

# APARATURA

## BADAWCZA I DYDAKTYCZNA

### Badania schładzania mięsa z wykorzystaniem mikrostrumieni

*PIOTR A. BARANOWSKI, JAN PIWNIK, ARTUR RUSOWICZ*

**CENTRALNY OŚRODEK BADAWCZO-ROZWOJOWY APARATURY BADAWCZEJ I DYDAKTYCZNEJ  
COBRABID sp. z o.o.**

**Słowa kluczowe:** chłodzenie, mikrostrumienie, mięso wieprzowe

#### **STRESZCZENIE**

W pracy przedstawiono zastosowanie mikrostrumieni do chłodzenia mięsa. Zaprezentowano stanowisko badawcze oraz wyniki wstępnych badań. Określono eksperymentalnie krzywe chłodzenia dla różnych gatunków mięsa dla zadanych parametrów gazu w mikrostrumieniach. Następnie modelowano rozkład temperatury w próbkach i określano współczynniki wnikania ciepła od gazu chłodzącego do próbki mięsa.

#### **Research of chilling of meat with the use of microjets**

**Keywords:** chilling, microjets, meat pork

#### **ABSTRACT**

The paper presents the use microjets to cool the meat. Presented a research position and results of preliminary studies. Experimentally determined cooling curves for different species of meat for the given parameters of gas in microjets. Then modeled the temperature distribution in the samples and heat transfer coefficients determined from the cooling gas to the sample of meat.

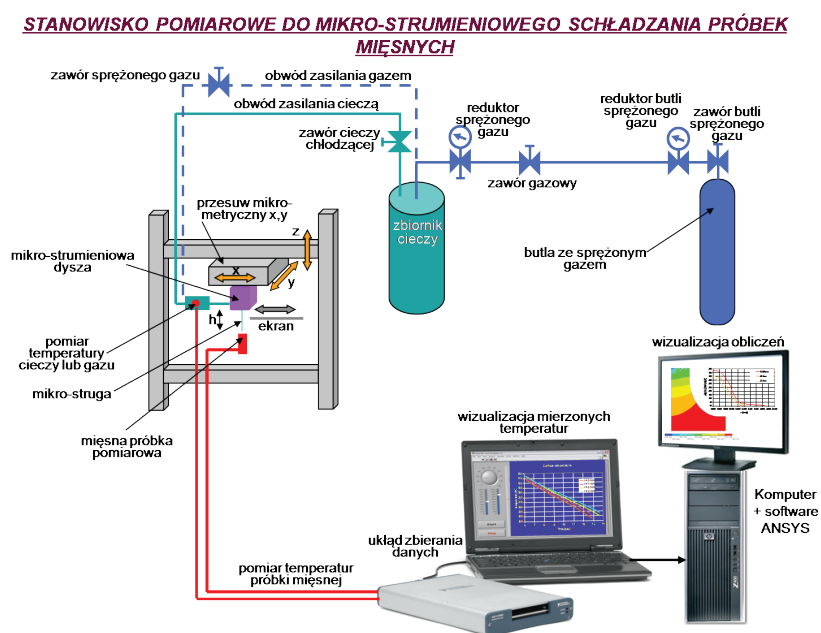
## 1. WSTĘP

Mięso, w tym wieprzowe, charakteryzuje się bardzo dużą zmiennością pod względem jakości i przydatności technologicznej. Podobnie jest w przypadku innych surowców, półfabrykatów i produktów spożywczych [1]. Właściwości termofizyczne materiałów spożywczych mają znaczący wpływ na jakość wytwarzanych produktów. Zmiany chemiczne, organoleptyczne, mikrobiologiczne powinny być brane pod uwagę przy proponowaniu technologii przetwarzania. Znaczącą rolę pełnią już warunki uboju wpływające na jakość mięsa, a następnie postępowanie poubojowe z chłodzeniem jako podstawową operacją technologiczną. Szybkość schładzania półtuszy mięsnych po uboju ma bardzo duży wpływ na jakość mięsa, jego stan mikrobiologiczny (namnażanie się organizmów patogennych), ubytek masy [2] oraz trwałość mięsa [3]. Obecnie w zakładach mięsnych stosuje się następujące metody wychładzania półtuszy: chłodzenie szybkie szokowe i ultra szybkie. W tych dwóch ostatnich metodach wychładzanie odbywa się w dwóch etapach. W pierwszym etapie półtusze wychładzane są w tunelu szokowym, a w drugim etapie następuje wyrównanie temperatury w chłodni. Przy schładzaniu szokowym trzeba schłodzić dużą objętość powietrza w komorze [4]. W proponowanej technologii mikrostrumieniowej zostanie w dużym stopniu zmniejszona powierzchnia tunelu oraz poprzez zastosowanie mikrostrumieni chłodnego powietrza kierowanego bezpośrednio na półtusze zwiększy się intensywność chłodzenia [5]. Ulegnie skróceniu czas chłodzenia przez co zwiększy się rotacja półtuszy w tunelu, a to spowoduje znaczny wzrost wydajności schładzania półtuszy w uboju. Natomiast proponowane rozwiązanie opiera się na chłodzeniu mikrostrumieniami powietrza kierowanymi bezpośrednio na przedmiot chłodzony. Jest to metoda innowacyjna i brak jest wzmianki w literaturze, zarówno zagranicznej jak i krajowej, na jej temat. Nie jest ona również stosowana dotychczas na świecie ani też w kraju do schładzania półtuszy mięsnych.

