

## **ZALEŻNOŚĆ WYBRANYCH CECH MECHANICZNYCH MARCHWI (*Daucus carota* L.) I PIETRUSZKI ZWYCZAJNEJ (*Petroselinum sativum* HOFFM.) OD KINETYKI OBRÓBKI CHŁODNICZEJ METODĄ ODWRÓCONEJ FLUIDYZACJI**

Dariusz Góral, Łukasz Stadnik

Akademia Rolnicza w Lublinie

**Streszczenie.** Celem badań było wykazanie czy metoda odwróconej fluidyzacji zastosowana w obróbce chłodniczej wpływa na polepszenie zachowania wybranych cech mechanicznych surowca po obróbce w stosunku do zamrażania owiewowego. Doświadczenie przeprowadzono na pietruszce zwyczajnej (*Petroselinum sativum* Hoffm.) odmiany Bardowicka oraz marchwi (*Daucus carota* L.) odmiany Ambrozja. Badane surowce poddano zamrażaniu dwiema metodami: w zamrażarce (Whirpool, AFG 543-C/H, temperatura -30°C) oraz metodą odwróconej fluidyzacji (impingement, temperatura -15°C). Rozmrażanie surowców przeprowadzono w stałej temperaturze środowiska 15°C, w: środowisku wodnym i w powietrzu w warunkach konwekcji swobodnej oraz metodą impingement. W ramach doświadczenia badano kinetykę przebiegu procesów zamrażania i rozmrażania oraz siły sprężystości i siły cięcia. Najwyższe szybkości obróbki zarówno w czasie zamrażania, jak i rozmrażania uzyskano dzięki zastosowaniu metody impingement. Badania marchwi oraz pietruszki jednoznacznie potwierdzają przewagę metody impingement w obróbce chłodniczej.

**Słowa kluczowe:** warzywa mrożone, impingement, odwrócona fluidyzacja, obróbka chłodnicza

### **WSTĘP**

Współczesne wymagania konsumentów co do jakości mrożonych warzyw skłaniają wytwórców do dostarczania produktu o jak najmniejszym stopniu przetworzenia. Badania prowadzone w tym zakresie mają na celu dopasowanie obróbki chłodniczej do danego surowca. Stąd zróżnicowanie technologii chłodniczych. Wiązą się one często ze znacznym pogorszeniem końcowej jakości produktu, a co za tym idzie brakiem zainte-

---

Adres do korespondencji – Corresponding author: Dariusz Góral, Łukasz Stadnik, Akademia Rolnicza w Lublinie, Katedra Chłodnictwa i Energetyki Przemysłu Spożywczego, ul. Doświadczalna 44, 20-236 Lublin, e-mail: [dariusz.goral@ar.lublin.pl](mailto:dariusz.goral@ar.lublin.pl)

resowania konsumenta kupowaniem tego typu produktów. Aby uzyskać po obróbce surowiec jak najlepszej jakości, należy zadbać o odpowiednie jego przetworzenie. Dość często wraz z dążeniem do zachowania „pierwotnej” jakości rośnie cena produktu. Ponieważ opracowanie optymalnej technologii obróbki chłodniczej danego surowca wiąże się z dużymi nakładami, dąży się do wypracowania metod, które w jak najmniejszym stopniu będą wykazywały działanie destrukcyjne na produkty.

Celem badań było wykazanie, jak wybrane metody obróbki chłodniczej, głównie metodą impingement, wpływają na jakość końcową surowca charakteryzowaną siłą cięcia i siłą sprężystości.

