

APARATURA

BADAWCZA I DYDAKTYCZNA

Poprawa efektywności schładzania schabu wieprzowego

*ARTUR RUSOWICZ^{1,3}, EDWARD POSPIECH², PIOTR A. BARANOWSKI¹,
ANDRZEJ GRZEBIELEC³, MACIEJ LESZCZYŃSKI¹*

¹CENTRALNY OŚRODEK BADAWCZO ROZWOJOWY APARATURY BADAWCZEJ I DYDAKTYCZNEJ
COBRABID sp. z o.o.

²UNIWERSYTET PRZYRODNICZY W POZNANIU, INSTYTUT TECHNOLOGII MIĘSA

³POLITECHNIKA WARSZAWSKA, INSTYTUT TECHNIKI CIEPLNEJ

Słowa kluczowe: schładzanie, mikrostrumienie, mięso wieprzowe, wymiana ciepła

STRESZCZENIE

W pracy przedstawiono zastosowanie mikrostrumieni do chłodzenia mięsa pochodzącego ze schabu wieprzowego. Porównano szybkość chłodzenia w stosunku do chłodzenia owiewowego w komorze chłodniczej. Wykazano korzyści energetyczne przy chłodzeniu mięsa przejawiające się skróceniem czasu chłodzenia i zwiększeniem współczynnika efektywności chłodniczej dla dwóch popularnych czynników chłodniczych R134a i R717.

Improvement of the efficiency of cooling the pork loin

Keywords: chilling, microjets, meat pork, heat transfer

ABSTRACT

This paper describes the use of microjets to cool the meat of pork loin. Waft cooling rate compared to the cooling rate for cooling in the refrigerator. It has been shown in cooling energy benefits of meat manifested in shorter cooling time and increase cooling efficiency ratio for two popular refrigerants R134a and R717.

1. WPROWADZENIE

W 2012 roku produkcja trzech podstawowych rodzajów żywności w wadze białej ciepłej (bez podrobów) wyniosła 3 687 tys. ton i była taka sama jak rok wcześniej. Produkcja wieprzowiny wyniosła 1734 tys. ton, a wołowiny 371 tys. ton. W stosunku do poprzedniego roku, produkcja wieprzowiny zmniejszyła się o 8%, a wołowiny o 4%. Produkcja drobiu wyniosła natomiast 1582 tys. ton i była o 11% większa niż w 2011 roku [1]. W produkcji wieprzowiny Polska zajmuje 6. miejsce na świecie, więc skala zagadnień chłodzenia jest znacząca. Technologia produkcji mięsa jest ściśle związana z potrzebą schłodzenia poubojowego mięsa [2]. W tym celu stosuje się różnego typu sprężarkowe urządzenia chłodnicze. Moce chłodnicze zaangażowane do tego typu operacji technologicznych są znaczące, a w związku z tym pojawiają się problemy w zakresie energooszczędności i aspektów ekologicznych używanych urządzeń. Na poziomie unijnym zatwierdzony został na Szczycie Rady Europejskiej 9 marca 2007 r. program 3x20, zgodnie z którym do 2020 roku należy:

- zmniejszyć emisję gazów cieplarnianych o 20% w stosunku do poziomu z 1990 roku,
- poprawić wydajność energetyczną w UE o 20%,
- zwiększyć udział źródeł odnawialnych o 20% w produkcji energii.

W związku z założeniami unijnymi w pracy postanowiono poprawić efektywność schładzania mięsa wieprzowego. W początkowej fazie skupiono się na schładzaniu wieprzowym, ze względu na jego stosunkowo najwyższą wartość.

2. URZĄDZENIA CHŁODNICZE

Przy schładzaniu wykorzystywane są najczęściej sprężarkowe urządzenia chłodnicze w postaci komórek lub tuneli chłodniczych [3, 4]. Czynnikiem roboczym w tego typu układach są różne czynniki chłodnicze, zarówno naturalne (np. amoniak, dwutlenek węgla), jak i syntetyczne (obecnie głównie HFC – hydrofluorowęglowodory). Czynniki naturalne, w stosunku do syntetycznych, charakteryzują się niskim wpływem na efekt cieplarniany, wyrażanym poprzez współczynnik GWP (ang. Global Warming Potential). Wartość GWP informuje o równoważniku emisji dwutlenku węgla do atmosfery np. emisja 1 kg R404A odpowiada emisji 3922 kg dwutlenku węgla (dane z Tab. 1). Drugi aspekt ekologiczny dotyczy niszczenia ozonu. Obecnie syntetyczne czynniki chłodnicze nie wpływają na „dziury ozonowe”, poza R22, który jest wycofywany z użycia. W Tabeli 1 zestawiono używane czynniki chłodnicze. W związku z zagadnieniami ekologicznymi najbardziej atrakcyjnym czynnikiem wydaje się być R717 (amoniak), na drugim miejscu znajduje się czynnik syntetyczny R134a. Natomiast wadą amoniaku jest jego wysoka toksyczność i palność, w stosunku do R134a, który jest nietoksyczny i niepalny [5].

