

*Góral Dariusz, Domin Marek*  
*Katedra Chłodnictwa i Energetyki Przemysłu Spożywczego*  
*Akademia Rolnicza w Lublinie*

## **WSPOMAGANA KOMPUTEROWO ANALIZA PRACY PROTOTYPOWEGO URZĄDZENIA DO CHŁODNICZEJ OBRÓBKİ ŻYWNOŚCI**

### **Streszczenie**

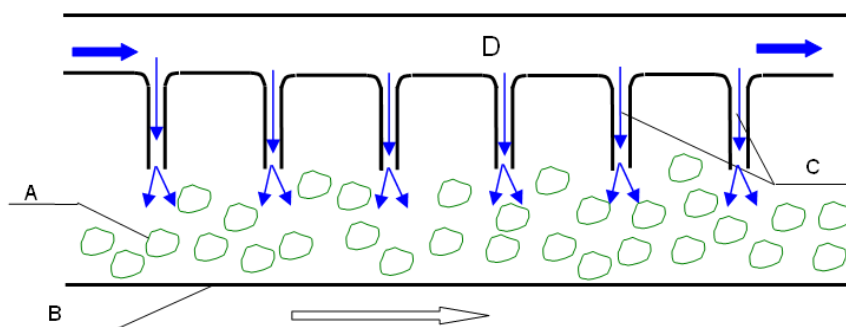
Celem badań było wyznaczenie optymalnego położenia produktu w przestrzeni roboczej prototypowego urządzenia do obróbki chłodniczej metodą impingement, podczas realizacji procesów zamrażania bądź rozmrażania żywności w aspekcie uzyskiwania najwyższych współczynników wnikania ciepła. Analizę uzyskiwanych parametrów procesu przeprowadzono w oparciu o metody wspomagania komputerowego. Do badań wykorzystano uniwersalne urządzenie laboratoryjne (rys. 2) do zamrażania i rozmrażania produktów rolniczych i żywności w systemie impingement [Góral i in., 2003; Góral i in., 2004; Kluza, 1999; Kluza i in., 2003] o mocy chłodniczej 3,5kW i temperaturze zamrażania  $-20^{\circ}\text{C}$ . W celu wyznaczenia współczynnika wnikania ciepła podczas schładzania zamienników rejestrowano zmiany temperatury za pomocą ośmiokanałowego termometru TIK rejestrującego co sekundę wartość temperatury z dokładnością  $\pm 0,05^{\circ}\text{C}$ . Współczynnik wnikania ciepła wyznaczono wspomaganą komputerowo metodą zamienników o wymiarach  $50 \times 50 \times 10\text{mm}$ , które wykonane były z miedzi Cu 99,99B M00B (rys. 3).

**Słowa kluczowe:** impingement, współczynnik wnikania ciepła, kinetyka procesu

### **Wstęp**

W ostatnich latach obserwuje się dążenie producentów żywności do ciągłego redukcji czasu obróbki produktów spożywczych i rolniczych przy jednoczesnym zachowaniu najistotniejszych cech surowca świeżego. Tendencje te nie ominęły przetwórstwa chłodniczego żywności. Szczególnie duże zainteresowanie wywołują urządzenia wykorzystujące zjawisko impingement. Istnieją dwa zastosowania tego zjawiska, w zamrażaniu i rozmrażaniu fluidyzacyjnym. Pierwsza metoda wykorzystująca zjawisko impingement polega na skierowaniu strumienia powietrza specjalnymi przewodami od dołu na warstwę produktu i wywołanie jego pozornego wrzenia. Metoda ta nie odbiega od klasycznej fluidyzacji [Ovadia i in. 1998; Salvadori i in. 2002]. Druga z metod

polega na wywołaniu zjawiska fluidyzacji, poprzez skierowanie strumienia powietrza od góry na produkt, co w powiązaniu z odbitymi od dna komory roboczej strumieniami powietrza wzmacnia efekt fluidyzacji i przemieszczanie się elementów złoża względem siebie (rys. 1). Skierowanie strumienia powietrza od góry na produkt jest bardzo obiecującym rozwiązaniem ze względu na wysoką jakość produktów w ten sposób zamrażanych lub rozmrażanych [Góral i in. 2003; Kluza 1999].



