcie zbliżonym do połędwicy sopockiej  
 Fig. 3. Distribution of flow rates of mixture in the form of streamlines in a single-car curing chamber: a – in empty chamber, b – in chamber with charger which shape is similar to the Sopot loin

sioną skalą barwną. Taki sposób prezentacji pozwala na wydzielenie przestrzeni o równomiernym rozkładzie prędkości oraz wydzielenie przestrzeni o skrajnie małych wartościach prędkości z jednoczesnym zobrazowaniem występowania zaburzeń w postaci lokalnych zawirowań.

Rozkład zmian prędkości wzdłuż linii prądu ujawnia występowanie równomiernego rozkładu prędkości wzdłuż ścian komory pustej oraz przestrzeni o mniejszych wartościach prędkości w centralnej strefie tej komory. Uwydatnia się w tym przypadku występowanie dwóch zawirowań w przestrzeni centralnej komory (rys. 3 a). Znaczna część przepływu skierowana ku wylotowi zostaje zawrócona w kierunku podłogi komory, co jest związane z oddziaływaniem przepływu zasilającego dysze wlotowe, a występującego wzdłuż ścian komory.

W przypadku komory wypełnionej wsadem uwydatnia się znaczne ograniczenie cyrkulacji wynikające ze sposobu zasilania komory. Przepływ powrotny w kierunku wylotu zostaje ograniczony do dwóch górnych rzędów wypełnienia. Poniżej obserwowane jest znaczne ograniczenie wartości prędkości przepływu z jednocześnie występującymi lokalnie zawirowaniami. Szczególnie wyraźnie obserwuje się to zjawisko w dolnej partii wsadu przy ścianie komory (na rys. 3 b – przy ścianie po prawej stronie). Przy podłodze komory są widoczne (tak jak w komorze pustej) linie prądu o kierunku powrotnym do wylotu, lecz o znacznie mniejszych wartościach prędkości, niż ma to miejsce w komorze pustej.

Przeprowadzono także analizę śledzenia (tzw. *trackingu*) cząstek fazy rozproszonej. Na rysunku 4 przedstawiono toru ruchu dymu wędzarniczego dla przykładowego 1000 (rys. 4 a, b) i 5000 cząstek (rys. 4 b, c). Na poziomie ustawień przyjętych dla symulacji przepływu w modelu uwzględniającym w przestrzeni komory wypełnienie wsadem przyjęto założenie, iż cząstki fazy rozproszonej, które – niesione przepływem – zetkną się z powierzchnią obrabianego surowca, „przywierają” do niego.



Rys. 4. Tor ruchu cząstek dymu w komorze wędzarniczej: a – pustej, 1000 cząstek, b – wypełnionej wsadem, 1000 cząstek, c – pustej, 5000 cząstek, d – wypełnionej wsadem, 5000 cząstek

Fig. 4. Movement path of selected smoke particles in a curing chamber: a – in empty chamber, 1000 particles, b – in chamber with charger, 1000 particles, c – in empty chamber, 5000 particles, d – in chamber with charger, 5000 particles

Wyniki analizy *trackingu* cząstek fazy rozproszonej pozwalają na określenie miejsc koncentracji czynnika wędzącego. Pozwalają one wskazać przestrzenie, w których mogą występować niedostatecznie korzystne warunki propagacji, decydujące o poprawności realizacji operacji wędzenia.

Gdy porównuje się wyniki przepływu cząstek dymu w komorze pustej oraz w komorze wypełnionej wsadem o kształcie podłużnym połędwicy, to w tym drugim wariantcie uwydatnia się występowanie przestrzeni o niskim stopniu koncentracji cząstek dymu



w dolnych partiach wsadu oraz w górnych partiach rozmieszczonych w pobliżu osi symetrii komory, czyli w kolumnie prawej i lewej, z pominięciem skrajnych oraz środkowej umiejscowionej wzdłuż osi symetrii. Widoczne są także przestrzenie, w których występują zawirowania cząstek fazy rozproszonej (na rys. 4 a i d – po prawej stronie przy dolnych partiach wsadu).

