

Jarosław Diakun, Adam Kopec
Katedra Inżynierii Spożywczej i Tworzyw Sztucznych
Politechnika Koszalińska

PORÓWNANIE PROCESU ROZMRAŻANIA MIĘSA METODAMI PRÓŻNIOWO-PAROWĄ I SUBLIMACYJNO-PRÓŻNIOWO-PAROWĄ

Streszczenie

Artykuł jest kontynuacją pracy nad opracowywaną przez autorów sublimacyjno-próżniowo-parową metodą rozmrażania produktów spożywczych. W pracy porównano rozmrażanie tą metodą z klasycznym rozmrażaniem próżniowo-parowym na przykładzie mięsa. Przedstawiono kinetykę zmian masy i temperatury w centrum próbki oraz na jej powierzchni. Badania przeprowadzono w specjalnie zbudowanej komorze rozmrażalniczej z zewnętrznym generatorem pary.

Słowa kluczowe: próżnia, rozmrażanie sublimacyjno-próżniowo-parowe, sublimacja, mięso zamrożone

Wprowadzenie

Rozmrażanie próżniowo-parowe (p-p) należy do najszybszych metod powierzchniowego rozmrażania produktów spożywczych. Rozmrażany produkt umieszcza się w komorze próżniowej, z której odpompowuje się powietrze. W wyniku powstającej próżni, woda zaczyna wrzeć w temperaturze otoczenia (ok. 20°C). Para wodna wypełnia komorę rozmrażalniczą, skrapla się na powierzchni i przekazuje ciepło skraplania, co powoduje szybkie rozmrażanie produktu.

Rozmrażanie sublimacyjno-próżniowo-parowe (s-p-p) jest metodą dwuetapową. Pierwszy etap polega na wytworzeniu w wyniku sublimacji lodu struktury porowatej w powierzchniowej warstwie rozmrażanego mięsa. Struktura ta jest „mieszanką” kryształów lodu, zagęszczonego roztworu soku komórkowego (cieczy), rozrzedzonej próżnią pary wodnej, zawartej w szkielecie komórek mięsa. Powstała struktura charakteryzuje się dobrymi właściwościami transportu masy (pary wodnej) i energii uzyskanej w wyniku skraplania pary wodnej.

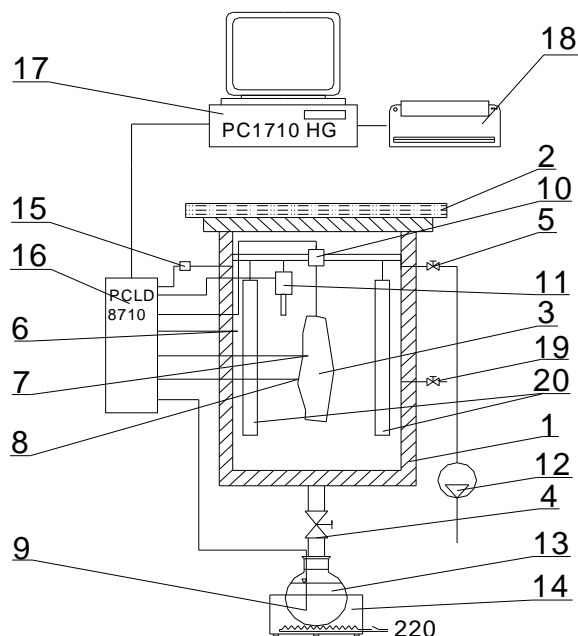
Drugi etap procesu rozmrażania s-p-p to rozmrażanie próżniowo-parowe. Rozpoczyna się ono w momencie gdy z rozmrażanej próbki odsublimerowana zostanie określona ilość lodu i prowadzony jest do całkowitego rozmrożenia. W etapie tym para wodna wnika w strukturę porowatą i kondensując tam rozmraża resztę lodu znajdującą się w produkcie. Skondensowana para wodna powoduje rehydratację odwodnionej, porowatej struktury mięsa. Z analizy bilansu cieplnego rozmrażania próżniowo-parowego mięsa wynika, że wystarczy odsublimerować około 10% masy próbki, aby uzupełniając ten ubytek kondensującą parą rozmrozić całkowicie produkt. W wyniku badań okazało się, że stopień odsublimerowania musi być większy gdyż oprócz kondensującej pary rozmrażane mięso zawiera pewną ilość cieczy tzw. wycieku rozmrażalniczego uwalniającego się z rozmrażanej tkanki mięśniowej. Zbadano doświadczalnie, że aby rozmrozić w ten sposób badaną próbkę mięsa należy odsublimerować z niej 12÷15% lodu.

