

WYBRANE WŁAŚCIWOŚCI WARZYW PO OBRÓBCE CHŁODNICZEJ ZRÓŻNICOWANYMI METODAMI

Dariusz Góral, Franciszek Kluza, Katarzyna Kozłowicz
Uniwersytet Przyrodniczy w Lublinie

Streszczenie. W pracy badano właściwości fizyczne wybranych warzyw zarówno w czasie obróbki, jak i po obróbce chłodniczej metodami konwencjonalnymi i metodą odwróconej fluidyzacji. Warzywa poddano zamrażaniu metodą odwróconej fluidyzacji i w zamrażarce skrzyniowej. Rozmrażanie prowadzono w łaźni wodnej w warunkach konwekcji swobodnej i wymuszonej oraz w powietrzu w warunkach konwekcji swobodnej i metodą odwróconej fluidyzacji. Stwierdzono, że zamrażanie przebiegało najszybciej w procesie odwróconej fluidyzacji pomimo najwyższej temperatury środowiska. Wykazano, że zamrażanie tą metodą prowadzi do zwiększonego ubytku masy warzyw. Czas rozmrażania i właściwości środowiska, w którym prowadzone są procesy zamrażania i rozmrażania wpływają na ubytek masy surowca oraz istotnie na właściwości mechaniczne oceniane poprzez wyniki testu cięcia.

Słowa kluczowe: warzywa, właściwości fizyczne, metody obróbki chłodniczej

WSTĘP

Dążenie konsumentów do wykorzystania żywności o jak najlepszej jakości powoduje konieczność optymalizacji metod i czasu procesów obróbki. Jest to szczególnie istotne w przypadku zamrażania. Szybkie zamrażanie w niższych temperaturach jest kosztowniejsze niż mrożenie powolne, wymaga najczęściej specjalnych urządzeń, ale gwarantuje otrzymywanie produktów o lepszej jakości i czystości mikrobiologicznej. Produkty szybko zamrożone w znacznym stopniu zachowują właściwości produktu świeżego, a ich rozmrażanie wiąże się z relatywnie niskimi ubytkami masy [Fellows 2000, Salvadori i Mascheroni 2002, Xu i in. 2014].

Zamrażanie powolne prowadzi do tworzenia się w tkankach dużych kryształów lodu typu dendrycznego uszkadzających ściany i organelle komórkowe. Wskutek tego po rozmrożeniu pojawia się znaczny wyciek i następuje wzmożona aktywność enzymatyczna. Odpowiednia szybkość zamrażania decyduje więc o ograniczeniu strat surowca

i o jego jakości po rozmrożeniu. Podobnie jest w przypadku rozmrażania. Dobór odpowiedniej metody i warunków prowadzenia tego procesu wpływa istotnie na końcową jakość obrabianego produktu. Szczególnie ważne ze względu na skażenie mikrobiologiczne i utrzymanie łatwo degradowalnych substancji smakowych i leczniczych jest zachowanie odpowiednio niskiej temperatury i krótkiego czasu rozmrażania [Góral i Kluza 2009, Meziani i in. 2012].

Sam kompleks procesowy zamrażanie i rozmrażanie ma niewielki wpływ na chemiczny skład warzyw [Kennedy 2000]. Stąd metody oceny jakości oparte na analizie składu chemicznego są tylko częściowo przydatne do analizy jakości produktu po takiej obróbce. Inne wyróżniki poza właściwościami fizycznymi, na podstawie których można oceniać jakość produktu poddanego obróbce zamrażalniczej to: barwa, tekstura, obrazy mikroskopowe tkanek oraz ocena organoleptyczna [Sun i Li 2003].

Celem pracy była próba stwierdzenia, jak obróbka obejmująca zamrażanie i rozmrażanie porównawczo metodami odwróconej fluidyzacji i konwencjonalnymi może kształtować jakość warzyw ocenianą wybranymi wyróżnikami.