Podsumowując analizę wyników symulacji, należy podkreślić, iż opracowany model wymaga weryfikacji eksperymentalnej. W chwili obecnej trwają prace przygotowawcze bezpośrednio z tym związane. Weryfikacja stanowi jednak pewien problem z uwagi na utrudnienia dotyczące warunków panujących wewnątrz komory podczas jej pracy. Wysoki poziom stężenia dymu skutecznie uniemożliwia zastosowanie takich metod pomiaru, jak np. PIV. Możliwa zatem wydaje się jedynie częściowa weryfikacja na podstawie pomiarów z wykorzystaniem zestawu niewielkich obrotowych anemometrów czasowych lub termoanemometrów umiejscowionych np. na ścianach lub w wybranych punktach w przestrzeni roboczej komory.

## Wnioski

1. Występowanie przeszkód w przepływie, w postaci wypełnienia wsadem, wpływa znacząco na rozkład prędkości przepływu mieszaniny dymu i powietrza, a także na koncentrację cząstek dymu wędzarniczego.

2. W przypadku modelu komory z zadeklarowanym wsadem stwierdzono występowanie przestrzeni o skrajnie małych wartościach prędkości przepływu mieszaniny dymu i powietrza. W ujęciu technologicznym ma to istotne znaczenie ze względu na utrzymanie wyrównanej jakości produkcji wyrobów wędzonych, co jest związane z równomierną propagacją składników dymu, a więc ograniczeniem występowania „martwych” przestrzeni w przepływie oraz z pożądaną absorpcją cząstek dymu na powierzchni, jak i dyfuzją w głąb produktu.

3. Wykazano występowanie braku symetrii przepływu mieszaniny dymu i powietrza, a także występowanie lokalnych zawirowań, które mogą niekorzystnie wpływać na jakość obróbki wyrobu w wyniku braku możliwości pełnej cyrkulacji dymu.

4. Zbudowany, testowany i analizowany model może stanowić narzędzie optymalizacji, której kryteria będą zorientowane w ten sposób, aby możliwe było poszukiwanie korzystnych (nowatorskich) rozwiązań konstrukcyjnych zabudowy wnętrza komory umożliwiających uzyskanie znacznie bardziej jednorodnych warunków przepływu mieszaniny dymu i powietrza pomiędzy obrabianym wsadem bez względu na jego postać geometryczną.

5. Czynniki ekonomiczny i zdrowotny wymuszają poszukiwanie nowych sposobów rozprowadzania dymu w komorach wędzarniczych, które pozwolą ograniczyć koszty ponownego, dodatkowego przeprowadzania operacji wędzenia, jeżeli wystąpi technologiczna wada niedowędzenia.