W dotychczasowych rozwiązaniach tych urządzeń [Gruda i in. 1999; Jason 1974; Stjefanowski 1987; Fatychow 2002] wanna z wodą, z której generuje się para umiejscowiona jest w dennej części komory rozmrażalniczej. W celu realizacji rozmrażania s-p-p autorzy dokonali innowacji polegającej na umieszczeniu wody w zewnętrznym zbiorniku rys. 1. Zbiornik ten jest połączony z komorą przewodem rurowym poprzez zawór docinający.

Celem badań jest porównanie procesów rozmrażania próżniowo-parowego i sublimacyjno-próżniowo-parowego.

Stanowisko badawcze i metodyka badań

Próbki do badań zostały pobrane ze schabu pochodzącego z tucznika płci męskiej rasy polska biała zwisłoucha (typ mięsny) o wadze 100 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 -30°C i składowano je w tej temperaturze. Po dwóch tygodniach próbki rozmrożono metodą próżniowo-parową i sublimacyjno-próżniowo-parową. Każdą próbę rozmrażania powtórzono trzykrotnie.



Rys. 1. Schemat stanowiska badawczego: 1- komora próżniowa, 2- pokrywa szklana, 3- badana próbka, 4- zawór odcinający generator pary, 5- zawór odcinający pompę, 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 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. 1. Chart of a research post: 1- vacuum chamber, 2- glass cover, 3- analysed sample, 4- cut-off valve for steam generator, 5- pump cut-off valve, 6- thermosteam (temp. inside the chamber), 7- thermosteam (temp. inside the sample), 8- thermosteam (temp. on the surface of the sample), 9- thermosteam (water temp. in the tank), 10- weight change sensor, 11- humidity sensor, 12- vacuum pump BL15P, 13- water tank, 14- heater, 15- partial vacuum transducer, 16- clump terminal, 17- computer with measurement card, 18- printer, 19- air valve, 20- infrared radiator

Podczas rozmrażania rejestrowano zmiany w czasie następujących wielkości (krok pomiarowy 1s):

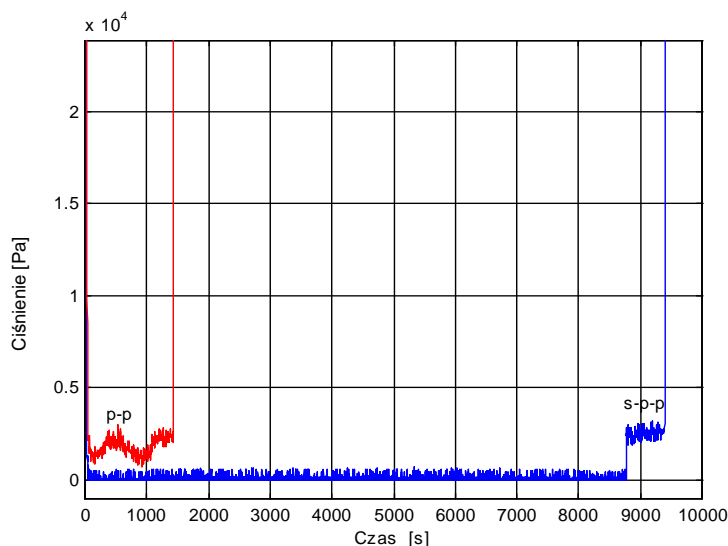
- ciśnienie w komorze rozmrażalniczej podczas sublimacji (próżniomierz oporowy MP211 firmy ELVAC z głowicą Piraniego, błąd pomiarowy 15% wskazania),
- ciśnienie w komorze rozmrażalniczej podczas zaparowania (przetwornik ciśnienia PXWV1 firmy Peltron, błąd pomiarowy 0,5% zakresu pomiarowego),
- temperaturę w centrum geometrycznym próbki (termopara typu K, grubość drutu 0,2mm, błąd pomiarowy $\pm 1^{\circ}\text{C}$),
- temperaturę na powierzchni próbki (termopara typu K, jw.),
- masę próbki (moduł wagowy typ IL 0,2, firmy Mensor, klasa dokładności III, działka legalizacyjna $e=0,1\text{g}$).