Drugim aspektem, nad którym należy się zastanowić, jest podniesienie efektywności energetycznej. Miarą wykorzystania energii elektrycznej do wytworzenia chłodu jest współczynnik wydajności chłodniczej EER (ang. Energy Efficiency Rating) zdefiniowany jako:

$$EER_C = \frac{\dot{Q}_o}{L}$$

Tabela 1 Potencjał tworzenia efektu cieplarnianego (GWP) i współczynniki wydajności chłodniczej (EER) dla różnych czynników chłodniczych

Table 1 Global warming potential and energy efficiency rating (EER) for different refrigerants

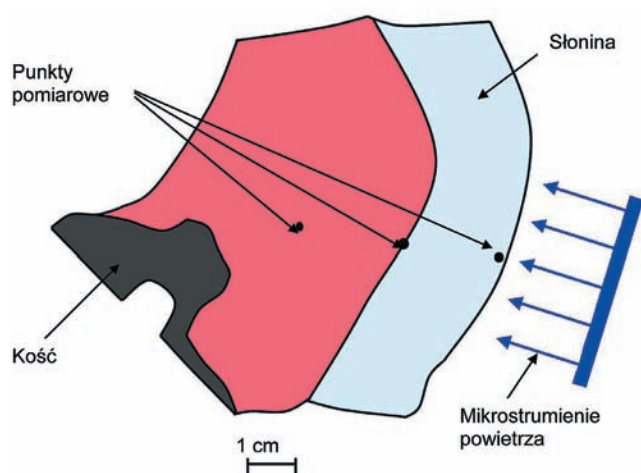
Parametr	Czynnik chłodniczy				
	R22	R134a	R404A	R507A	R717
GWP	1700	1430	3922	3985	0
Temp. wrzenia	Współczynnik wydajności chłodniczej EER				
-20°C	2,193	2,166	1,911	1,931	2,229
-15°C	2,489	2,438	2,193	2,214	2,533
-10°C	2,844	2,832	2,553	2,556	2,899
-5°C	3,278	3,277	2,950	2,974	3,346
-2°C	3,588	3,595	3,248	3,273	3,665
0°C	3,820	3,834	3,471	3,497	3,903

gdzie \dot{Q}_0 - moc chłodnicza, L - moc sprężarki.
W Tabeli 1 zestawiono współczynniki EER_c analizowanych czynników chłodniczych dla jedno-stopniowych urządzeń chłodniczych przy założeniu sprawności izentropowej sprężarki 0,7 i temperatury skraplania 40°C dla różnych temperatur wrzenia w parowniku. Można stwierdzić, że wartości współczynnika wydajności chłodniczej dla różnych czynników chłodniczych niewiele różnią się od siebie dla porównywalnych temperatur wrzenia. Najatrakcyjniejsze współczynniki posiadają R717 i R134a, podobnie jak przy analizie ekologicznej. W związku z tym w dużych, przemysłowych instalacjach chłodniczych wykorzystuje się R717, natomiast w mniejszych często R134a.

3. BADANIA CHŁODZENIA MIĘSA

Do badań szybkości chłodzenia przygotowano wycinki schabu o długości 40 cm i masie 3,2 kg oraz temperaturze początkowej 35°C.