Rys. 1. Schemat wykorzystania zjawiska impingement w systemie odwróconej fluidyzacji: A – produkt, B – taśma, C- dysze, D – komora sprężonego powietrza

Fig.1. Apparatus using reverse fluidization effect, A- product, B- belt, nozzles, D- compressed nitrogen vapour chamber

Prawidłowe i optymalne wykorzystanie metody zmodyfikowanej fluidyzacji, z górnym doprowadzeniem strumienia powietrza do złoża, nie jest możliwe bez szczegółowych badań oraz zdefiniowania podstawowych parametrów pracy urządzenia impingement funkcjonującego w warunkach eksploatacyjnych. Zastosowanie metod wspomaganie komputerowego umożliwiło sterowanie i monitorowanie przebiegu procesów wymiany ciepła podczas zamrażania oraz rozmrażania produktów rolniczych i spożywczych z wykorzystaniem metody impingement. Dzięki zastosowaniu specjalistycznego oprogramowania współpracującego z aparaturą kontrolno-pomiarową możliwe stało się precyzyjne wyznaczanie współczynnika wnikania ciepła w trakcie schładzania i ogrzewania zróżnicowanych produktów, w zależności od ich rozmieszczenia w przestrzeni roboczej.

Celem badań było wyznaczenie optymalnego umiejscowienia produktu w aspekcie uzyskiwania najwyższych współczynników wnikania ciepła, w powiązaniu z zastosowaniem metod wspomaganie komputerowego podczas zamrażania i

rozmrzania wybranych produktów rolniczych i żywności w urządzeniu wykorzystującym zjawisko impingement.

### Metodyka

Do badań wykorzystano uniwersalne urządzenie laboratoryjne do zamrażania i rozmrażania produktów rolniczych i żywności w systemie impingement (rys. 2) o następujących parametrach pracy [Góral i in. 2003; Góral i in. 2004; Kluza 1999; Kluza i in. 2003]:

- moc chłodnicza urządzenia wynosi 3,5 kW,
- temperatura zamrażania  $-20^{\circ}\text{C}$ ,
- wielkość próby obrabianego surowca 0,5 kg.



Rys. 2. Prototypowe urządzenie do chłodniczej obróbki żywności w systemie impingement

Fig. 2. The view of laboratory impingement stand

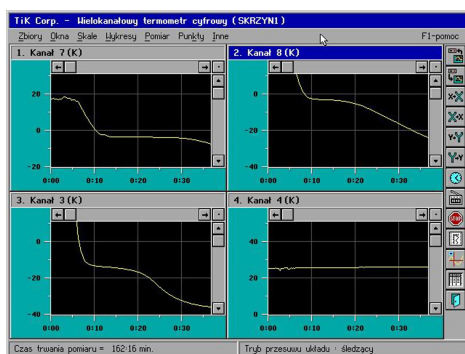
Badania rozpoczęto od scharakteryzowania przepływu powietrza i warunków wymiany ciepła w pracującym urządzeniu. Powiązano wpływ długości i średnicy przewodów zamontowanych w głowicy na prędkość wypływającego z nich powietrza. Zastosowano przewody o następujących wymiarach:

- średnicy wewnętrznej 10, 15, 18, 20 i 22 mm
- długości od 100 do 370 mm.

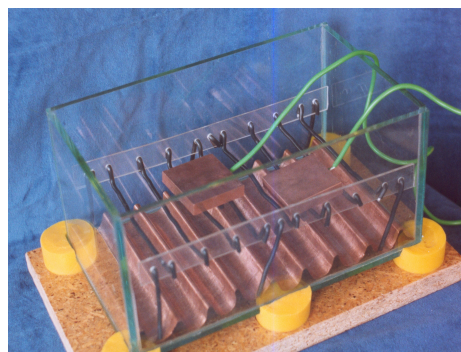
Pomiarów prędkości przepływu powietrza dokonano za pomocą przenośnego miernika przepływu o zakresie pomiaru 0,2÷30 m/s, wyposażonego w sondę skrzydełkową.

