

WYZNACZENIE STOPNIA ODWODNIENIA SUBLIMACYJNEGO W PROCESIE SUBLIMACYJNO- -PRÓŻNIOWO-PAROWEGO ROZMRAŻANIA MIĘSA

Adam Kopec, Jarosław Diakun

Katedra Inżynierii Spożywczej i Tworzyw Sztucznych, Politechnika Koszalińska

Streszczenie. Metoda rozmrażania sublimacyjno-próżniowo-parowego jest dwuetapowa. W pierwszym, wstępnym etapie sublimacji w rozmrażanym mięsie wytworzona zostaje struktura porowata. Drugi etap procesu to rozmrażanie próżniowo-parowe. W etapie tym para wodna poprzez wytworzoną strukturę porowatą wnika w głąb mięsa i kondensując tam rozmraża produkt od wewnątrz. W artykule przedstawione zostały badania mające na celu określenie niezbędnego, rzeczywistego stopnia odwodnienia sublimacyjnego S_o , gwarantującego wytworzenie struktury porowatej o takiej pojemności, aby w drugim etapie procesu w czasie, w którym nastąpi pełna rehydratacja wytworzonej struktury porowatej próbka mięsa uległa całkowitemu rozmrożeniu. Strukturę porowatą o takiej pojemności uzyskano przy stopniu odwodnienia sublimacyjnego $S_o=12\%$.

Słowa kluczowe. rozmrażanie sublimacyjno-próżniowo-parowe, sublimacja, struktura porowata, rehydratacja, wyciek rozmrażalniczy, mięso

Wprowadzenie

Opracowana przez autorów metoda rozmrażania sublimacyjno-próżniowo-parowego (s-p-p) mięsa jest dwu etapowa [Diakun 2004, Kopec 2005]. Pierwszy, wstępny etap (sublimacji) polega na wytworzeniu w rozmrażanym mięsie, w wyniku sublimacji lodu, odpowiednio pojemnej struktury porowatej. Drugi, zasadniczy etap procesu rozmrażania s-p-p to rozmrażanie próżniowo-parowe (p-p) zwane też etapem zaparowania komory. W etapie tym para wodna wnika w strukturę porowatą i kondensując tam rozmraża próbkę mięsa od wewnątrz. Skondensowana para wodna powoduje rehydratację odwodnionej, porowatej struktury przywracając jej walory mięsa świeżego.

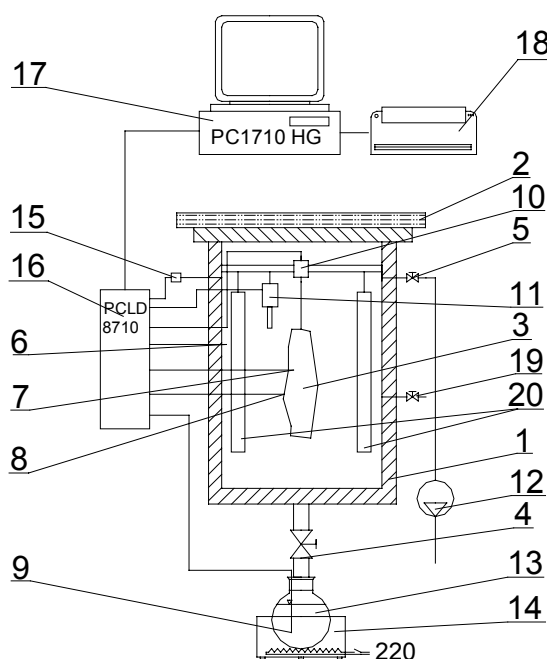
Z analizy bilansu cieplnego rozmrażania próżniowo-parowego mięsa wynika, że wystarczy odsublimerować z próbki masę lodu stanowiącą 9,3% jej masy, aby uzupełniając ten ubytek kondensującą parą rozmrozić całkowicie pozostały w mięsie lód [Diakun 2004]. W wyniku badań okazało się, że przy takiej ilości odsublimerowanego lodu powstała struktura porowata ma zbyt małą pojemność aby kondensująca w niej para rozmroziła całkowicie produkt od wewnątrz. Po rehydratacji odwodnionej struktury porowatej, która następuje szybciej niż całkowite rozmrożenie próbki proces rozmrażania przebiega już przez przewodzenie.