## MATERIAŁ I METODY

Badania nad procesem zamrażania i rozmrażania realizowano wykorzystując produkty roślinne. Próby wykonano z: pietruszki zwyczajnej (*Petroselinum sativum* Hoffm.) odmiany Bardowicka oraz marchwi (*Daucus carota* L.) odmiany Ambrozja. Użyto surowców o wysokiej jakości pozbawionych wszelkich oznak chorobowych i przebarwień o porównywalnej jędrności, świeżości oraz o wyrównanym kształcie, wielkości i intensywności zapachu. Obróbka wstępna badanych surowców obejmowała usunięcie zewnętrznej okrywy, następnie mycie pod bieżącym strumieniem wody oraz odsączenie nadmiaru wody (przy pomocy bibuły). Ze wstępnie przygotowanych surowców wycinano za pomocą noża kostki: pietruszka, kostki o wymiarze ok. 11×11×11 mm i masie pojedynczej kostki ok. 1,1 g, natomiast marchew, kostki o wymiarach 8,4×8,4×8,4 mm, średnia masa kostki ok. 1,4 g. Do badań wytrzymałościowych próbki surowców uformowano w prostopadłościanny o przekroju kwadratowym o boku 8 mm. Tak przygotowane surowce poddano zamrażaniu dwiema metodami: w zamrażarce (Whirpool typ AFG 543-C/H, temperatura -30°C) oraz w urządzeniu laboratoryjnym do zamrażania metodą odwróconej fluidyzacji (impingement, temperatura -15°C, prędkość przepływu powietrza 30 m · s<sup>-1</sup>) [Ovadia i Walker 1998, Soto i Bórquez 2001]. Charakterystyki zmian temperatury w czasie zamrażania i rozmrażania przeprowadzono przy użyciu zestawu pomiarowego (typ TIK) wyposażonego w termopary NiCrNi (dokładność pomiaru ± 0,1 K) współpracującego z komputerem. Termopary umieszczano w centrum termicznym prób. Częstotliwość pomiarów temperatury wynosiła 1 na sekundę. Procesy zamrażania prób przeprowadzono w dwóch powtórzeniach każdą z metod. Zarejestrowane wartości temperatury prób w czasie zamrażania konwertowano do arkusza kalkulacyjnego Excel. W oparciu o otrzymane wyniki wyznaczono krzywe zamrażania oraz początkową i końcową temperaturę krioskopową prób. Rozmrażanie przeprowadzono bezpośrednio po zamrożeniu prób utrzymując średnią wartość temperatury (ok. 17°C) środowiska rozmrażającego. Próby badanych surowców rozmrażano każdorazowo metodą impingement oraz w warunkach konwekcji swobodnej w powietrzu i w łaźni wodnej [Kluza 1999, Kluza i Spiess 1995]. Rozmrażanie prowadzono do chwili osiągnięcia temperatury 10°C w centrum termicznym próbki.

W sposób analogiczny poddano zamrażaniu i rozmrażaniu próby do badań wytrzymałościowych. Próbki marchwi zamrażano: w zamrażarce i metodą odwróconej fluidyzacji (impingement) a rozmrażano w łaźni i w powietrzu w warunkach konwekcji swo-

bodnej. Pietruszka była zamrażana metodą odwróconej fluidyzacji (impingement) oraz w zamrażarce szafkowej a rozmrażana w powietrzu warunkach konwekcji swobodnej. Po takiej obróbce próby poddano ocenie ich właściwości wytrzymałościowych łącznie z próbami materiału świeżego. W przypadku marchwi przeprowadzono pomiary siły cięcia używając maszyny wytrzymałościowej Instron 5566, a badania prób pietruszki przebiegały na aparacie Brookfield LFRA TA 4500. Próby marchwi były przecinane za pomocą noża typu Warner-Bratzler [Wheeler 1997], natomiast pietruszki nożem uniwersalnym „share blade”. Parametry testu cięcia były następujące: prędkość  $0,5 \text{ mm} \cdot \text{s}^{-1}$ , a dystans 9 mm. Dla prób pietruszki dokonano pomiaru maksymalnej siły cięcia natomiast w przypadku marchwi badano siłę sprężystości. Cięcie próbek prowadzono prostopadle do osi surowca aż do chwili pełnego jego przecięcia. Wartość siły sprężystości odczytywana była z wykresu jako maksymalna wartość siły pierwszego piku.

## WYNIKI BADAŃ I ICH ANALIZA

Badając uzyskane krzywe zamrażania można jednoznacznie stwierdzić, że wartość temperatury krioskopowej jest ściśle zależna od środowiska zamrażania i struktury surowca (tabela 1).