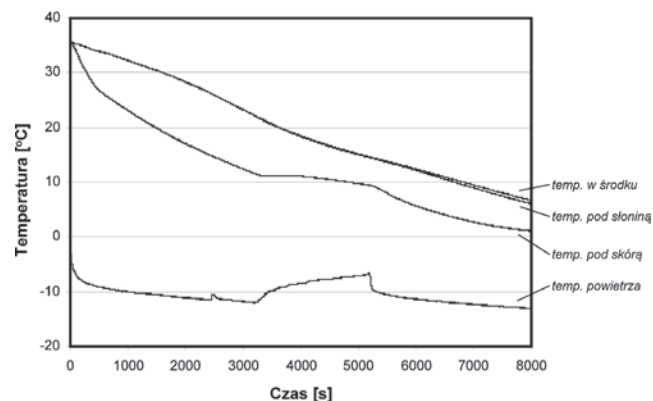
W schabie umieszczono 3 czujniki temperatury (pod skórą, na granicy słoniny i mięsa oraz w środku mięsa), których rozmieszczenie zaprezentowano na Rysunku 1. Czwarty czujnik umieszczono w komorze rejestrując temperaturę powietrza w komorze chłodniczej. Wykorzystano czujniki oporowe Pt100 wykonane w płaszczu ze stali nierdzewnej o średnicy 3 mm, podłączone do modułu pomiarowego ADAM-4000. Rejestrowano temperatury z dokładnością 0,1°C z krokiem czasowym 1 s.



Rysunek 1 Przekrój schabu z rozmieszczonymi punktami pomiarowymi temperatury

Figure 1 Cross section of loin with distributed temperature measurement points

Chłodzenie przeprowadzono w komorze chłodniczej zmieniając temperaturę wrzenia czynnika chłodniczego. Początkowo umieszczono schab, ustawiając temperaturę wrzenia na poziomie -10°C. Termoanemometrem zmierzono prędkości powietrza przy powierzchni mięsa, które kształtowały się w zakresie 0,4-0,6 m/s. W wyniku pomiarów otrzymano krzywą chłodzenia przedstawioną na Rysunku 2.

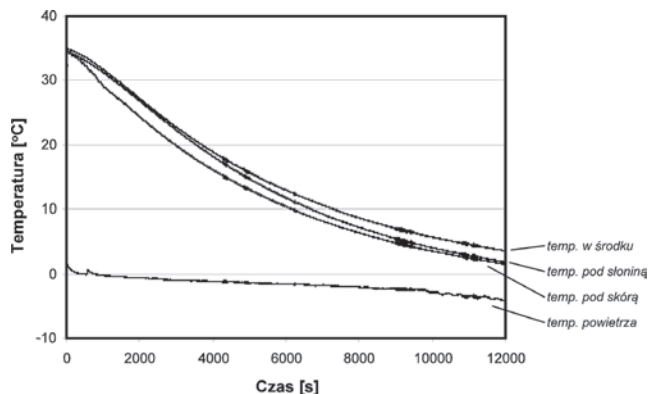


Rysunek 2 Schładzanie schabu w komorze o ustawionej temperaturze wrzenia -10°C

Figure 2 Cooling loin in storage compartment with the set point evaporation temperature -10°C

Na Rysunku 2 można zaobserwować wpływ otwarcia komory w celu umieszczenia badanego schabu. Nastąpił wzrost temperatury powietrza w komorze chłodniczej. W trakcie chłodzenia najszybciej rejestrowany jest spadek temperatury pod skórą, co jest zgodne z fizyką zjawiska. Widoczna jest również odpowiedź rejestrowanej temperatury na wyłączenie agregatu chłodniczego w okresie od 3200 s do 5300 s. Następuje także widoczna zmiana szybkości chłodzenia, kiedy mechanizm wymiany ciepła przechodzi z konwekcji wymuszonej na swobodną. Wymiana ciepła pomiędzy warstwą zewnętrzną a powietrzem zmniejsza się, natomiast wyraźnie widać napływ ciepła od głębszych warstw mięsa, co powoduje, że szybkość chłodzenia spada w warstwie pod skórą. Przy zbyt długim czasie przestoju agregatu może dojść nawet do wzrostu temperatury. Wyłączenie agregatu można zaobserwować na rozkładzie temperatury powietrza. Kiedy urządzenie chłodnicze osiąga najniższą nastawę temperatury, wyłącza się agregat i temperatura powietrza osiąga górną nastawę. W czasie chłodzenia wewnątrz mięsa nie obserwuje się zmiany szybkości chłodzenia. Uzyskano średnią szybkość chłodzenia w środku mięsa na poziomie 0,16°C/min.