W artykule przedstawiono badania zmierzające do określenia niezbędnego rzeczywistego stopnia odwodnienia sublimacyjnego S_0 gwarantującego wytworzenie struktury porowatej o odpowiedniej pojemności. Pojemność ta powinna być tak dobrana aby w czasie, w którym nastąpi pełna rehydratacja wytworzonej struktury porowatej próbka uległa całkowitemu rozmrożeniu.

Stanowisko badawcze i proces rozmrażania s-p-p

Badania przeprowadzono na specjalnym stanowisku badawczym przedstawionym na rys. 1, gdzie rozmrażanie następuje w komorze próżniowej.

1. komora próżniowa,
2. pokrywa szklana,
3. próbka badawcza
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 generatorze pary.
10. czujnik zmian masy,
11. czujnik wilgotności,
12. pompa próżniowa,
13. generator pary,
14. podgrzewacz,
15. przetwornik podciśnienia
16. terminal zaciskowy
17. komputer z kartą pomiarową,
18. drukarka,
19. zawór powietrza,
20. promienniki podczerwieni.



Rys. 1. Schemat stanowiska badawczego

Fig. 1. Diagram of the test bench

Podczas rozmrażania, dla prezentowanego tu programu badań, mierzono i rejestrowano zmiany w czasie następujących wielkości:

- temperaturę w centrum geometrycznym próbki (termopara typu K, grubość drutu 0,2mm, błąd pomiarowy $\pm 1^\circ\text{C}$),
- masę próbki (moduł wagowy typ IL 0,2, firmy Mensor, klasa dokładności III, działka legalizacyjna $e=0,1\text{g}$).

Proces rozmrażania przebiega w następujący sposób. W pierwszym etapie przy zamkniętym zaworze generatora pary 4 pompa próżniowa wytwarza w komorze próżnię

i następuje sublimacja. W celu dostarczenia niezbędnego ciepła do sublimacji lodu załączone są promienniki podczerwieni 20. Po osiągnięciu założonego stopnia odwodnienia rozpoczyna się drugi etap. Zostaje zamknięty zawór pompy próżniowej 5 i otwarty zawór generatora pary 4, następuje zaparowanie komory. Temperatura wody w generatorze pary jest utrzymywana na poziomie 20°C.

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 masie ok. 100 g i grubości 20 mm (dł. ok. 110 mm, szer. ok. 50 mm). Następnie próbki zamrożono konwekcyjnie do temperatury -30°C i składowano je w tej temperaturze. Po dwóch tygodniach próbki rozmrożono metodą sublimacyjno-próżniowo-parową. Każdą próbę rozmrażania powtórzono trzykrotnie.

Stopień odwodnienia sublimacyjnego S_o zdefiniowano jako stosunek masy odsublimerowanego lodu m_{ls} do początkowej masy zamrożonej próbki m_1 pomnożony przez 100%.

$$S_o = \frac{m_{ls}}{m_1} \cdot 100\% \quad (1)$$

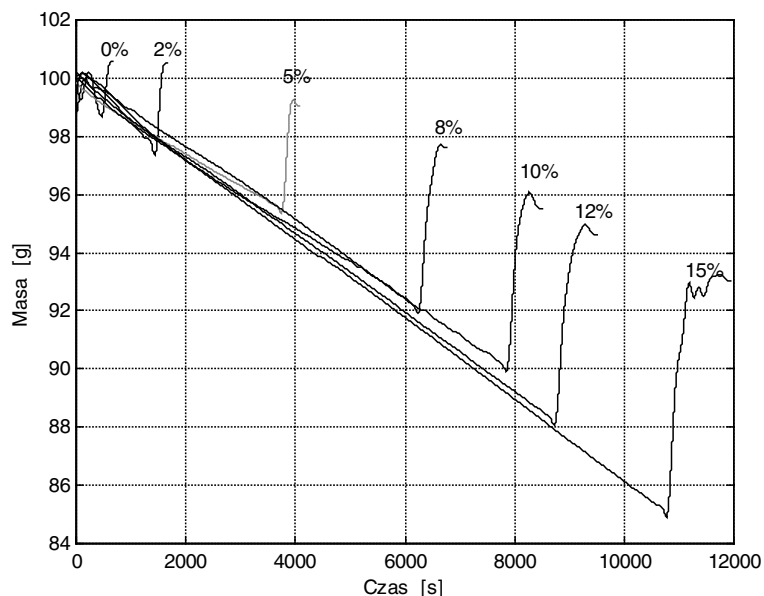
W celu określenia rzeczywistego stopnia odwodnienia sublimacyjnego przeprowadzono badania w dwóch etapach.