MATERIAŁY I METODY

Do realizacji celu pracy wykorzystano: czosnek (w postaci pojedynczych ząbków bez łusek o zbliżonej wielkości i średniej grubości 15,4 mm), frytki ziemniaczane (o przekroju 8×8 mm i różnej długości), kostkę marchwi (o boku 8 mm), rzodkiewki (o średnicy 1 cm pozbawione naci i korzonków), korzeń chrzanu i pietruszki (w postaci kostki o boku 1 cm) oraz łodygi selera naciowego (w odcinkach o długości 1 cm). Warzywa, z których wykonano próby, nie miały widocznych śladów uszkodzeń i porażenia chorobami. Masa próby materiału poddawanego jednorazowo obróbce wynosiła 0,5 kg.

Zamrażanie prowadzono metodami:

– odwróconej fluidyzacji, w powietrzu o temperaturze -10°C i prędkości jego wypływu z dysz wynoszącej 20 m s^{-1} [Góral i Kluza 2003];

– w zamrażarce skrzyniowej, w powietrzu o temperaturze -32°C w warunkach konwekcji swobodnej; próby umieszczano w centrum komory zamrażarki na półce z siatki drucianej.

Rozmrażanie realizowano porównawczo w łaźni wodnej w warunkach konwekcji swobodnej oraz wymuszonej, w powietrzu w warunkach konwekcji swobodnej, a także metodą odwróconej fluidyzacji. Rozmrażanie metodą odwróconej fluidyzacji realizowano na stanowisku laboratoryjnym wykorzystywanym do zamrażania.

Surowiec przed rozmrażaniem był zamrażany jedynie w zamrażarce skrzyniowej ze względu na konieczność porównania wpływu tylko metody rozmrażania na zmianę właściwości fizycznych produktu. Temperaturę środowiska w czasie rozmrażania utrzymywano na stałym poziomie 15°C , a proces prowadzono do uzyskania przez centrum termiczne próby temperatury 10°C . W czasie rozmrażania dokonywano ciągłego pomiaru temperatury centrum termicznego próby produktu za pomocą wielokanałowego miernika temperatury wyposażonego w termopary typu T. Częstotliwość próbkowania wynosiła 1 pomiar co 3 sek. Na podstawie zarejestrowanych wartości temperatury produktu wyznaczano krzywe przebiegu procesu i średnie wartości szybkości zamrażania i rozmrażania.

Zmianę masy produktu spowodowaną ususzką w czasie zamrażania i wyciekami rozmrażalniczym obliczano jako względną różnicę masy próby przed i po obróbce i wyrażano w procentach [Osińska i Zalewski 1993].

Właściwości fizyczne surowca w porównaniu z jego obróbką oceniano poprzez wartościowanie maksymalnej siły cięcia w testach przeprowadzanych na maszynie wytrzymałościowej Zwick Z020. Test cięcia realizowano, wykorzystując nóż typu Warner-Bratzler [Wheeler i inni 1997, Góral i Kluza 2009], aż do całkowitego przecięcia badanego materiału. Materiał był przecinany w kierunku prostopadłym do osi próby, a za maksymalną wartość siły cięcia przyjmowano najwyższą wartość siły odczytywaną z wykresu krzywej cięcia.

Tabela 1. Skala ocen w teście organoleptycznym
Table 1. The assessment scale in organoleptic test

Cecha Property	Ocena Preference	Liczba punktów Point scale
Barwa Colour	produkt nie zmienił swej barwy po procesie product did not change its colour after treatment	1
	barwa produktu zmieniła się nieznacznie, pojawiły się bardzo jasne brązowe plamy na całej powierzchni product colour changed slightly and took on very light brown stains all over the surface	2
	kolor produktu zmienił się na jasno brązowy product colour changed for light brown	3
	produkt pociemniał i zmienił zabarwienie na brązowe product got dark and took on a brown colour	4
Tekstura Texture	produkt nie zmienił swej tekstury w wyniku obróbki product did not change its texture after treatment	1
	powierzchnia produktu zmieniła się nieznacznie, wystąpiły delikatne pomarszczenia i fałdy na części powierzchni product surface changed slightly with delicate creases and folds on some part of surface	2
	wierzchnia warstwa produktu zmarszczyła się na całej swej powierzchni product top layer got creased all over the surface	3
	powierzchnia produktu w bardzo dużym stopniu pofałdowała się product surface was folded to a very great measure	4
Smak Taste	smak nie zmienił się istotnie w stosunku do produktu świeżego taste did not change significantly compared to a fresh product	1
	smak produktu zmienił się delikatnie tracąc na słodkości bez wyczuwalnego posmaku gorzkiego product taste changed delicately, lost its sweetness but bitterness not detectable	2
	zauważono wyczuwalny posmak gorzki bitter after-taste noticeable	3
	smak produktu charakteryzował się znaczną gorzkością i utratą słodkiego posmaku, dyskwalifikującą produkt product taste characterized by substantial bitterness with sweet after-taste loss that disqualifies such a product	4