## 2. PRZEPROWADZONE BADANIA

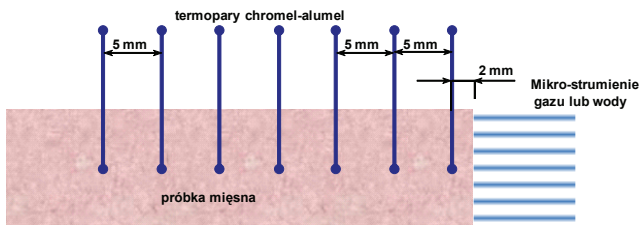
### 2.1 Stanowisko badawcze

Stanowisko badawcze zaprezentowano na Rysunku 1. Głównym elementem stanowiska jest głowica wytwarzająca mikrostrumienie. W eksperymencie zastosowano głowicę o wymiarach 6x6 mm, w której znajdowało się 9 mikrokanałów. Głowicę zamontowano nieruchomo w odległości 10 cm od próbki mięsa o wymiarach 10x10x40 mm. Próbka była izolowana cieplnie, co eliminowało wpływ parametrów otoczenia na wyniki pomiarów. Układ mikrokanałów zasilano sprężonym gazem, azotem z butli, stanowisko pozwalało również na zasilanie cieczą głowicy. Parametry medium chłodzącego były kontrolowane. W badanej próbce mięsa umieszczono 7 termopar, co zaprezentowano na Rysunku 2. Wyniki pomiarów zbierane były przez komputer, a wykorzystanie oprogramowania cieplno-przeptywowego pozwala wyznaczyć pole temperatury w badanej próbce mięsnej. Elementem końcowym było wyznaczenie współczynnika wnikania ciepła od strony gazu do powierzchni próbki mięsa. Próbki mięsne w czasie eksperymentów podgrzano do temperatury ok. 40°C, a chłodzenie zapewniał azotem o temperaturze 28°C.