Dane z czujników pomiarowych za pośrednictwem karty pomiarowej przekazywane były do komputera. Przy pomocy programu LabVIEW zostały one odpowiednio przetworzone co umożliwiło ich rejestrację. Wykresy wykonano w programie Matlab.

Przebieg procesów rozmrażania

Na rys. 2 przedstawione są zmiany ciśnienia podczas obu porównywanych procesów rozmrażania. W czasie rozmrażania p-p zawór pompy 5 i zawór generatora pary są otwarte, zamknięty jest zawór zapowietrzający 19. Po uruchomieniu pompy próżniowej 12 w komorze powstaje próżnia. Przy ciśnieniu ok. 2400 Pa woda o temperaturze 20°C znajdująca się generatorze pary zaczyna wrzeć. Powstająca para wodna wypełnia komorę próżniową 1 i kondensując na powierzchni próbki rozmraża ją. Zaobserwowano kondensowanie pary na powierzchni próbki a następnie jej ociekanie. W trakcie rozmrażania zebrano 22g skroplin zabarwionych wyciekem rozmrażalniczym. W czasie procesu woda musi być podgrzewana w celu uzupełnienia ciepła zużytego na przemianę fazową. Temperatura wody jest utrzymywana na poziomie ok. 20°C . Proces rozmrażania trwa do momentu osiągnięcia w centrum próbki temperatury $T_c = 0^{\circ}\text{C}$. W tym momencie następuje wyłączenie pompy próżniowej 12 i otwarcie zaworu zapowietrzającego 19.

Rozmrażanie s-p-p poprzedzone jest okresem sublimacji, w którym wytwarza się w rozmrażanym mięsie strukturę porowatą. W etapie tym zamknięty jest zawór 4 łączący generator pary z komorą próżniową. Przy otwartym zaworze 5 pompa odpompowuje powietrze. Wysokość próżni w komorze ustaliła się na poziomie 80 Pa.



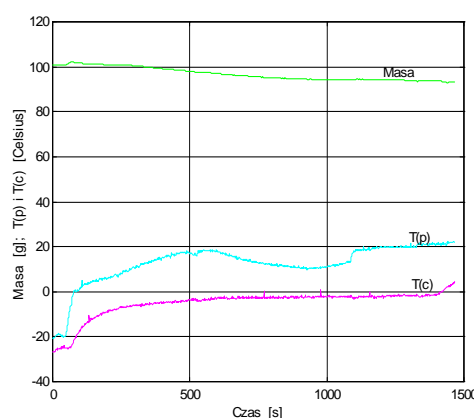
Rys. 2. Przebieg zmian ciśnienia podczas rozmrażania próżniowo-parowego (p-p) i sublimacyjno-próżniowo-parowego (s-p-p)

Fig. 2. The course of pressure changes during vacuum-cum-steam defrosting (p-p) and sublimation-cum-vacuum-cum-steam defrosting (s-p-p)

W celu intensyfikacji sublimacji do próbki dostarczano ciepło za pomocą promienników podczerwieni zainstalowanych wewnątrz komory próżniowej. Moc promienników ustalono doświadczalnie na poziomie 2×10 W. Drugi etap rozmrażania s-p-p rozpoczyna się momencie gdy z badanej próbki zostało odsublimerowane 12% lodu. Zostają wyłączone promienniki podczerwieni. W odróżnieniu od rozmrażania p-p zostaje zamknięty zawór 5 łączący komorę próżniową z pompą. Po otwarciu zaworu 4 woda w generatorze pary zaczyna wrzeć i wypełnia komorę rozmrażalniczą. Ciśnienie w komorze ustala się na poziomie 2400 Pa. Temperatura wody w generatorze pary jest utrzymywana na poziomie ok. 20°C . Powstała para wodna wnika kanalikami w głąb struktury porowatej i rozmraża pozostałą część lodu. Zaobserwowano, że kondensująca para zostaje wchłaniana przez odwodnioną warstwę struktury porowatej. Ilość zebranych kropli wraz z wyciekami rozmrażalniczym wyniosła 1,8g. W wyniku rehydratacji masa próbki wzrasta. Proces rozmrażania kończy się w momencie gdy masa próbki ponownie zaczyna powoli spadać. Następuje otwarcie zaworu 5 i zapowietrzenie komory.