Ogólną ocenę końcowej jakości badanych produktów wykonano za pomocą testu organoleptycznego, oceniając w 4-punktowej skali preferencji barwę, teksturę i smak (tab. 1) [Siwek i in. 2002, Góral i Kluza 2006].

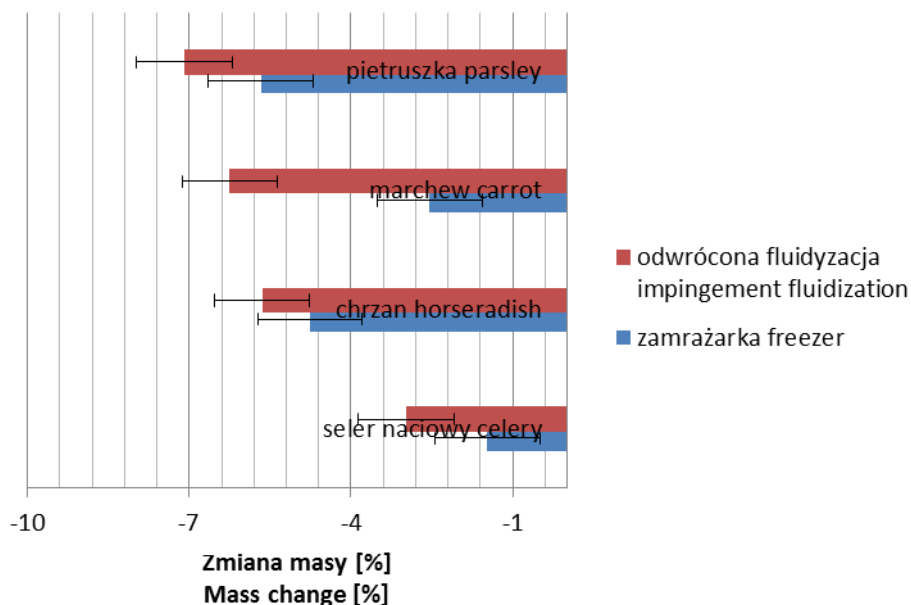
Ocenie smaku poddano tylko próby rzodkiewki i marchwi.

Wyniki uzyskane w poszczególnych analizach zostały poddane analizie statystycznej, która polegała na ocenie istotności różnic.

Oceniając błędy możliwe do popełnienia podczas pomiarów, stwierdzono, że wynikały one z dokładności używanych przyrządów oraz błędu wynikającego z pozycjonowania termopary w centrum termicznym produktu. Przykładowo, dokładność wagi używanej podczas analizy zmiany masy wynosiła ± 1 g, a podczas pomiaru temperatury dokładność przyrządu wynosiła $\pm 0,5^\circ\text{C}$. Błąd popełniany ze względu na niedokładność pozycjonowania termopary jest trudny do oszacowania. Przesunięcie termopary o 1 mm w produkcie o grubości 10 mm skutkuje powstawaniem 10% błędu podczas wyznaczenia szybkości zamrażania/rozmarzania.

WYNIKI I DISKUSJA

Pomimo trzykrotnie niższej temperatury panującej w zamrażarce skrzyniowej, zamrażanie przebiegało wolniej niż w przypadku użycia metody odwróconej fluidyzacji. Uzyskana w badaniach maksymalna szybkość zamrażania frytki wynosiła $8,88 \text{ cm min}^{-1}$ natomiast kostki marchwi $14,8 \text{ cm} \cdot \text{min}^{-1}$ (tab. 2).