Współczynnik wnikania ciepła wyznaczono wspomaganą komputerowo metodą zamienników. Zamienniki o wymiarach 50×50×10mm wykonane były z miedzi Cu 99,99B M00B. Pomiar zmian temperatury podczas schładzania lub ogrzewania płytek wzorcowych prowadzono za pomocą ośmiokanałowego termometru TIK rejestrującego co sekundę zmianę temperatury z dokładnością  $\pm 0,05^{\circ}\text{C}$ . Miernik cyfrowy TIK zaopatrzony w sondy termoparowe typu NiCrNi współpracował dzięki specjalistycznemu oprogramowaniu z komputerem klasy PC (rys. 3).

Sondy pomiarowe rejestrujące zmianę temperatury umieszczano w kanałkach o średnicy 1 mm, które wydrążono do centrum termicznej płytki modelowej. Pustą przestrzeń pomiędzy termoparą a płytką wypełniano termoprzewodzącą pastą silikonową [Góral i in. 2003]. Rozmieszczenie zamienników w przestrzeni roboczej wraz z sondami przedstawia rysunek 4.



Rys. 3. Panel programu do wizualizacji graficznej pomiarów dokonywanych miernikiem TIK  
Fig. 3. View of the screen for visualization values of measurement



Rys. 4. Ułożenie płytek w komorze roboczej  
Fig. 4. Arrangement of food models in the working chamber

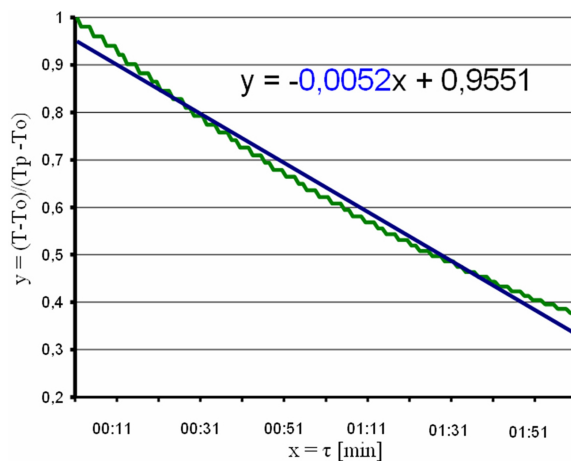
Po odpowiednim obrobieniu zarejestrowanych zmian temperatury w centrum termicznym zamiennika wyznaczano wartość współczynnika wnikania ciepła z wykresu (rys. 5), na którym oś rzędnych stanowiły wartości  $(T - T_0)/(T_p - T_0)$ , a

oś odciętych czas procesu. Tangens kąta nachylenia linii wyznaczano przy pomocy analizy regresji wykonanej w programie Excel, a wartość współczynnika wnikania ciepła obliczano z zależności [Fellows 2000]:

$$\alpha = \frac{\rho \cdot V \cdot c \cdot \xi}{A}$$

gdzie:

- $\alpha$  – średni współczynnik wnikania ciepła [W/m<sup>2</sup>K],
- $\rho$  – gęstość miedzi [kg/m<sup>3</sup>],
- $V$  – objętość płytki [m],
- $c$  – pojemność cieplna właściwa [kJ/kgK],
- $\xi$  – tangens kąta nachylenia linii regresji,
- $A$  – powierzchnia płytki [m<sup>2</sup>],



Rys. 5. Sposób wyznaczenia wartości  $\xi$

Fig. 5. Method for determining the value of  $\xi$

Wszystkie pomiary przeprowadzono w trzech seriach, po trzy powtórzenia, dla dwóch temperatur powietrza roboczego. Uzyskane wyniki poddano obróbce statystycznej w programie StatGraphics.

