

KINETYKA ZMIAN MASY I TEMPERATURY W PROCESIE ROZMRAŻANIA SUBLIMACYJNO – PAROWO - PRÓŻNIOWEGO MIĘSA

Streszczenie

W artykule omówiono zasadę opracowanego przez autorów rozmrażania sublimacyjno -parowo - próżniowego. Przedstawiono stanowisko badawcze oraz przebiegi czasowe zmiany: masy i temperatury rozmrażanej próbki mięsa oraz ciśnienia w komorze próżniowej.

Słowa kluczowe: próżnia, rozmrażanie sublimacyjno-parowo-próżniowe, sublimacja, mięso zamrożone

Wprowadzenie

Nie da się uniknąć procesu zamrażania surowca mięsnego ze względu na sezonową podaż żywca, jak również na import i eksport mięsa w stanie zamrożonym. Możliwość zamrażania umożliwia dysponowanie pewną rezerwą różnych asortymentów surowca mięsnego gwarantując dużą elastyczność produkcji oraz przechowanie półsurowców, których w danej chwili z różnych przyczyn przerobić nie można. Zamrożone mięso aby dalej przerabiać trzeba rozmrozić. W związku z tym poszukuje się metod rozmrażania surowca mięsnego, gwarantujących zachowanie jego wysokich własności organoleptycznych i mikrobiologicznych.

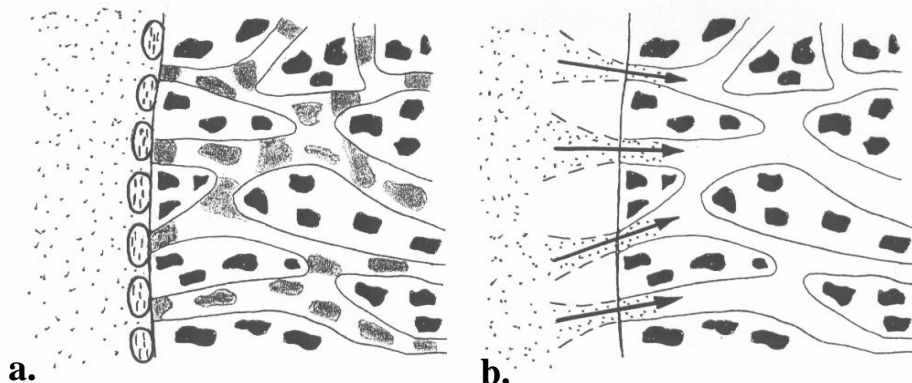
Autorzy opracowali oryginalną metodę rozmrażania sublimacyjno - parowo -próżniowego (s-p-p). Proponowana metoda jest dwu etapowa. W pierwszym etapie produkt poddaje się procesowi częściowego odsublumowania lodu w celu wytworzenia struktury porowatej a następnie w drugim etapie rozmraża się go metodą próżniowo-parową (p-p).

Sposób rozmrażania próżniowo-parowego produktów spożywczych opracowano po raz pierwszy w firmie APV–Parafreeze razem z ośrodkiem naukowo-badawczym Torry w Wielkiej Brytanii na początku lat siedemdziesiątych. Możliwość tego sposobu rozmrażania sprawdzono na rybach zamrożonych w blokach, filetach, krewetkach a także na zamrożonym mięsie, owocach i jarzynach [Jason 1974, Stjefanowski 1987, Chłodnictwo nr 1 1974]. Produkt przeznaczony do rozmrożenia umieszczany jest w komorze. Następnie z komory wypompowuje się powietrze specjalną pompą z pierścieniem wodnym. Na dnie komory znajduje się wanna wypełniona wodą. Przy obniżeniu ciśnienia do 2337 Pa woda o temperaturze 20°C zaczyna wrzeć, powstaje para wodna, która skraplając się na powierzchni produktu ogrzewa go (rys.1a). Wodę w wannie podgrzewa się najczęściej przy pomocy gorącej pary wodnej rozprowadzanej perforowaną rurą zanurzoną w wodzie. Proces trwa tak długo aż produkt ulegnie rozmrożeniu.

Bezwzględna zaletą tego sposobu rozmrażania jest wykluczenie możliwości zakażenia bakteriologicznego produktu, który może być znaczny przy rozmrażaniu w wodzie lub powietrzu.