Rys. 1. Zmiana masy warzyw w wyniku ich zamrażania badanymi metodami
Fig. 1. Mass change of vegetables as a result of the freezing by studied methods

Tabela 2. Szybkość zamrażania i rozmrażania prób w warunkach badań
Table 2. Freezing and thawing rate in research conditions

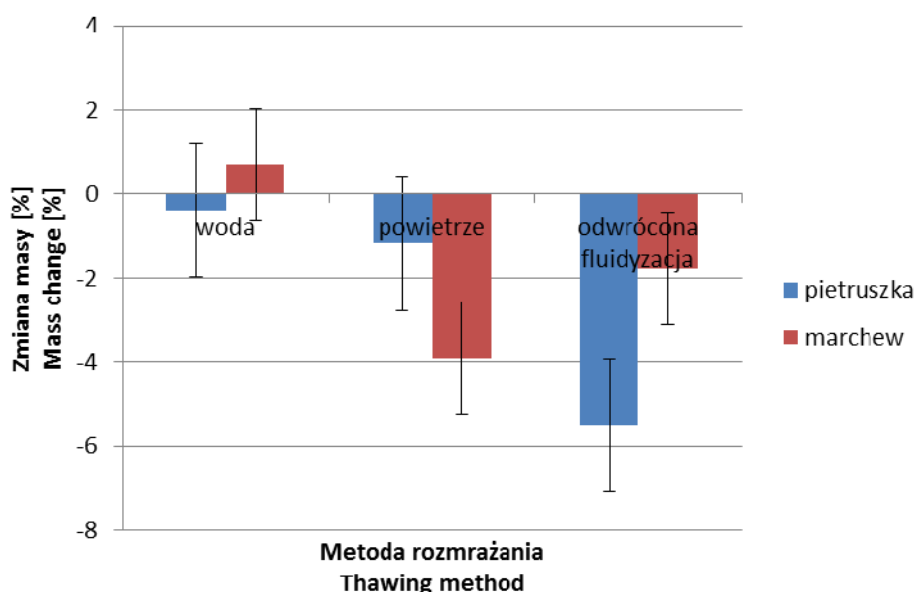
	Środowisko Environment	Metoda Method	Produkt Product	Szybkość procesu Process rate cm min ⁻¹
Zamrażanie Freezing	powietrze air	odwrócona fluidyzacja impingement fluidization	marchew – carrot	14,8
			ziemniak – potato	8,88
		zamrażarka freezer	marchew – carrot	2,05
			ziemniak – potato	1,25
Rozmrażanie Thawing	woda water	obieg wymuszony forced convection	czosnek – garlic	3,00
			marchew – carrot	4,66
		konwekcja swobodna free convection	ziemniak – potato	2,09
			rzodkiewka – radish	2,62
	powietrze air	odwrócona fluidyzacja impingement fluidization	czosnek – garlic	0,57
			marchew – carrot	2,93
		konwekcja swobodna free convection	ziemniak – potato	2,42
			rzodkiewka – radish	3,67
			czosnek – garlic	0,45
			marchew – carrot	0,46
	ziemniak – potato	0,40		
	rzodkiewka – radish	0,42		
	czosnek – garlic	0,04		

W wyniku badań stwierdzono, że zamrażanie w powietrzu w warunkach konwekcji swobodnej prowadzi do strat średnio -3,61% masy wyjściowej surowca, natomiast przy użyciu techniki odwróconej fluidyzacji straty wzrastają do -5,49% (rys. 1). Spowodowane to było prawdopodobnie zwiększoną intensywnością opływu powietrza wokół mrożonego surowca i w związku z tym wysychaniem jego powierzchni oraz poprzez mechaniczne uszkodzenia surowca. Nie potwierdziły się natomiast przypuszczenia, że szybko powstająca warstewka lodu na produkcie zmniejszy ubytek masy.

Krótki czas rozmrażania ma istotne znaczenie dla zachowania wielu właściwości smakowych, a także może korzystnie wpływać na jakość produktu ze względu na ograniczenie możliwości rozwoju mikroflory na powierzchni produktu. W związku z tym najbardziej pożądaną metodą prowadzenia procesu jest ta, która zapewnia uzyskanie najkrótszego czasu obróbki.

Analizując kinetykę rozmrażania stwierdzono, że wykorzystanie metody odwróconej fluidyzacji prowadzi do znacznego skrócenia czasu procesu i osiągnięcia szybkości rozmrażania zbliżonej do szybkości uzyskiwanej w łaźni wodnej bez wymuszonego obiegu wody. Proces trwał najdłużej w powietrzu w warunkach konwekcji swobodnej, natomiast najkrócej w łaźni wodnej z wymuszonym obiegiem wody (tab. 2).