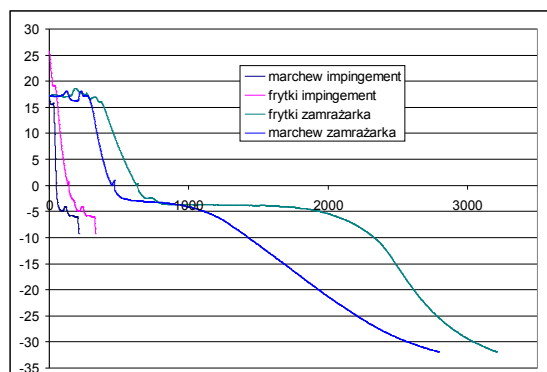
W celu określenia warunków wymiany ciepła dla żywności i produktów rolniczych w urządzeniu wykorzystującym zjawisko impingement w dalszym etapie badań zastąpiono płytki modelowe frytkami ziemniaczanymi oraz kostką z marchwi. W urządzeniu laboratoryjnym produkty zamrażano w temperaturze -10°C oraz dla porównania w zamrażarce skrzyniowej w temperaturze -32°C. Pozwoliło to na

wyznaczanie kinetyki zamrażania i rozmrażania. Kinetykę zamrażania wybranych produktów w urządzeniu impingement porównano z wynikami uzyskanymi podczas prowadzenia tych procesów w zamrażarce skrzyniowej. Rozmrażanie produktów wykorzystanych do badań prowadzono w temperaturze 15°C w wodzie i powietrzu w warunkach konwekcji swobodnej oraz metodą impingement.

### **Wyniki i ich dyskusja**

Prędkość powietrza wypływającego z rurek zawierała się pomiędzy 13 a 20 m/s. i uwarunkowana była średnicą oraz długością zastosowanych rurek. Największą szybkość przepływu powietrza uzyskano stosując głowicę wykonaną z przewodów o średnicy wewnętrznej 18 mm i długości 370 mm. Zastosowanie takiej głowicy doprowadziło do uzyskania warunków zamrażania w temperaturze -10°C przy zastosowaniu metody impingement, które odpowiadają parametrom zamrażania fluidyzacyjnego w temperaturze -20°C. Rozmieszczenie zamienników w przestrzeni aktywności strumienia powietrza oraz ich odległość od taśmy roboczej istotnie wpłynęły na kształtowanie się wartości współczynnika wnikania ciepła. Najwyższą wartość tego współczynnika uzyskano przy rozmieszczeniu zamienników bezpośrednio pod strumieniem powietrza w odległości 7 cm od dysz i 5 cm od dna komory roboczej. Przy takim ułożeniu wartość współczynnika wnikania ciepła osiągała 116 W/m<sup>2</sup>K. Średni współczynnik wnikania ciepła wyznaczony analityczno-statystycznie wyniósł 100 W/m<sup>2</sup>K.

Porównanie kinetyki zamrażania produktów rolniczych utrwalanych w różnych warunkach wykazało, że proces najszybciej przebiegał w przypadku wykorzystania metody impingement (rys. 6). Szybkość zamrażania kostki marchwi wynosiła średnio 14,8 cm/h, a frytek ziemniaczanych 8,88 cm/h i była wyższa niż uzyskiwana w zamrażarce skrzyniowej gdzie wynosiła odpowiednio 2,05 i 1,25 cm/h pomimo zastosowania znacznie niższej temperatury zamrażania. W metodzie impingement odnotowano wystąpienie przechłodzenia, którego brak jest w warunkach konwekcji swobodnej.



Rys. 6. Kinetyka zamrażania kostki marchwi i frytek ziemniaczanych

Fig. 6. Freezing curves of carrot and French fry in cabinet freezer and impingement method

Jakość końcowa produktu po rozmrożeniu jest ściśle zależna od szybkości rozmrażania. Wykorzystanie metody odwróconej fluidyzacji doprowadziło do znacznego skrócenia czasu procesu i osiągnięcia większych szybkości rozmrażania, które zbliżone są do szybkości uzyskiwanych w łaźni wodnej (tab.1).