W drugim przypadku umieszczono w odległości 50 mm głowicę nadmuchującą powietrze z mikrodysz na powierzchnię schabu. Głowica posiadała mikroszczeliny o wymiarach 0,04x0,06 mm. Wymiar głowicy wynosił 136x33 mm, a w niej znajdowało się 7100 mikrodysz, równomiernie rozmieszczonych na powierzchni. Temperaturę wrzenia w urządzeniu chłodniczym ustawiono na poziomie -2°C . W wyniku pomiarów otrzymano krzywą chłodzenia przedstawioną na Rysunku 3. Uzyskano średnią szybkość chłodzenia na poziomie $0,22^{\circ}\text{C}/\text{min}$.



Rysunek 3 Chłodzenie w komorze z dodatkowymi mikrostrumieniami o nastawionej temperaturze wrzenia -2°C

Figure 3 Cooling in storage compartment with additional micro-jets the set point evaporation temperature -2°C

Docelowo wykorzystywanie chłodzenia za pomocą mikrostrumieni obejmuje całe półtusze wieprzowe. Na Rysunku 4 przedstawiono próby tego typu chłodzenia w ubojni, gdzie głowice z mikrostrumieniami dochładzają szynkę, schab i karłowkę.

4. PODSUMOWANIE

W pracy przedstawiono wstępną analizę chłodzenia schabu z dodatkowym chłodzeniem wykorzystującym mikrostrumienie. Uzyskano wysoką efektywność chłodzenia z mikrostrumieniami w porównaniu do metod konwencjonalnych. Czas schładzania mięsa o 23°C zmniejszono z 144 minut do 107,5 minut, a średnia szybkość chłodzenia zwiększyła się o 34,4%. Jednocześnie zwiększono temperaturę wrzenia urządzenia chłodniczego z -10°C do -2°C . Rozwiązanie to zwiększa wartość współczynnika wydajności chłodniczej dla R134a z 2,832 do 3,595, a w przypadku R717 (amoniaku) z 2,899 do 3,665. Jest to równoznaczne ze zmniejszeniem energochłonności procesu chłodzenia o 21,2% dla R134a i 20,9% dla R717.



Rysunek 4 Zdjęcie półtuszy wieprzowej z zamocowanymi głowicami mikrostrumieniowymi

Figure 4 Picture of pork half-carass with mounted micro-jets heads

Prędkości powietrza w tradycyjnych układach zmieniają się w granicach 1-4 m/s, a w proponowanym rozwiązaniu są o rząd wielkości większe. Podobnie zmieniają się współczynniki wnikańia ciepła, które dla konwekcji swobodnej wynoszą $3-20\text{ W}/\text{m}^2\text{K}$, wymuszonej $10-150\text{ W}/\text{m}^2\text{K}$ [6], a przy zastosowaniu mikrostrumieni uzyskały wartości $235-250\text{ W}/\text{m}^2\text{K}$ [7]. Jednak na bazie prezentowanych wyników pomiarów można już teraz oszacować krótszy czas i większą prędkość schładzania rzeczywistych półtuszy [8].

Realizacja badań była możliwa dzięki wsparciu finansowemu przez NCBiR w ramach programu INNOTECH w ścieżce programowej IN-TECH projektu „Opracowanie innowacyjnej technologii schładzania mięsa oraz instalacji do jej zastosowania” nr INNOTECH-K2/IN2/43/182391/NCBR/12.

LITERATURA

- [1] Makowski J., Rycombel D., Zawadzka D., Aktualny i przewidywany stan rynku wieprzowiny, Rynek Mięsa 44, 6-18, 2013.
- [2] 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.
- [3] Bowater F. J., Rapid carcass chilling plants compared to conventional system. Proceeding of the Institute of Refrigeration, London, 1-6, Available: www.fib.co.uk.
- [4] Savell J. W., Mueller S. L., Bard B. E., The chilling of carcasses, Meat Science 70 (2005) 449-459.
- [5] Grzebielec A., Pluta Z., Ruciński A., Rusowicz A., Czynniki chłodnicze i nośniki energii. Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej, Warszawa 2011.
- [6] Kondjoyan A., Daudin J. D., Optimisation of Air-flow Conditions the Chilling and Storage of Carcasses and Meat Products, J. of Food Engineering 34 (1997) 243-258.
- [7] Rusowicz A., Pospiech E., Baranowski P. A., Leszczyński M., Stanowisko pomiarowe do wyznaczania współczynników przejmowania ciepła pomiędzy powierzchnią a mikrostrumieniami, ABiD 3 (2013) 20-25.
- [8] Baranowski P. A., Piwnik J., Rusowicz A., Schładzanie próbek mięsa za pomocą mikrostrumieni. Chłodnictwo 5 (2012) 34-36.