Opieranie się tylko na analizie szybkości procesu może prowadzić do błędnego wyboru metody obróbki. Najszybsza metoda może powodować nieodwracalne zmiany właściwości fizycznych i w związku z tym znaczne pogorszenie jakości surowca. Duże straty masy surowca podczas rozmrażania w powietrzu spowodowane są długim czasem prowadzenia procesu i w związku z tym powstawaniem uszki materiału. Rozmrażanie w wodzie w warunkach konwekcji swobodnej może powodować zwiększanie masy surowca. Związane jest to z nasiąkaniem surowca wodą (rys. 2).



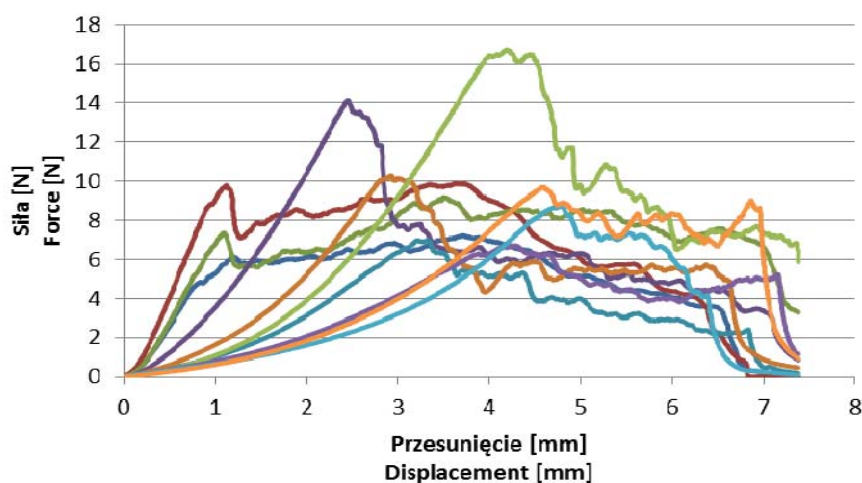
Rys. 2. Zmiana masy prób marchwi i pietruszki wskutek rozmrożenia różnymi metodami
Fig. 2. The mass change of carrot and parsley caused by thawing methods

Jedną z podstawowych metod oceny i porównania jakości surowców po obróbce jest wykorzystanie wyników testu cięcia. W rezultacie badań siły cięcia czosnku rozmrożonego różnymi metodami i czosnku niezamrożonego stwierdzono, że wartości maksymalnej siły cięcia czosnku surowego i po rozmrażaniu techniką odwróconej fluidyzacji są zbliżone do siebie i wynoszą odpowiednio 17,37 N i 17,39 N (średnia 22,96 N, błąd standardowy 2,65 N, odchylenie standardowe 5,93 N). W pozostałych przypadkach rozmrażania wartości tej cechy kształtują się powyżej 20,0 N i są istotnie zróżnicowane (tab. 3). Przecinanie prób rozmrożonego surowca wymagało użycia większej siły. Związane to było prawdopodobnie z utratą turgoru w komórkach i wpływało na wzrost gumowatości rozmrożonego surowca. Stwierdzono, że zmiana maksymalnej siły cięcia materiału zależy nie tylko od zakresu uszkodzeń mikrostruktury powstałych w wyniku zamrażania ale również w nie mniej istotny sposób od utraty masy przez materiał.