Tabela 1. Wartość temperatury krioskopowej  
Table 1. The value of cryoscopic temperatures

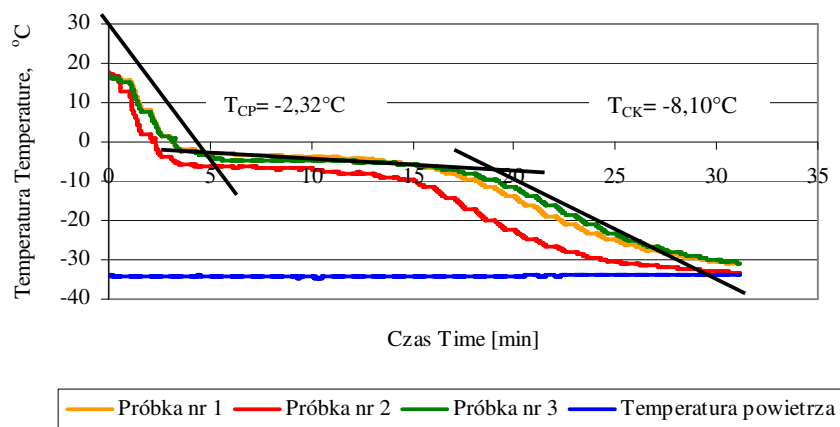
Surowiec Product	Metoda / środowisko zamrażania – Method / freezing environment			
	zamrażarka – freezing cabinet -30°C		impingement -15°C	
	początkowa – initial $T_{CP}, ^\circ\text{C}$	końcowa – final $T_{CK}, ^\circ\text{C}$	początkowa – initial $T_{CP}, ^\circ\text{C}$	końcowa – final $T_{CK}, ^\circ\text{C}$
Marchew Carrot	-3,8	-8,1	-2,3	-6,2
Pietruszka Parsley	-4,2	-9,1	-3,5	-6,1

W przypadku marchwi początkowa wartość temperatury krioskopowej zależy głównie od temperatury otoczenia. Im niższa wartość temperatury środowiska, tym niższa jest wartość temperatury krioskopowej. Podobnie jest z końcową temperaturą krioskopową, której wartości maleją wraz ze zmniejszającą się temperaturą środowiska. Podobne rezultaty osiągnięto w przypadku pietruszki.

Przykładowe krzywe zamrażania przedstawiono na rysunku 1.

W oparciu o wyniki z pomiarów wyliczono średnie wartości szybkości zamrażania marchwi i pietruszki dla badanych metod zamrażania (tabela 2).

W obydwu przypadkach zamrażania warzyw proces przebiegał najkrócej w metodzie impingement a najdłużej przy zamrażaniu owiewowym. Zamrażanie marchwi metodą odwróconej fluidyzacji przebiegało z prędkością ponad cztery razy większą niż w zamrażarce. Natomiast w przypadku pietruszki zamrażanie metodą odwróconej fluidyzacji pozwala skrócić czas o ponad 75% w stosunku do metody owiewowej.



Rys. 1. Krzywe zamrażania marchwi w metodzie owiewowej  
 Fig. 1. Freezing curves of carrot in natural air convection method

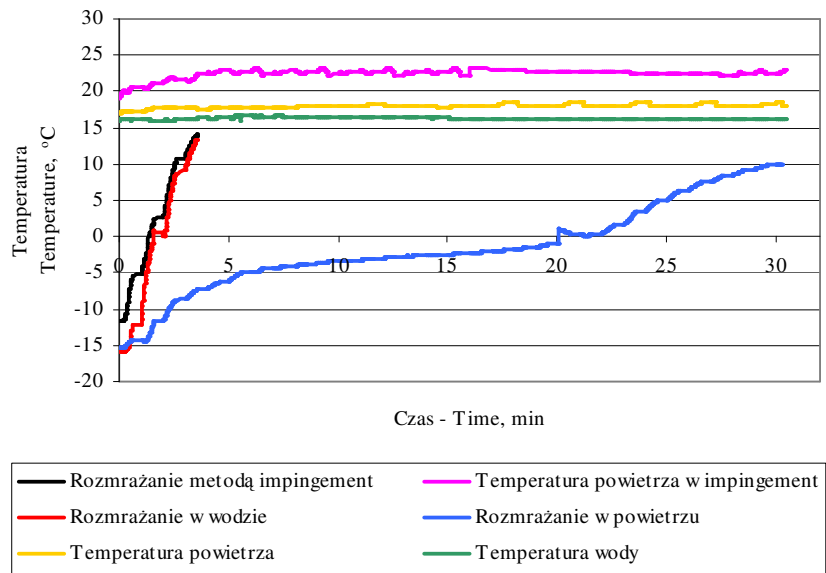
Tabela 2. Parametry zamrażania w badanych metodach  
 Table 2. Freezing parameters in researched methods