Tabela 1. Wyznaczona eksperymentalnie szybkość rozmrażania badanych produktów rolniczych

Table 1. Experimentally obtained thawing rate for analysed products

Środowisko	Produkt	Szybkość procesu [cm/min]
woda	frytki ziemniaczane	2,09
	marchew kostka	2,66
powietrze konwekcja swobodna	frytki ziemniaczane	0,4
	marchew kostka	0,46
impingement	frytki ziemniaczane	2,42
	marchew kostka	2,93

Na podstawie przeprowadzonych badań, wykazano przydatność analizowanego urządzenia do pracy w warunkach przemysłowych. Głównym atutem za tym przemawiającym jest jego uniwersalność, w przypadku zastosowań do obróbki chłodniczej oraz osiąganie parametrów pracy pozwalających na uzyskanie produktów o najwyższej jakości.

## **Wnioski**

1. Prędkość wypływu powietrza z dysz kształtowała się w zakresie od 13 do 20 m/s i zależała od średnicy i długości dyszy. Największą szybkością wypływu powietrza charakteryzowała się dysza o średnicy wewnętrznej 18 mm i długości 370 mm.
2. Współczynnik wnikania ciepła zależy od umiejscowienia zamienników w strugach omywającego je powietrza oraz ich odległość od taśmy roboczej. Najwyższą wartość tego współczynnika uzyskano bezpośrednio pod strumieniem powietrza w odległości 7 cm od dysz i 5 cm od dna, w tym przypadku wartość współczynnika wnikania ciepła osiągnęła 116 W/m<sup>2</sup>K.
3. Wykorzystanie w zamrażaniu oraz rozmrażaniu metody odwróconej fluidyzacji powoduje istotne skrócenie trwania procesu.

## **Bibliografia**

Fellows P. 2000. Food Processing Technology: Principles and Practice. Ellis Horwood, New York.

Góral D., Kluza F. 2003. Technika odwróconej fluidyzacji w rozmrażaniu produktów rolniczych i spożywczych. Acta Scientiarum Polonorum. Technica Agraria, 2 (1), 23-31.

Góral D., Kluza F. 2004. Eksperymentalna identyfikacja funkcjonowania chłodniczego systemu impingement. Inżynieria Rolnicza 5 (60), 117-125.

Kluza F. 1999. Preliminary evaluation of impingement method utility for food freezing. Proceedings of the International Congress „Improved traditional foods for the next century”, DG XII European Commission and CSIC Valencia, Spain, 28-29 October 1999, 406-408.

Kluza F., Góral D. 2003. Sposób obróbki żywności i urządzenie do obróbki żywności. Biuletyn Urzędu Patentowego, 20 (777).

Ovadia D.Z., Walter (Chuck) C.E. 1998. Impingement in food processing. Food Technology. vol 52, 4, 46-50.

Salvadori V.O., Mascheroni R.H. 2002. Analysis of impingement freezers performance. J. Food Eng., 54, 133-140.



*Praca naukowa finansowana ze środków Komitetu Badań Naukowych w latach 2004-2007 jako projekt badawczy nr 2P06T 04726.*

## **ANALYSIS OF WORK OF PROTOTYPE IMPINGEMENT DEVICE FOR REFRIGERATION TREATMENT OF FOOD WITH AID OF COMPUTER**

### **Summary**

It was analyzed work of prototype device for refrigeration treatment of food by using impingement method. Conditions of work were analyzed and ascertained, that it was highest speed of outflow air for 18 mm of internal diameter and 370 mm length of nozzle. It followed from the experimental investigations that the position of food models exerted a significant influence on the value of heat transfer coefficient. The highest value of the heat transfer coefficient was obtained at laying under air stream at distance of 7 cm from nozzles and 5 cm from bottom. French fries and carrot cubes were frozen with impingement method and at natural convection conditions and were thawed in water bath and in air at the natural and forced convection and impingement system. It was found out that the freezing proceeded fastest at the impingement system despite the lower ambient temperature. Analysing the thawing kinetics it was found that the impingement method use leads to serious shortening of the process time and obtainment of thawing rate near that in water bath (2,66 cm/h) and it was 2,66 cm/h.

**Key words:** refrigeration treatment, impingement, heat transfer coefficient, process kinetics