## Literatura

- ANIFANTAKI K., METAXOPOILOS J., KAMMENOU M., DROSINOS E.H., VLASSI M., 2002. The effect of smoking, packaging and storage temperature on the bacterial greening of frankfurters caused by *Leuconostoc mesenteroides* subsp. *Mesenteroides*. *J. Food Sci.* 14: 135-144.
- ANSYS CFX 12.1. 2010. [Dokumentacja programu: html help file].
- ANSYS MECHANICAL APDL 12.1. 2010. [Dokumentacja programu: html help file].
- FREIER A., 2009. Alter Brauch mit neuer Technik verküpft. *Fleischwirtschaft* 4: 38-42.
- GARCIA-FALCON M.S., SIMAL-GANDARA J., 2005. Polycyclic aromatic hydrocarbons in smoke from different woods and their transfer during traditional smoking into chorizo sausages with collagen and tripe casinos. *Food Additiv. Contam.* 22, 1: 1-8.
- GLAZUNOW J., ERSZOW A., 2006. Nieliniowy model matematyczny wędzenia ryb. W: 35. Ogólnopolska Konferencja Zastosowań Matematyki, Zakopane, 11-19 września 2006. Warszawa: 17.
- GUILLEN M.D., MANZANOS M.J., 2002. Study of the volatile composition of an aqueous oak smoke preparation. *Food Chem.* 79: 283-292.
- KOSTYRA E., 2005. Dym wędzarniczy i preparat dymu wędzarniczego. Skład, właściwości, zastosowanie. *Post. Tech. Przetw. Spoż.* 5, 2: 48-50.
- MICHALSKI M.M., 2005. Wędzenie produktów pochodzenia zwierzęcego. *Gosp. Mięśna* 2: 14-18.
- OLSZEWSKI A., 2007. *Technologia przetwórstwa mięsa*. WN-T, Warszawa.
- PAN Z., SINGH R.P., RUMSEY T.R., 2000. Predictive modeling of contact-heating process for cooking a hamburger patty. *J. Food Eng.* 46, 1: 9-19.
- PEK-MONT Sp. z o.o. 2010. PEK-MONT. [<http://www.pekmont.pl>].
- ROBERTSON A., TIRADO C., LOBSTEIN T., JERMINI M., KNAI C., JENSEN J.H., FERRO-LUZZI A., JAMES W.P.T., 2004. Food and health in Europe: a new basis for action. WHO Region. Publ. Eur. Ser. Kopenh. 96.
- 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.
- SUNEN E., FERNANDEZ-GALIAN B., ARISTIMUÑO C., 2001. Antibacterial activity of smoke wood condensates against *Aeromonas hydrophila*, *Yersinia enterocolitica* and *Listeria monocytogenes* at low temperature. *Food Microbiol.* 18: 387-393.
- WANG F.-S., 2001. Lipolytic and proteolytic properties of dry-cured boneless hams ripened in modified atmospheres. *Meat Sci.* 59: 15-22.

### THREE-DIMENSIONAL CFD COMPUTATIONAL ANALYSIS OF DISTRIBUTION OF FLOW VELOCITY FIELD OF DIPHASE MIXTURE IN SMOKING CURING CHAMBER

**Summary.** The paper shows preliminary results of air flow CFD simulation in the smoking curing chamber concern loading of single-car. The flow in the chamber with and without charge was compared. Geometric mapping of the charge resembled longitudinal shape elements close to the Sopot loin. For the simulation analysis the computational model was elaborated in the ANSYS Mechanical APDL 12.1 system. For discretization of the computational model, the spatial structural finite element type Fluid 142 was used. The discrete model contained about 1 million finite elements. For simulation initial and boundary conditions were defined based on practical knowledge of the selection of appropriate parameters for proper execution of the smoking operation and production practice. The computational calculations were conducted using package ANSYS CFX 12.1 with implemented CFD code, which lets for numerical solution of the balance equa-

Kubiak M.S., Jakubowski M., 2010. Trójwymiarowa analiza symulacyjna CFD rozkładu pola prędkości przepływu mieszaniny dwufazowej w komorze wędzarniczej. *Nauka Przyr. Technol.* 4, 5, #66.

---

tions system for motion (flow) of the fluid in the discrete model space. Following the series of simulation calculations the distribution of the flow velocity in the chamber space was obtained. For selected sections, interesting from the point of view of study (perspective), the diversity movement was determined, indicating areas where loins shows places insufficiently smoked; it is due to the extremely low values of the flow velocity.

**Key words:** smoking, CFD simulation, smoking chamber, diphas mixture

*Adres do korespondencji – Corresponding address:*

*Mariusz Sławomir Kubiak, Katedra Procesów i Urządzeń Przemysłu Spożywczego, Politechnika Koszalińska, ul. Raclawicka 15-17, 75-620 Koszalin, Poland, e-mail: mariusz.kubiak@tu.koszalin.pl*

*Zaakceptowano do druku – Accepted for print:*

*8.10.2010*

*Do cytowania – For citation:*

*Kubiak M.S., Jakubowski M., 2010. Trójwymiarowa analiza symulacyjna CFD rozkładu pola prędkości przepływu mieszaniny dwufazowej w komorze wędzarniczej. *Nauka Przyr. Technol.* 4, 5, #66.*