Surowiec Product	Metoda / środowisko zamrażania – Method / freezing environment					
	zamrażarka			impingement		
	grubość próby probe thickness mm	czas time min	szybkość rate $\text{mm} \cdot \text{min}^{-1}$	grubość próby probe thickness mm	czas time min	szybkość rate $\text{mm} \cdot \text{min}^{-1}$
Marchew Carrot	8,42	28,28	0,30	8,78	7,06	1,24
Pietruszka Parsley	10,85	32,62	0,33	8,32	7,88	1,06

Analizując krzywe rozmrażania (przykład na rysunku 2) stwierdzono, że proces najszybciej przebiegał w metodzie impingement. Zbliżony czas uzyskano wykorzystując środowisko wodne. Natomiast najwolniej proces przebiegał w powietrzu w warunkach konwekcji swobodnej (tabela 3).

W oparciu o otrzymane wyniki stwierdzono, że rozmrażanie w obu przypadkach zamrożenia przebiegało najszybciej przy zastosowaniu metody impingement. Jedynie w przypadku pietruszki zamrożonej metodą impingement najkrótszy czas otrzymano podczas rozmrażania w wodzie. Zastosowanie do rozmrażania łaźni wodnej pozwala uzyskać szybkość zbliżoną do rozmrażania metodą odwróconej fluidyzacji. Rozmrażanie w wodzie może być przyczyną wzrostu masy surowca a co za tym idzie utraty cennych związków aromatycznych. Wysokie szybkości rozmrażania, uzyskane dzięki zastosowaniu metody impingement, mogą mieć wpływ na jakość końcową produktu, wskutek skrócenia czasu przebywania surowca w środowisku, zmniejsza się ryzyko skażenia go drobnoustrojami [Osińska 1993, Surówka 1995]. Stosowanie metody im-

pingement do rozmrażania zwiększa szanse na uzyskanie produktu końcowego o cechach zbliżonych do cech jakie posiada w stanie świeżym, a tym samym jego struktura jest w mniejszym stopniu przetworzona niż po zastosowaniu pozostałych metod obróbki. Szczególnie dobrze widać to podczas przeprowadzonych prób cięcia surowca.



Rys. 2. Krzywe rozmrażania pietruszki w badanych środowiskach zamrożonej metodą impingement

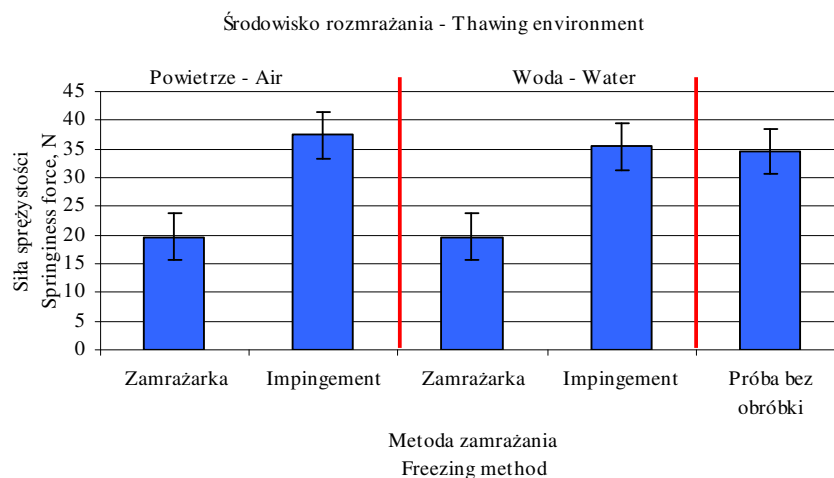
Fig. 2. Thawing curves of parsley after freezed of impingement method