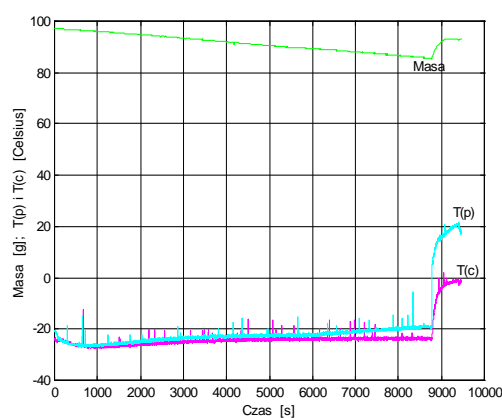
Wyniki badań i ich analiza

Na rys. 3 przedstawione są zmiany masy i temperatur na powierzchni T_p i w centrum próbki T_c podczas rozmrażania próżniowo-parowego. Masa próbki początkowo nieznacznie wzrasta na skutek kondensującej pary wodnej na jej powierzchni. Następnie zaczyna powoli spadać. Jest to spowodowane uwalnianym się wyciekami rozmrażalniczym.



Rys. 3. Przebieg zmian masy i temperatur T_p i T_c podczas rozmrażania p-p

Fig. 3. Changes of weight and temperatures T_p and T_c during defrosting p-p



Rys. 4. Przebieg zmian masy i temperatur T_p i T_c podczas rozmrażania s-p-p

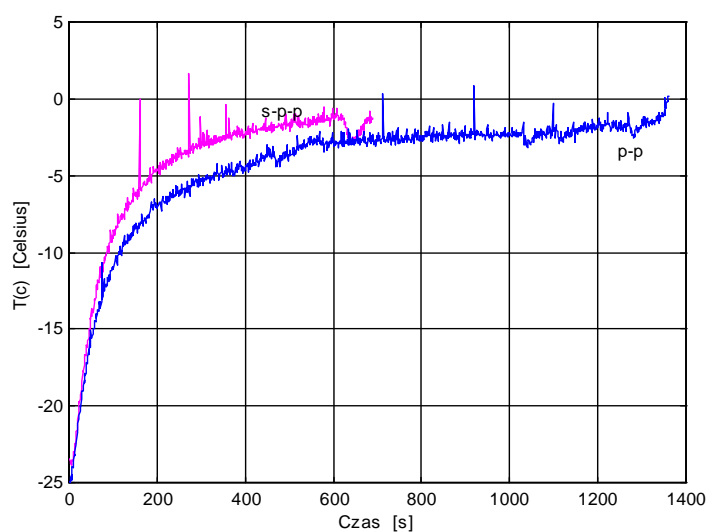
Fig. 4. Changes of weight and temperatures T_p and T_c during defrosting s-p-p

Temperatura T_p gwałtownie wzrasta powyżej 0°C a następnie zbliża się do temperatury pary wodnej wypełniającej komorę. Widoczne na wykresie wahania tej temperatury spowodowane są wychładzaniem a następnie podgrzewaniem wody w generatorze pary. Zmiana temperatury T_c jest charakterystyczna dla procesu rozmrażania. Występują: etap podgrzewania, długi okres plateau w zakresie temperatury krioskopowej (przemiany fazowej lodu w wodę) a następnie etap ogrzewania. Proces rozmrażania trwał 23 min. a ubytek masy próbki wyniósł 9%.

Zmiany masy i temperatur T_c i T_p w procesie rozmrażania sublimacyjno-próżniowo-parowego przedstawione są na rys. 4. Temperatury T_c i T_p w etapie sublimacji początkowo obniżają się na skutek samozamarzania a następnie

w wyniku ogrzewania próbki powoli wzrastają. Masa próbki w tym okresie (tworzenie struktury porowatej) równomiernie spada. Po osiągnięciu założonego 12% stopnia odsublimerowania następuje zaparowanie komory (8800s). Rozpoczyna się drugi etap rozmrażania s-p-p. Kondensująca w kanalikach struktury porowatej para wodna powoduje rozmrożenie pozostałej części lodu, co obrazują krzywe T_p i T_c . Powstająca ze skraplającej się pary woda jest wchłaniana przez odwodnioną warstwę powodując przyrost masy próbki. Proces kończy się gdy masa rozmrażanego mięsa zaczyna ponownie spadać. Stwierdzono, że próbka została rozmrożona a powstała w etapie sublimacji odwodniona warstwa została zrehydratowana. Etap sublimacji trwał 146 min. a etap rozmrażania 11,5 min. Ubytek masy rozmrażanej próbki wyniósł 6%.