Założono, że w procesie rozmrażania sublimacyjno-parowo-próżniowego w pierwszym etapie (sublimacji) nastąpi wytworzenie struktury porowatej w rozmrażanym produkcie. Mianowicie podczas sublimacji w pierwszej kolejności sublimować będzie lód z przestrzeni międzykomórkowych a dopiero później lód chroniony błoną komórkową wewnątrz komórek. W ten sposób powstanie sieć kanalików (por), które będą się rozciągać od powierzchni mięsa w głąb odwodnionej warstwy. W drugim etapie procesu rozmrażania s-p-p w

wytworzone pory wprowadza się parę wodną, która kondensując rozmraża resztę lodu (rys.1b). Z analizy bilansu cieplnego rozmrażania wynika, że wystarczy odsublimerować około 10% masy próbki, aby uzupełniając ten ubytek kondensującą parą rozmrozić materiał. W etapie tym wykorzystuje się to, że utajone ciepło kondensacji pary (2260 kJ/kg) jest ponad sześciokrotnie większe od ciepła topnienia lodu (335 kJ/kg).



Rys. 1. Porównanie mechanizmu rozmrażania:

- a) próżniowo-parowego – na powierzchni mięsa tworzą się krople wody powstałe w wyniku kondensacji pary.
- b) sublimacyjno – próżniowo – parowego – para wodna wnika przez kanaliki struktury porowatej w głąb mięsa

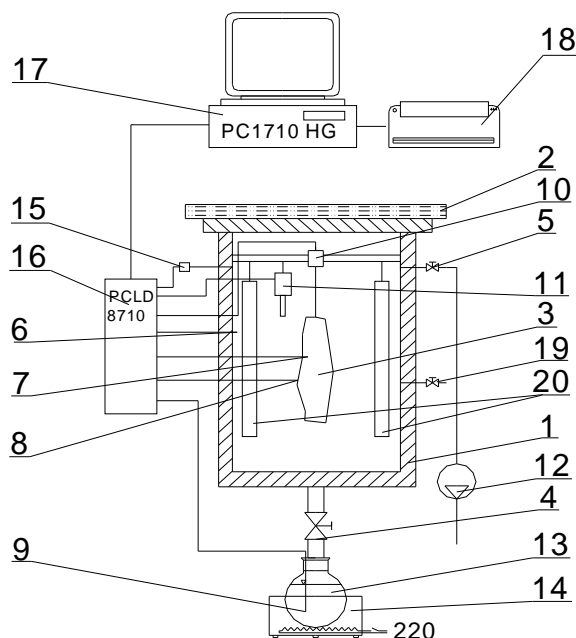
Fig. 1. Comparison of thawing mechanisms:

- a) vacuum-steaming-water drops arise on the meat surface as a results of water vapour condensation;
- b) sublimation-vacuum-steaming-water vapour penetrates through the porous structure deep in the meat

Celem badań zaprezentowanych w artykule jest przedstawienie jednego przykładowego procesu rozmrażania porcji mięsa metodą s-p-p, oraz analizy, czy zmiany wielkości mierzonych potwierdzają przewidywany przebieg zjawisk i założony efekt rozmrażania.

Stanowisko badawcze i metodyka badań

Aby zweryfikować złożony przebieg procesu zbudowano specjalne stanowisko badawcze, którego schemat przedstawiono na rysunku 2.



Rys. 2. Schemat stanowiska badawczego:

1- komora próżniowa, 2- pokrywa szklana, 3- badana próbka, 4- zawór odcinający zbiornik z wodą, 5- zawór odcinający, 6- termopara (temp. w komorze), 7- termopara (temp. w środku próbki), 8- termopara (temp. na powierzchni próbki), 9- termopara (temp. wody w zbiorniku), 10- czujnik indukcyjny zmiany masy, 11- czujnik wilgotności, 12- pompa próżniowa BL15P, 13- zbiornik z wodą, 14- podgrzewacz, 15- przetwornik podciśnienia, 16- terminal zaciskowy, 17- komputer z kartą pomiarową, 18- drukarka, 19- zawór zapowietrzający, 20- promienniki podczerwieni.