W pierwszym etapie proces zostaje przerwany, gdy zatrzymany zostaje proces rehydratacji, w czasie którego próbka zwiększa swą masę. W programie badawczym przyjęto następujące stopnie odwodnienia sublimacyjnego: 0%, 2%, 5%, 8%, 10%, 12% i 15%. Wielkościami wyjściowymi poddanymi analizie w tej części badań były: zmiana masy i zmiana temperatury w centrum termicznym próbki.

W drugim etapie badań proces rozmrażania jest kontynuowany do całkowitego rozmrożenia tzn. do osiągnięcia w centrum termicznym próbki temperatury 0°C . Podobnie jak w poprzedniej części badań wielkością wyjściową jest stopień odwodnienia sublimacyjnego S_o . Przyjęto następujące jego wartości: 0%, 5%, 8%, 10% i 12%. Wielkościami wyjściowymi były: zmiana masy próbki w czasie całego procesu i zmiana temperatury w centrum termicznym próbki w etapie zaparowania komory.

Wyniki badań i ich analiza

Zmiany masy próbek rozmrażanych przy różnym stopniu odwodnienia sublimacyjnego w pierwszej części badań przedstawiono na rys. 2.

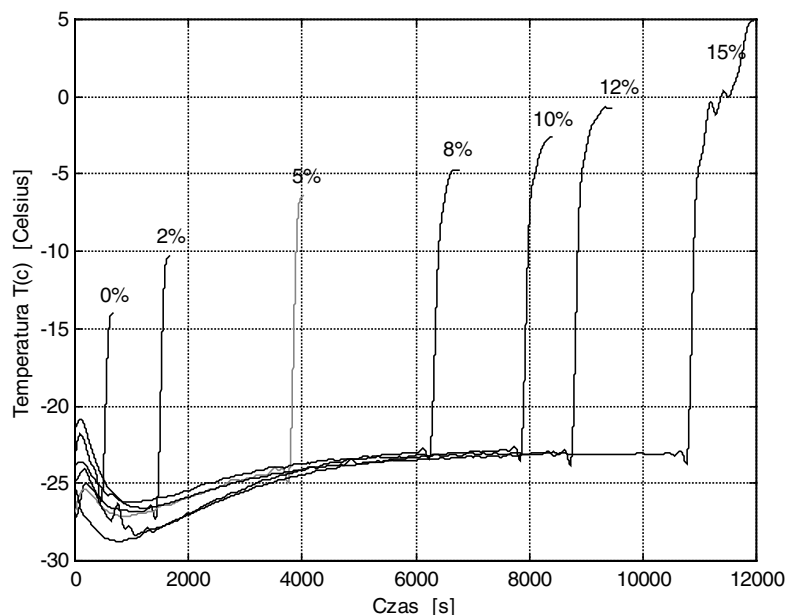


Rys. 2. Zmiana masy próbki rozmrażanej do momentu spadku masy przy różnych stopniach odwodnienia sublimacyjnego

Fig. 2. Change of sample mass defrosted until drop of mass with various degrees of sublimation dehydration

Dla przyjętych stopni odwodnienia (z wyjątkiem $S_o = 0\%$) widoczny jest etap sublimacji charakteryzujący się spadkiem masy badanych próbek. W momencie zaparowania komory w wyniku kondensującej pary wodnej wewnątrz próbki jej masa zaczyna wzrastać – następuje rehydratacja wytworzonej w pierwszym etapie struktury porowatej. W momencie, gdy pojawia się wyciek (masa próbki zaczyna spadać) próba zostaje przerwana. Zmiany temperatur w centrum próbek T_c przedstawione są na rys. 3. W pierwszej fazie okresu sublimacji widoczny jest spadek temperatury, następuje domrażanie próbek. Po załączeniu promienników podczerwieni temperatura powoli wzrasta i stabilizuje się na poziomie ok. -23°C . Po zaparowaniu komory następuje gwałtowny wzrost temperatury T_c . Próbkę ulega rozmrażaniu w wyniku przekazywania ciepła przez kondensującą we wnętrzu struktury porowatej parę wodną.