Na rys. 5. przedstawiono zmiany temperatur w centrum próbki T_c podczas rozmrażania próżniowo-parowego i drugiego etapu rozmrażania sublimacyjno-próżniowo-parowego. Z otrzymanego porównania wynika, że zasadniczy proces rozmrażania s-p-p (drugi etap) dzięki kondensacji pary wodnej wewnątrz próbki przebiega znacznie szybciej i bardziej intensywnie niż w tradycyjnym procesie rozmrażania p-p.



Rys. 5. Porównanie zmian temperatur w centrum próbki T_c podczas rozmrażania p-p i drugiego etapu rozmrażania s-p-p

Fig. 5. A comparison of temperature changes inside the sample T_c during defrosting p-p and the second stage of defrosting s-p-p

Wnioski

1. Wytworzenie w pierwszym etapie rozmrażania sublimacyjno-próżniowo-parowego warstwy porowatej o odpowiedniej pojemności powoduje, że podczas rozmrażania próżniowo-parowego (drugi etap) para wodna wnika w głąb rozmrażanego mięsa i kondensując oddaje ciepło, które rozmraża pozostałą w próbce część lodu. W procesie następuje rehydratacja odwodnionej struktury porowatej przywracając jej pierwotne właściwości mięsa świeżego.
2. Wprowadzenie etapu sublimacji w celu wytworzenia struktury porowatej znacznie wydłuża cały proces rozmrażania sublimacyjno-próżniowo-parowego jednak w zasadniczym etapie rozmrażania mięsa przebiega znacznie szybciej i bardziej intensywnie niż tradycyjne rozmrażanie próżniowo-parowe.
3. Ubytek masy próbki podczas procesu rozmrażania sublimacyjno-próżniowo-parowego był o 3% mniejszy niż w przypadku rozmrażania próżniowo-parowego.
4. Ilość powstających skroplin zabarwionych wyciekami rozmrażalniczym w procesie rozmrażania sublimacyjno-próżniowo-parowego jest zdecydowanie mniejsza niż w klasycznym procesie rozmrażania próżniowo-parowego.

Bibliografia

- Bykowski P., Dutkiewicz D. 1986. Technika zamrażania i rozmrażania w przemyśle rybnym. Technika i Gospodarka Morska, nr 6.
- Czapp M., Charun H. 1997. Bilans cieplny pomieszczeń chłodni. Politechnika Koszalińska.
- Gruda Z., Postolski J. 1999. Zamrażanie żywności. WNT Warszawa.
- Gujgo E.I., Żurawska N.K., Kauchczeszewi E.I. 1968. Suszenie sublimacyjne produktów spożywczych. Warszawa, Wydawnictwo Przemysłu Lekkiego i Spożywczego.
- Jason A. C. 1974. Thawing frozen fish. Ministry of Agriculture, Fisheries and Food,
- Kopec A., Diakun J. 2005. Kinetyka zmian masy i temperatury w procesie sublimacyjno-parowo-próżniowego rozmrażania mięsa. Inżynieria Rolnicza, Nr11(71). 251-258, Kraków.
- Lewicki P. 1999. Inżynieria procesowa i aparatura przemysłu spożywczego. WNT
- Rozmrażania żywności w warunkach próżni. 1974. Chłodnictwo nr 1, NOT-SIGMA Warszawa.

Stjefanowski W. M. 1987. Rozmrażanie ryby. Agropromizdat, Moskwa.

Szorgut J. 1980. Termodynamika. WNT Warszawa.

Torry Research Station, HMSO Press, Edinburgh. Warszawa.

**A COMPARISON OF MEAT DEFROSTING
USING VACUUM-CUM-STEAM
AND SUBLIMATION-CUM-VACUUM-CUM-STEAM METHODS**

Summary

The study is a continuation of a study on the sublimation-cum-vacuum-cum-steam method of defrosting of foods developed by the authors. It compares defrosting using this method with classic vacuum-cum-steam defrosting using the example of meat. The kinetics of weight and temperature changes in the centre of the sample and on its surface were presented. The research was done in a defrosting chamber with an external steam generator, built for the purpose of the research.

Key words: Vacuum, sublimation-cum-vacuum-cum-steam defrosting, sublimation, frozen meat