Fig. 2. Scheme of testing stand:

1-vacuum chamber, 2-glass cover, 3-tested sample, 4-valve cutting off the water supply, 5-cutting off valve, 6-thermocouple (temperature in chamber), 7-thermocouple (temperature inside the sample), 8-thermocouple (temperature on sample surface), 9-thermocouple (temperature in water tank), 10-indicative sensor of mass change, 11-moisture sensor, 12-vacuum pump BL 15P, 13-water tank, 14-heater, 15-vacuum converter, 16-clip terminal, 17-computer with measuring card, 18-printer, 19-aerating valve, 20-infrared radiators

Na stanowisku można mierzyć zmiany temperatur w komorze rozmrażalniczej, w centrum geometrycznym rozmrażanej próbki, na powierzchni próbki, oraz w zewnętrznym zbiorniku wody generatora pary. Podczas całego procesu dokonywany jest pomiar ciśnienia w komorze i zmiana masy rozmrażanej próbki. Wszystkie wielkości są mierzone i zbierane przez kartę pomiarową i przekazywane do komputera. Przy pomocy środowiska programistycznego LabVIEW dane te są odpowiednio przetwarzane co umożliwia ich rejestrację i wizualizację.

W celu intensyfikacji sublimacji w komorze zainstalowano promienniki podczerwieni. Moc promienników oraz ich odległość od sublimowanej próbki są regulowane. Proces sublimacji

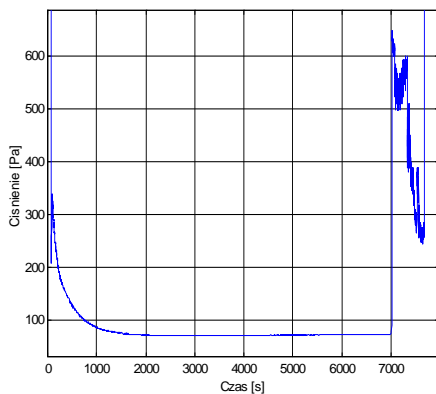
może być realizowany zarówno bez podgrzewania jak i z podgrzewaniem. W naszym przypadku realizowany było rozmrażanie bez podgrzewania próbki w etapie sublimacji.

Próbki do badań zostały pobrane ze schabu pochodzącego z tucznika płci męskiej rasy polska biała zwisłoucha (typ mięsny) o wadze 105 kg. Tusza przez dwa dni po uboju przebywała w chłodni. Ze środkowej części schabu wycięto w poprzek włókien mięśniowych próbki o grubości 20 mm (dł. ok. 110mm, szer. ok. 50mm). Następnie próbki zamrożono konwekcyjnie do temperatury -25°C i składowano je w tej temperaturze. Po dwóch tygodniach próbki poddano rozmrażaniu sublimacyjno-próżniowo-parowemu. Po założeniu termopar (na powierzchni i centrum geometrycznym) próbkę podwieszano pionowo wzdłuż dłuższego wymiaru na haku przetwornika zmian masy.

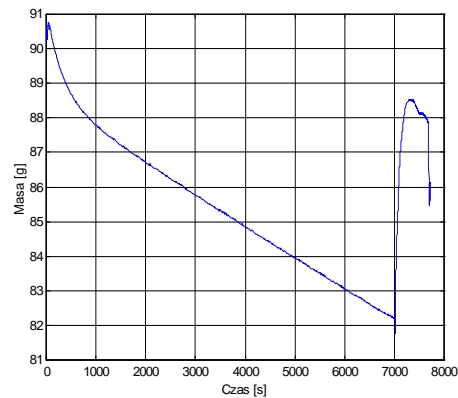
Przebieg zmian mierzonych wielkości i analiza procesu.