Z przedstawionych krzywych zmiany temperatury wynika, że dla stopnia odwodnienia $S_o=12\%$ próbka w momencie pojawienia się wycieku jest już całkowicie rozmrożona. Osiąga wewnątrz temperaturę T_c ok. -1°C . Dla mniejszych stopni odwodnienia próbka jest jeszcze w środku zamrożona, temperatury T_c są poniżej -4°C . Z kolei dla $S_o=15\%$ próbka rozmraża się wcześniej niż następuje pełna rehydratacja odwodnionej struktury, i w momencie końcowym procesu temperatura T_c osiąga wartości dodatnie, $T_c=5^\circ\text{C}$.

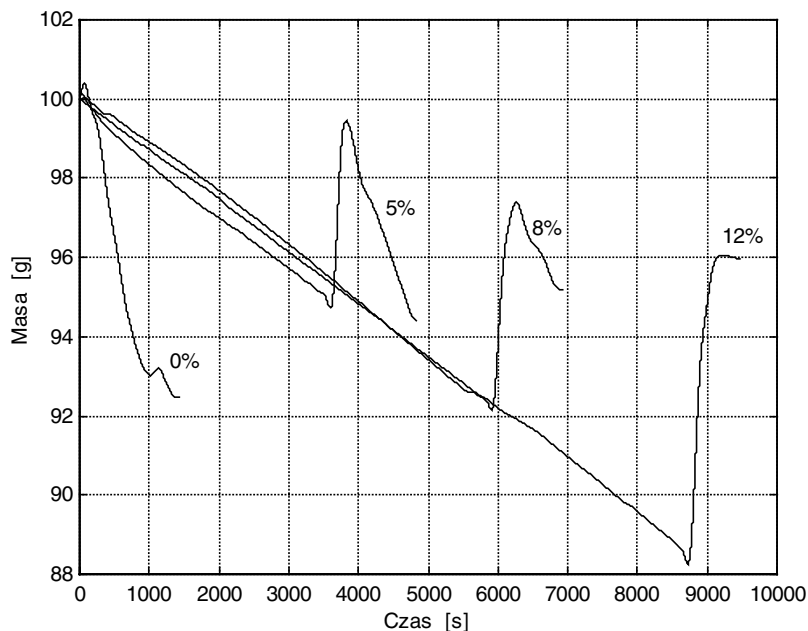


Rys. 3. Przebiegi czasowe zmiany temperatury w centrum próbki T_c podczas rozmrażania s-p-p, z przerwaniem procesu w momencie pojawienia się spadku masy, dla badanych stopni odwodnienia S_o .

Fig. 3. Time characteristics of temperature changes in the sample center T_c during defrosting s-p-p, with process interrupted when mass drops, for tested degrees of dehydration S_o .

Zmiany mas rozmrażanych próbek w drugim etapie badań przedstawione są na rys. 4. Dla stopni odwodnienia 5%, 8% i 12% okres sublimacji (wytworzenie struktury porowatej) charakteryzuje się powolnym spadkiem masy do założonego poziomu. W momencie zaparowania komory następuje gwałtowny przyrost masy próbek, co świadczy o tym, że para wodna wnika przez strukturę porowatą w głąb próbki i tam kondensując oddaje swoje ciepło powodując rozmrażanie produktu. Dla 5% i 8% stopnia odwodnienia wystąpił ponowny spadek masy. Jest to spowodowane zbyt małą pojemnością warstwy porowatej. Kondensująca para wodna i powstający w czasie rozmrażania wyciek nie są w pełni wchłaniane przez odwodnioną tkankę i w miarę postępowania procesu rozmrażania wydostają się na zewnątrz.

W przypadku 12% odwodnienia taki spadek masy nie występuje. Kondensująca para wodna, niezbędna do całkowitego rozmrożenia produktu, oraz powstający wyciek rozmrażalniczy są wchłonięte. Dla próbki o stopniu odwodnienia 0% obserwujemy w początkowej fazie przyrost masy ponad masę początkową. Jest to spowodowane kondensowaniem się pary wodnej na zamrożonej powierzchni próbki. Następnie w wyniku rozmrażania i uwalnianych się na zewnątrz soków komórkowych masa próbki spada.