**Rysunek 1** Schemat stanowiska pomiarowego wykorzystującego mikrostrumienie

**Figure 1** Schema of the experimental equipment using microjets

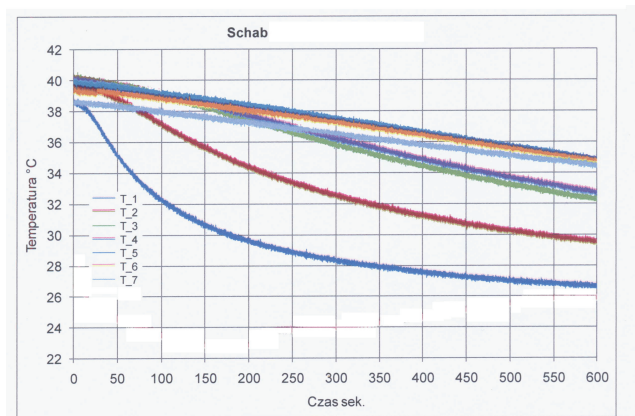


**Rysunek 2** Próbka mięsa z rozmieszczonymi termoparami

**Figure 2** Sample of meat and thermocouples spaced

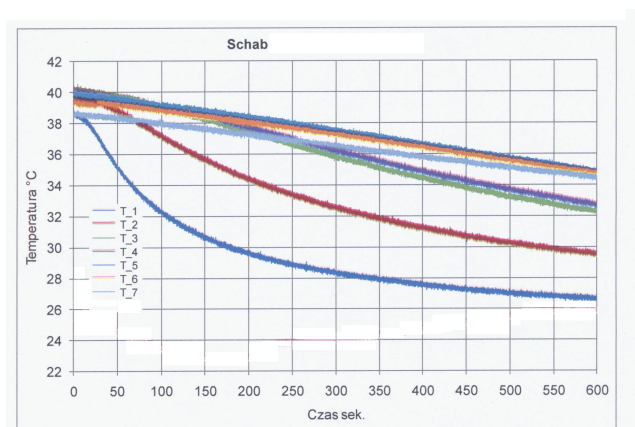
## 2.2 Wyniki schładzania mięsa

W wyniku skierowania mikrostrumieni na powierzchnię chłodzonego mięsa otrzymano rozkłady temperatury zarejestrowane przez 7 termopar, które zostały zaprezentowane na Rysunkach 3 i 4. Termopara nr 1 (T\_1) odpowiada pierwszej termoparze znajdującej się 2 mm pod powierzchnią chłodzonej próbki, następne umieszczono zgodnie z Rysunkiem 2. Prezentowane poniżej badania przeprowadzono dla mięsa wieprzowego pochodzącego z szynki (Rys. 3) i schabu (Rys. 4)



**Rysunek 3** Krzywe chłodzenia mięsa wieprzowego pochodzącego z szynki

**Figure 3** Cooling curves of pork ham

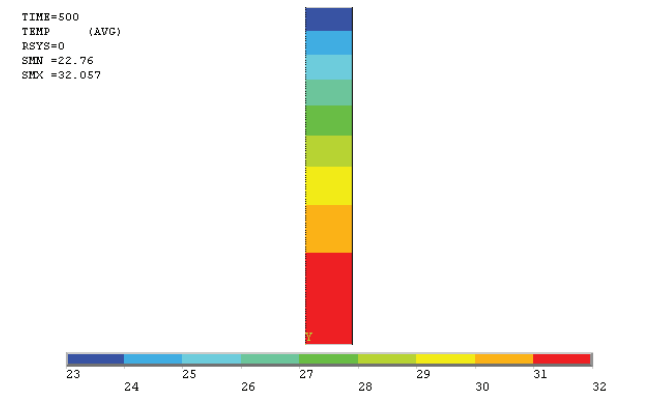


**Rysunek 4** Krzywe chłodzenia mięsa wieprzowego pochodzącego ze schabu

**Figure 4** Cooling curves of pork loin

## 2.3 Wyniki obliczeń komputerowych

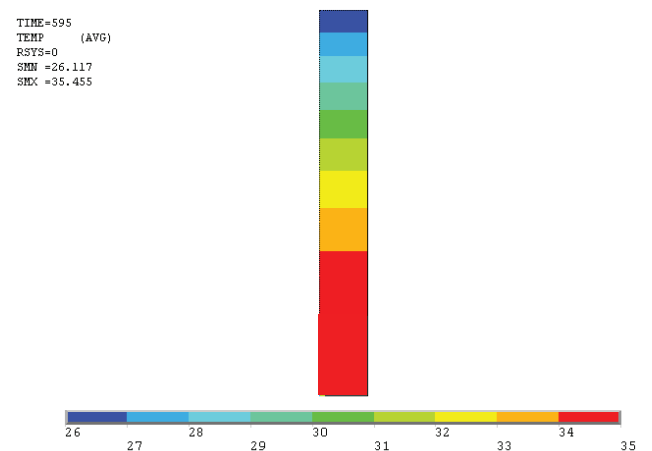
Dla próbek mięsnych na podstawie znanego rozkładu temperatur w czasie możliwe jest rozwiązanie odwrotnego zagadnienia przepływu ciepła równaniem Fouriera-Kirchhoffa. Stanowi to podstawę do wyznaczenia współczynników wnikania ciepła od strony powietrza. Na Rysunku 5 zaprezentowano rozkład temperatur w próbce szynki po 500 sekundach chłodzenia azotem.



**Rysunek 5** Wyniki z symulacji numerycznych chłodzenia szynki po 500 sekundach

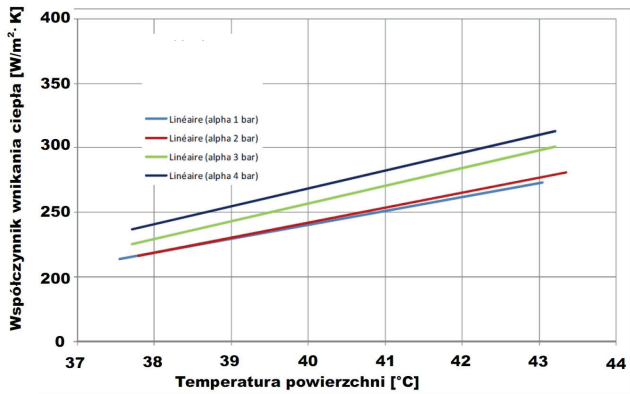
**Figure 5** The results of numerical simulations ham after 500 seconds

Otrzymano zgodność symulacji numerycznych z danymi eksperymentalnymi. Podobnie postąpiono z próbkami mięsa pochodzącymi ze schabu. Na Rysunku 6 przedstawiono wyniki dla chłodzenia schabu po 595 sekundach. W wyniku prac badawczych otrzymano wartości współczynnika wnikania ciepła od strony powietrza przedstawione na Rysunku 7.