Przebieg zmian ciśnienia w czasie całego procesu rozmrażania s-p-p przedstawiony jest na rysunku 3. Próżnię sublimacyjną osiągnięto po 70 s. Chwilowy wzrost ciśnienia widoczny na wykresie w postaci jednostkowego piku spowodowany był odpowietrzeniem generatora pary. Stabilną próżnię rzędu 70 Pa uzyskano po 25 min. Aby osiągnąć założony stopień odsublumowania próbki (około 10% ubytku masy) utrzymywano próżnię przez 1,5 godziny. Po tym okresie następuje zaparowanie komory. W tym celu zamknięto zawór odcinający pompę próżniową (5) i otwarto zawór generatora pary (4). Na początku zaparowania ciśnienie w komorze gwałtownie wzrasta do 650 Pa. Następnie powoli spada do 250 Pa. Spadek ten spowodowany jest intensywnym wchłanianiem pary wodnej przez odsublumowany materiał. Proces rozmrażania s-p-p kończy się gdy temperatura w centrum próbki T_s osiągnie 0°C . W tym momencie następuje otwarcia zaworu (19) i zapowietrzenie komory co powoduje wzrost ciśnienia do ciśnienia atmosferycznego.

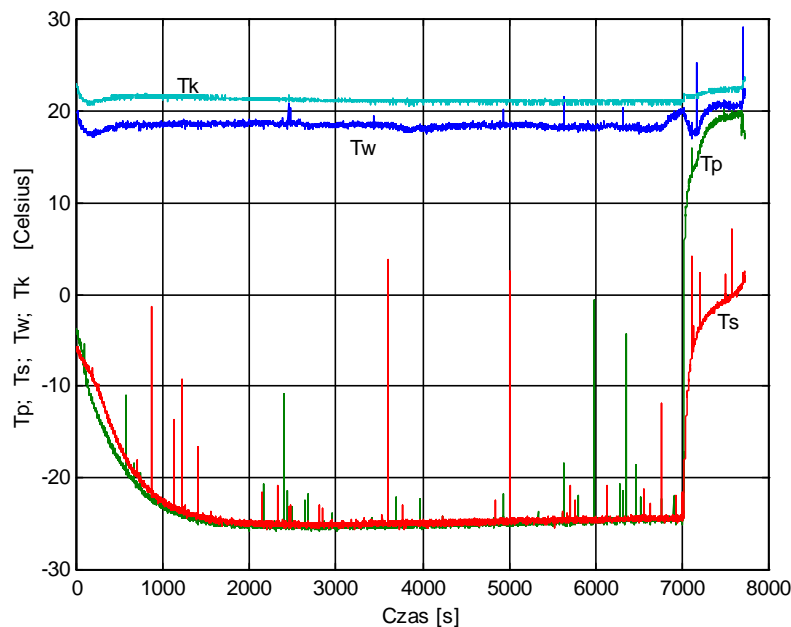
Na rysunku 4 przedstawiony jest przebieg zmian masy próbki w czasie rozmrażania s-p-p. Początkowo masa próbki zmniejsza się a szybkość sublimacji maleje na skutek zwiększających się oporów parowania. Po dojściu do ciśnienia rzędu 70 Pa rozpoczyna się okres sublimacji ze stałą prędkością i trwa do momentu zaparowania komory. Gdy zawór doprowadzający parę wodną zostaje otwarty na skutek rehydratacji struktury porowatej następuje gwałtowny przyrost masy próbki. W końcowej fazie rehydratacji, gdy struktura porowata została już w znacznym stopniu uwodniona masa próbki zaczyna spadać. Próbka w tym momencie jest jeszcze częściowo zamrożona. Kondensująca para wodna nie wnika już tak intensywnie w głąb próbki skraplając się w znacznej części na jej powierzchni. Skondensowana para wodna oraz roztwory powstające z topnienia kryształków lodu nie resorbowane przez tkanki tworzą wyciek. Powstały w tej próbie rozmrażania ubytek masy wyniósł ok. 5%.



Rys. 3. Przebieg zmian ciśnienia podczas rozmrażania s-p-p
Fig. 3. Course of pressure changes during s-s-v thawing



Rys. 4. Zmiana masy próbki mięsa podczas rozmrażania s-p-p
Fig. 4. Course meat sample weight during s-s-v thawing



Rys. 5. Przebieg zmian temperatur podczas rozmrażania s-p-p
Fig. 5. Course of temperature changes during s-s-v thawing

Przebiegi zmian temperatur, które były mierzone w badanym obiekcie przedstawia rysunek 5. W momencie rozpoczęcia procesu temperatura w komorze $T_k = 22^\circ\text{C}$ a temperatura wody w generatorze pary $T_w = 18^\circ\text{C}$. Chwilowy spadek tych temperatur na początku sublimacji (po ok. 100 s) spowodowany jest wspomnianym już odpowietrzeniem generatora pary. Następnie temperatury utrzymują się na stałym poziomie. Dopiero w momencie zaparowania, temperatura wody T_w nagle spada na skutek wychłodzenia spowodowanego wrzeniem. Aby zapewnić stałe wrzenie należy dostarczać do wody ciepło, co jest realizowane przy pomocy podgrzewacza 14. Nieznaczny przyrost temperatury wody T_w związany z jej podgrzewaniem widzimy w końcowej części procesu.