Tabela 3. Szybkość rozmrażania w badanych środowiskach

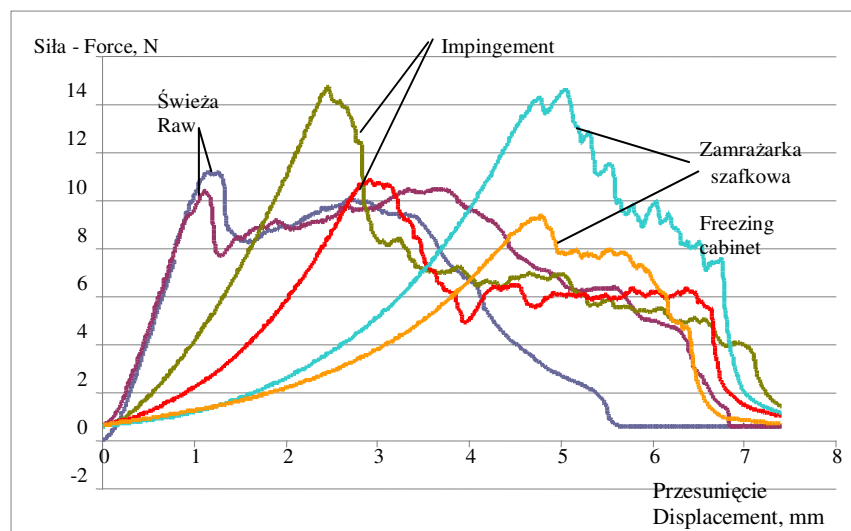
Table 3. Thawing rate in researched environments

Surowiec Product		Metoda / środowisko zamrażania – Metod / freezing environment					
		zamrażarka – freezing cabinet			impingement		
		impingement	woda water	powietrze air	impingement	woda water	powietrze air
Środowisko rozmrażania / szybkość rozmrażania Thawing environment / rate of thawing mm · min <sup>-1</sup>	marchew carrot	1,34	1,21	0,43	2,41	1,54	0,29
	pietruszka parsley	1,41	2,86	0,32	2,41	1,53	0,29
Czas rozmrażania Freezing time min	marchew carrot	3,57	4,59	20,59	3,59	6,05	26,42
	pietruszka parsley	7,07	3,75	30,32	2,59	3,23	30,26

Wartości siły sprężystości marchwi po obróbce badanymi metodami są znacznie różnicowane. Jednak mniejsze różnice są widoczne dla tej samej metody zamrażania niezależnie od środowiska rozmrażania (rys. 3).



Rys. 3. Zależność siły sprężystości od sposobu zamrażania i rozmrażania marchwi  
Fig 3. Dependence of power springiness of carrot according to freezing and thawing methods



Rys. 4. Charakterystyki cięcia pietruszki  
Fig. 4. Cutting test of parsley

Analizując uzyskane wyniki stwierdzono, że wartość maksymalnej siły sprężystości produktu zależy głównie od metody jego zamrażania. Najwyższe wartości tej siły, powyżej 30 N, zaobserwowano dla surowca poddanego zamrażaniu metodą impingement oraz dla niepoddanego obróbce. Mniejszy wpływ na tę wielkość ma środowisko rozmrażania. Wartości siły sprężystości marchwi w zależności od użytego środowiska kształtują się podobnie i wynoszą dla produktu zamrażanego metodą impingement około 36 N, a w zamrażarce 20 N. Niskie wartości tego parametru w przypadku zamrażania metodą owiewową świadczą o mniejszej sprężystości badanego surowca. Wpływ na to mogła mieć szybkość zamrażania i w konsekwencji jej destrukcyjne działanie na strukturę komórkową produktu.

Maksymalna wartość siły cięcia pietruszki świeżej wyniosła średnio 10,05 N, dla prób rozmrożonych po zamrożeniu metodą odwróconej fluidyzacji 12,02 N, a dla prób zamrożonych owiewowo 11,14 N (rys. 4).

Maksymalne siły cięcia są zróżnicowane i nie zależą od metody zamrożenia. Wynikać to może z obecności włókien w próbce. Sprężystość prób pietruszki po obróbce metodą impingement była zbliżona do sprężystości jaką ma w stanie świeżym, natomiast znacząco odbiegała w przypadku prób zamrożonych w zamrażarce. W oparciu o te wyniki można przypuszczać, że szybkość zamrażania produktu ma istotny wpływ na późniejsze jego cechy mechaniczne.