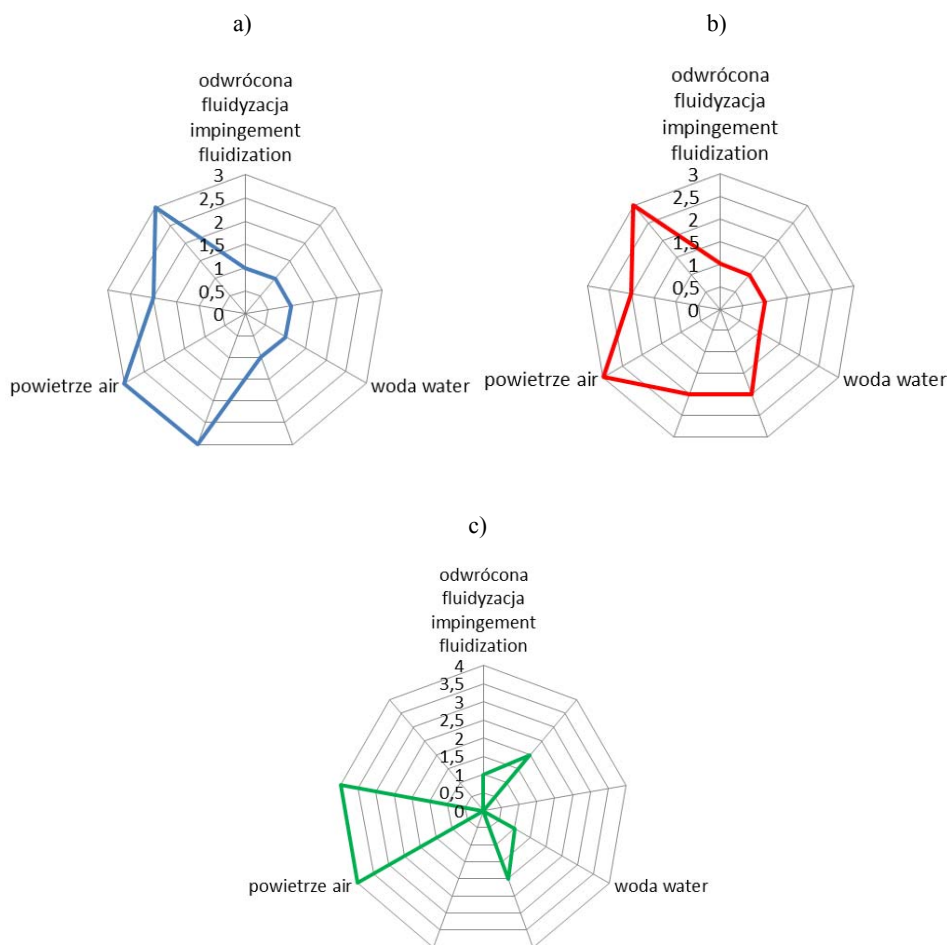
Tabela 3. Wartości maksymalnej siły cięcia czosnku przy użyciu noża typu Warner-Bratzler
Table 3. Maximum cutting force values of garlic with Warner-Bratzler knife

Środowisko Environment	Metoda Method	Maksymalna siła cięcia [N] Max. cutting force [N]
Woda Water	obieg wymuszony forced convection	23,00
	konwekcja swobodna natural convection	24,30
Powietrze Air	odwrócona fluidyzacja impingement fluidization	17,39
	konwekcja swobodna natural convection	31,80
Produkt niezamrażany Raw material		17,37

Niskie wartości siły cięcia świadczą o większej twardości badanego materiału, a jest to jedna z najczęściej ocenianych cech jakościowych. W przypadku rozmrażania w powietrzu twardość czosnku jest niska ze względu na ubytek masy. Natomiast przy prowadzeniu procesu w środowisku wodnym wzrost wartości siły cięcia jest spowodowany prawdopodobnie nasiąknięciem czosnku wodą. Jeśli porównać wykresy cięcia warzyw świeżych z wykresami cięcia prób warzyw poddanych zamrażaniu obiema metodami nie stwierdza się szczególnych różnic w przebiegu odpowiednich krzywych. Krzywe układają się każdorazowo zarówno powyżej jak i poniżej krzywej uzyskanej dla warzywa świeżego (rys. 3). Największe zmiany najwyraźniej spowodowane sposobem obróbki chłodniczej mają miejsce na etapie przechodzenia noża przez powierzchnię warzywa.

Rys. 3. Zależność siły cięcia prób pietruszki od przesunięcia noża
Fig. 3. The dependence of parsley cutting force on the displacement of the knife

Na podstawie ogólnej oceny organoleptycznej badanych warzyw po ich rozmrożeniu stwierdzono, że najlepszym smakiem charakteryzowały się warzywa rozmrażane metodą odwróconej fluidyzacji oraz w powietrzu w warunkach konwekcji swobodnej (rys. 4).