W etapie zaparowania występuje nieznaczny wzrost temperatury w komorze T_k (2°C) spowodowany dostarczaniem ciepła przez parę.

Badana próbka mięsa zamrożona była do temperatury -25°C . W czasie zakładania czujników temperatury i mocowania w komorze próżniowej próbka ogrzała się. W pierwszej części etapu sublimacji następuje jej domrożenie. Jest to spowodowane pobieraniem przez lód ciepła potrzebnego na przemianę fazową. W okresie stałej sublimacji temperatura na powierzchni T_p i temperatura w centrum próbki T_s utrzymują się na poziomie -25°C . W momencie zaparowania obie temperatury gwałtownie wzrastają.

W końcowym etapie temperatura T_s osiąga 0°C , a temperatura T_p zbliża się do temperatury pary wodnej znajdującej się w komorze rozmrażalniczej T_k . Po zakończeniu całego procesu rozmrażania i zapowietrzeniu komory obserwuje się wyrównanie temperatur powierzchni T_p i wnętrza próbki T_s .

Po rozmrożeniu na próbce nie było śladów ususzenia co świadczy o tym, że mięso odtworzyło swoją pierwotną strukturę. Również zapach i konsystencja rozmrażanego mięsa były zadowalające.

Podsumowanie

Wyniki wstępnej analizy sensorycznej rozmrażanej próbki wskazują na to, że możliwe jest rozmrażanie mięsa metodą sublimacyjno – próżniowo - parową.

Otrzymane przebiegi czasowe zmian ciśnienia i masy potwierdzają, że w wytworzoną w etapie sublimacji strukturę porowatą wnika para wodna, która kondensując dostarcza ciepło potrzebne do rozmrożenia pozostałego w mięsie lodu. Jednocześnie skondensowana para pochłaniana jest przez odwodnioną strukturę porowatą przywracając jej pierwotne właściwości mięsa.

Celowe jest prowadzenie dalszych badań aby dokładniej poznać przebieg procesu, zmniejszyć powstający ubytek masy przy jednoczesnym zachowaniu jak najwyższej jakości rozmrażanego mięsa oraz skrócić fazę sublimacji poprzez dostarczenia dodatkowego ciepła zwracając uwagę na właściwości termolabilne rozmrażanego produktu.

Bibliografia

- Gruda Z., Postolski J.: *Zamrażanie żywności*. Warszawa, WNT 1999.
- Gujgo E.I., Żurawska N.K., Kaucheszewili E.I.: *Suszenie sublimacyjne produktów spożywczych*. Warszawa, Wydawnictwo Przemysłu Lekkiego i Spożywczego 1968,
- Jason A. C.: *Thawing frozen fish*. Ministry of Agriculture, Fisheries and Food, Torry Research Station, HMSO Press, Edinburgh 1974,
- Bykowski P., Dutkiewicz D.: *Technika zamrażania i rozmrażania w przemyśle rybnym*. Technika i Gospodarka Morska, 1986 nr 6,
- Rozmrażania żywności w warunkach próżni*. Chłodnictwo nr 1, NOT-SIGMA, Warszawa 1974,
- Stjepanowski W. M.: *Rozmrażanie ryby*. Agropromizdat, Moskwa 1987.

KINETICS OF MASS AND TEMPERATURE CHANGES DURING SUBLIMATION-STEAMING-VACUUM THAWING OF MEAT

Summary

Authors developed a method of sublimation-steaming-vacuum thawing. The principals of this method were presented in the paper. Experimental stand as well as the time-dependent course of changes in mass and temperature of the thawed meat sample and in the pressure inside a vacuum chamber was described.

Key words: vacuum, sublimation-steaming-vacuum thawing, sublimation, frozen meat.