**Rysunek 6** Wyniki z symulacji numerycznych chłodzenia szynki po 595 sekundach

**Figure 6** The results of numerical simulations loin after 595 seconds



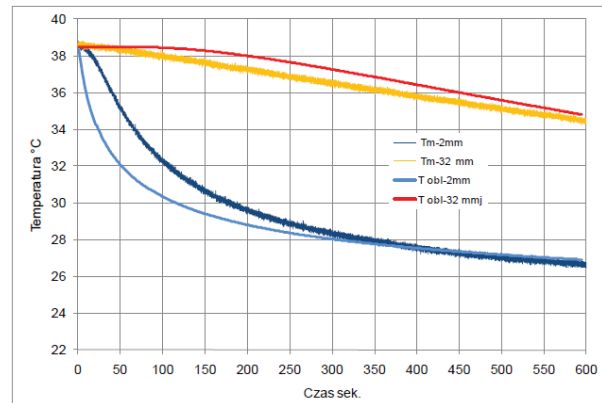
**Rysunek 7** Współczynniki wnikańia ciepła od strony gazu w funkcji temperatury

**Figure 7** Heat transfer coefficients of gas as a function of temperature

W celu zweryfikowania poprawności obliczonych metodą odwrotną przewodzenia ciepła porównane zostały przebiegi temperatur w czasie dla wybranych punktów pomiarowych w próbkach mięsnych. Porównanie wykonano dla pomiaru termoparą umieszczoną w odległości 2 mm od powierzchni próbki oraz termoparą umieszczoną w odległości 32 mm od powierzchni próbki. Rysunek 8 przedstawia przykładowy rozkład temperatur w próbce ze schabu chłodzonego azotem. Porównane są temperatury z pomiaru i z obliczeń. W efekcie weryfikacji modelu obliczeniowego otrzymano dobrą zgodność wyników eksperymentalnych i z symulacji numerycznych.

### 3. PODSUMOWANIE I WNIOSKI

Analiza wyników pomiarów wykazała wysoką sprawność chłodzenia mikrostrumieniami. Użytkano wysokie szybkości chłodzenia (od 0,4 do 0,6 °C/min), co pozwoli na wielokrotne skróce-



**Rysunek 8** Rozkład temperatur w próbce ze schabu z eksperymentu i obliczeń

**Figure 8** Temperature distribution in loin sample from experiment and calculations

nie czasu chłodzenia półtuszy w porównaniu do metod konwencjonalnych. W owiewowych komorach czasy schładzania półtuszy wieprzowych z temp. 30 °C do 3 °C wynosiły początkowo 38 godzin, obecnie wynoszą od 30 do 25 godzin. Zastosowanie tuneli zamrażalniczych skraca czasy schładzania do 7-10 godzin [6]. Prędkości powietrza w tradycyjnych układach zmieniają się w granicach 1-4 m/s, w proponowanym rozwiązaniu są o rząd wielkości większe. Na podstawie wstępnych badań istnieje możliwość znacznego obniżenia czasów schładzania mięsa wieprzowego. W związku z tym możliwa jest większa rotacja półtuszy przy wyższej efektywności energetycznej. Należy również zwrócić uwagę na bardzo wysokie współczynniki wnikańia ciepła, praktycznie o rząd wielkości większe niż w przypadku technologii tradycyjnych. Zastosowanie mikrostrumieni wydaje się perspektywiczne również w innych aplikacjach wykorzystujących chłodzenie z wykorzystaniem gazu jako chłodziwa.

### LITERATURA

- [1] ASHRAE Handbook – Refrigeration 2010.
- [2] Kozioł J., Wpływ zawartości wody w zamrażanych produktach mięsnych na suszarkę. XXXIX Dn. Chłodnictwa, Poznań 2007.
- [3] Miszczuk B., System wychładzania tusz wieprzowych w procesie technologicznym zakładów mięsnych jako czynnik modyfikujący wartość kulinarną i przetwórczą mięsa. Praca doktorska, Akademia Podlaska, Siedlce 2009.
- [4] Gruda Z., Podstolski J., Zamrażanie żywności, WNT Warszawa 1999.
- [5] Kercher D. S., Lee J. B., Brand O., Allen M. G., Microjet Cooling Devices for Thermal Management of Electronics, IEEE Transactions on Components and Packaging Technologies, Vol. 26, No. 2, June 2003.
- [6] Kłós Z., Karwat M., Dubicki B., Poradnik Projektanta Przemysłowego Chłodnictwo, Bistyp 1979.