## PODSUMOWANIE I WNIOSKI

Przeprowadzone badania zamrażania marchwi i pietruszki potwierdziły podstawową zasadę, że wyższe szybkości procesu można uzyskać stosując niższe wartości temperatury zamrażania z jednoczesnym wzrostem współczynnika wnikania ciepła (impingement) niż obniżając jedynie temperaturę powietrza chłodzącego (zamrażarka).

Zastosowanie rozmrażania opartego na zjawisku odwróconej fluidyzacji spowodowało uzyskanie szybkości procesu porównywalnych z rozmrażaniem w wodzie. Rozmrażanie z wykorzystaniem procesu impingement spowodowało, że próby, które były zamrożone w zamrażarce szybciej się rozmroziły niż zamrożone metodą impingement. Przyczyną powstałego zjawiska mógł być stan strukturalny prób ukształtowany podczas zamrażania.

Wartości siły sprężystości marchwi świeżej i po obróbce chłodniczej metodą impingement są do siebie zbliżone. W pozostałych przypadkach charakterystyki te kształtują się poniżej wartości 20N. Wybór metody zamrażania ma istotny wpływ na sprężystość marchwi po obróbce chłodniczej.

Zamrażanie pietruszki metodą odwróconej fluidyzacji sprawiło, że siła jej cięcia była zbliżona do tej jaka cechuje próby w stanie świeżym. Lepszą sprężystością po rozmrożeniu charakteryzowały się próby zamrożone metodą impingement niż próby zamrożone w zamrażarce.

**PIŚMIENNICTWO**

- 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, 28–29 October 1999, Spain, 406–408.
- Kluza F., Spiess W.E.L., 1995. Investigation on heat transfer coefficient during heat processing of food involving impingement method, 9<sup>th</sup> World Congress of Food Science and Technology, Symposium subject 35, Reg. 451/181, Abstracts of Lectures and Posters, vol. II, p. 47.
- Osińska E., Zalewski S., 1993. Wpływ sposobu rozmrażania na jakość, wydajność i wartość odżywczą potraw z drobiu i ryb przyrządzanych z surowca mrożonego. Podstawy technologii gastronomicznej, red. Zalewski S., WN-T, Warszawa, 110–118.
- Ovadia D.Z., Walker (Chuck) C.E., 1998. Impingement in Food Processing, Food Technol. 52, 4, 46–50.
- Soto V., Bórquez R., 2001. Impingement jet freezing of biomaterials, Food Control 12, p. 515.
- Surówka K., 1995. Mikrofalowe rozmrażanie mięsa na tle metod konwencjonalnych, Chłodnictwo 11, 25–28.
- Wheeler T.L., Shackelford S.D., Koohmaraie M., 1997. Standardizing collection and interpretation of Warner-Bratzler shear force and sensory tenderness data. Proc. Recip. Meat Conf. 50, 60–77.

**DEPENDENCE OF CHOSEN MECHANICAL PROPERTIES OF CARROT (*Daucus carota* L.) AND PARSLEY (*Petroselinum sativum* HOFFM.) FROM REFRIGERATION PROCESS KINETIC IN JET TUBE FLUIDIZATION METHOD**

**Abstract.** The aim of research was demonstration if the jet tube fluidization method which was using in refrigeration processing influences on improvement preservation of the chosen mechanical properties of product after processing in relation to the natural air convection freezing. Experiments were carried on the Bardowicka parsley (*Petroselinum sativum* Hoffm.) and the Ambrozja carrot (*Daucus carota* L.). Raw materials were frozen in two methods: freezer (Whirpool, AFG 543-C/H, temperature -30°C) and jet tube fluidization method (impingement, temperature -15°C). Thawing of products was carried in constant temperature of environment, in: water environment, natural air convection and the impingement method. It was researched of freezing and thawing process kinetics. The highest speed of freezing and thawing processes was obtained in the impingement method. Researches of springiness power and cuts power of carrots and parsleys were confirmed that the impingement method was better in refrigeration processing than another researched methods and her small destructive operation on structure of raw material.

**Key words:** frozen vegetables, impingement, jet tube fluidization, refrigeration process

Praca naukowa finansowana ze środków Komitetu Badań Naukowych w latach 2004–2007 jako projekt badawczy nr 2P06T04726

Zaakceptowano do druku – Accepted for print: 24.04.2007