Rys. 4. Wyniki punktowej oceny jakości badanych produktów po rozmrożeniu: a – rzodkiewka, b – marchew, c – ziemniak (frytka)

Fig. 4. Assessment of the products quality investigated after thawing: a – radish, b – carrot, c – potato (French fry)

Im krótszy był czas rozmrażania prób, tym bardziej barwa była zbliżona do barwy surowca świeżego. Najlepszą konsystencję i zapach wykazywały rzodkiewka i czosnek rozmrażane metodą odwróconej fluidyzacji.

WNIOSKI

1. Wykorzystanie metody odwróconej fluidyzacji do zamrażania warzyw prowadzi do krótkich czasów i znacznych szybkości procesu powodując równocześnie zwiększenie ubytku masy warzyw.

2. Czas rozmrażania i właściwości środowiska, w którym prowadzony jest proces wpływają na zmiany masy surowca. Rozmrażanie w wodzie powoduje przyrost masy materiału co może się przyczynić do pogorszenia jego jakości.

3. Wartości siły cięcia czosnku surowego i czosnku po rozmrażaniu techniką odwróconej fluidyzacji są zbliżone do siebie. W przypadku rozmrażania pozostałych warzyw wartości te są znacznie wyższe i kształtują się powyżej 20 N. Rodzaj środowiska, w którym prowadzono rozmrażanie wpływał na teksturę czosnku.

4. Ocena organoleptyczna badanych warzyw potwierdziła wyniki badań instrumentalnych. Krótki czas zamrażania i rozmrażanie w powietrzu gwarantują najmniejsze straty jakości warzyw.

PIŚMIENNICTWO

- 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., 2006. Kompleksowa obróbka zamrażalnicza czosnku przy użyciu metody impingement. *Inżynieria Rolnicza*, 10, 347–355.
- Góral, D., Kluza, F., 2009. Cutting test application to general assessment of vegetable texture changes caused by freezing. *J. Food Eng.* 95, 346–351.
- Kennedy, C.J., 2000. *Managing of Frozen Foods*. Woodhead Publishing.
- Meziani S., Ioannou I., Jasniewski J., Belhaj N., Muller J.-M., Ghoul M., Desobry S., 2012. Effects of freezing treatments on the fermentative activity and gluten network integrity of sweet dough, *LWT - Food Science and Technology*, 46 (1), 118–126
- Osińska E., Zalewski S., 2003. Wpływ sposobu rozmrażania na jakość, wydajność i wartość odżywczą potraw z drobiu i ryb przyrządzanych z surowca mrożonego. *Podstawy technologii gastronomicznej*. red. S. Zalewski, WN-T, Warszawa, 110–118.
- Salvadori V.O., Mascheroni R.H., 2002. Analysis of impingement freezers performance. *J. Food Eng.*, 54, 133–140.
- Siwek B., Markowska A., Galecka-Wiercioch E., 2002. Ocena organoleptyczna w badaniach przechowalniczych. *Przemysł Spożywczy*. 56(4), 33–34
- Sun D.-W., Li B., 2003. Microstructural change of potato tissues frozen by ultrasound-assisted immersion freezing. *J. Food Eng.*, 57, 337–345
- 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, 68–77.
- Xu Z., Guo Y., Ding S., An K., Wang Z., 2014. Freezing by immersion in liquid CO₂ at variable pressure: Response surface analysis of the application to carrot slices freezing, *Innov. Food Sci. Emerg.*, 22, 167–174

CHOSEN PROPERTIES OF VEGETABLES AFTER REFRIGERATION TREATMENT BY DIFFERENT METHODS

Abstract. Physical properties of chosen vegetables during and after refrigeration treatment by conventional methods and by impingement fluidization were investigated. Vegetables were frozen in the impingement fluidization apparatus and chest freezer and after that were thawed in a water bath under free and forced convection as well as in air under free convection and by impingement fluidization. It was found that freezing proceeded most quickly in impingement fluidization, despite the highest ambient temperature. Freezing of vegetables by this method caused greater weight loss. The thawing time and the environment characteristics in which the process is carried out affect the mass loss of raw materials and significantly affect the test cut results.

Key words: vegetables, physical properties, methods of refrigeration treatment