Rys. 4. Zmiany mas podczas rozmrażania próbek mięsa metodą s-p-p dla 0%, 5%, 8% i 12% stopnia odwodnienia sublimacyjnego

Fig. 4. Mass changes during defrosting of meat samples using s-p-p method for 0%, 5%, 8% and 12% of the degree of sublimation dehydration

Stwierdzono, że poza szczątkową ususzką, występującą głównie na krawędziach, rozmrożona próbka nie różni się od mięsa rozmrażanego innymi metodami. Niewielka ususzka (występująca głównie na krawędziach) wykazywała tendencję zanikającą w krótkim okresie czasu po zakończeniu rozmrażania. Barwa powierzchni i przekroju jest typowa dla mięsa rozmrażanego i różni się tylko nieznacznie od świeżego. Konsystencja rozmrażanej próbki charakteryzowała się większą sprężystością niż próbka rozmrażana tradycyjnie w powietrzu. Jest ona nawet bardziej sprężysta niż próbka mięsa świeżego. Zawilgocenie powierzchni rozmrożonej próbki jest nieznaczne, nie widać ociekającej cieczy jak ma to miejsce w przypadku rozmrażania tradycyjnego w powietrzu.

Podsumowanie

1. Stwierdzono, że rzeczywisty stopień odwodnienia sublimacyjnego, przy którym zachodzi rozmrażanie w wyniku pobierania ciepła od kondensującej pary wewnątrz próbki wynosi 12%.
2. Przy obliczonym teoretycznie stopniu odwodnienia sublimacyjnego $S_o=9,3\%$ nie następuje całkowite rozmrażanie próbki od wewnątrz podczas rehydratacji struktury porowatej.

3. W przedstawionej metodzie sublimacyjno-próżniowego-parowego rozmrażania mięsa podobnie jak przy innych sposobach rozmrażania występuje niekorzystny ubytek masy rozmrażanej próbki. Przy wyznaczonym w sposób eksperymentalny rzeczywistym stopniu odwodnienia sublimacyjnego $S_o=12\%$ wynosi on ok. 4% w stosunku do masy początkowej próbki. Jest on spowodowany nie dochodzącą do 100% zdolnością rehydratacji wody przez wytworzoną strukturę porowatą. Jednak prawie całkowite ograniczenie wycieku rozmrażalniczego gwarantujące to, że w mięsie pozostają wszystkie składniki odżywcze sprawia, że ubytek masy będący tylko zmniejszeniem zawartości wody w produkcie staje się mniej istotny.

Bibliografia

- Diakun J., Kopeć A.** 2004. Concept of vacuum-vapour thawing food products with the use of sublimation. Interuniversity collection of scientific transactions: Intensification of technological processes, equipment and management of food productions. KITY, Kaliningrad. s. 11-17.
- Gruda Z., Postolski J.** 1999. Zamrażanie żywności. Warszawa, WNT. ISBN 83-204-2332-5
- Gujgo E.I., Żurawska N.K., Kaucheszewili E.I.** 1968. Suszenie sublimacyjne produktów spożywczych. Warszawa, Wydawnictwo Przemysłu Lekkiego i Spożywczego. ISBN 664 : 536.422.4
- Jason A. C.** 1974. Thawing frozen fish. Ministry of Agriculture, Fisheries and Food, Torry Research Station, HMSO Press, Edinburgh.
- Kopeć A., Diakun J.** 2005. Kinetyka zmian masy i temperatury w procesie sublimacyjno-parowo-próżniowego rozmrażania mięsa. Inżynieria Rolnicza Nr 11(71), Komitet Techniki Rolniczej PAN, Warszawa. s. 251-258.

SETTING OUT THE DEGREE OF SUBLIMATION DEHYDRATION DURING SUBLIMATION-VACUUM-STEAM MEAT DEFROSTING PROCESS

Summary. Sublimation-vacuum-steam defrosting method is two-stage method. At the first, preliminary sublimation stage in the defrosted meat porous structure is produced. The second stage is vacuum-steam defrosting. At this stage steam penetrates the meat through the produced porous structure and while condensing it defrosts the product from the inside. The paper presents tests performed in order to determine the actual necessary degree of sublimation dehydration S_o ensuring generation of porous structure with such capacity, that at the second stage of the process, during which complete rehydration of the porous structure takes place, the meat sample becomes completely defrosted. Porous structure with such capacity was achieved with a degree of sublimation dehydration $S_o=12\%$.

Key words: sublimation-vacuum-steam defrosting, sublimation, porous structure, rehydration, defrosting leak, meat

Adres do korespondencji:

Adam Kopeć; e-mail: adam.kopec@tu.koszalin.pl
Katedra Inżynierii Spożywczej i Tworzyw Sztucznych
Politechnika Koszalińska
ul. Raławicka 15-17
75-620 Koszalin