

SZYBKOŚĆ SUBLIMACJI LODU SWOBODNEGO I LODU Z TUSZKI SZPROTA

Jarosław Diakun, Kamil Dolik, Adam Kopec
Politechnika Koszalińska

Streszczenie. W pracy zaprezentowano badania szybkości sublimacji lodu czystego oraz lodu z tuszek szprotów. Celem badań było określenie różnicy intensywności sublimacji lodu swobodnego i zawartego w strukturze komórkowej tuszki szprota. Badania realizowano w dwu etapach. W pierwszym sublimowano niezależnie próbki lodu i tuszki szprota. W drugim badano szybkość sublimacji dla obu próbek jednocześnie. Na podstawie wyników z pierwszego etapu badań stwierdzono, że obie próbki sublimowały w różnych warunkach, przez co nie można było wnioskować o porównywalności otrzymanych wyników. Stwierdzono natomiast liniowy charakter zmian masy, co pozwoliło obliczyć szybkość sublimacji na podstawie wyników drugiego etapu badań. Wyniki badań posłużyły do oceny możliwości wykorzystania innowacyjnej metody sublimacyjno-próżniowo-parowej w rozmrażaniu bloków tuszek szprotów.

Słowa kluczowe: metoda sublimacyjno-próżniowo-parowa, szybkość sublimacji, ubytek masy, szprot, rozmrażanie

WSTĘP

Rozmrażanie to proces, który przeprowadza się po przechowywaniu zamrażalniczym. Dąży się przez to do przywrócenia produktowi właściwości możliwie zbliżonych do tych sprzed jego zamrożenia [Jastrzębski 1991, Gruda i Postolski 1999]. Na przestrzeni lat opracowano wiele metod rozmrażania. Ogólnie można je podzielić na metody [Gruda i Postolski 1999, Postolski 2008, 2009]:

- z ogrzewaniem powierzchniowym, wykorzystujące takie media grzewcze jak powietrze, woda, olej, ciała stałe,
- z ogrzewaniem w objętości produktu, wykorzystujące promieniowanie magnetyczne o wysokiej częstotliwości.

Rozmrażanie to jeden z kluczowych procesów w przetwórstwie rybnym. Jego przebieg ma duży wpływ na jakość surowca, a następnie produktów. Jednym ze specyficznych zagadnień jest rozmrażanie ryb mrożonych w blokach. Prowadzenie tego procesu

Adres do korespondencji – Corresponding author: Jarosław Diakun, Katedra Procesów i Urządzeń Przemysłu Spożywczego, Politechnika Koszalińska, ul. Raławicka 15–17, 75-620 Koszalin, e-mail: jaroslaw.diakun@tu.koszalin.pl

wymaga innego podejścia niż w przypadku rozmrażania pojedynczych tuszek rybnych. Głównym celem jest tu bowiem doprowadzenie do rozpadu bloku na pojedyncze tuszki o temperaturze niższej niż 0°C, a nie rozmrożenie samych tuszek. Cel ten jest trudny do osiągnięcia, ponieważ w czasie tradycyjnego rozmrażania bloku poszczególne tuszki rybne znajdują się w różnych warunkach oddziaływania termicznego. Tuszki zewnętrznych warstw bloku są rozmrażane szybciej, przez co stają się podatne na niekorzystne zmiany biochemiczne i mikrobiologiczne, które rzutują na ich jakość. Szczególnie dotyczy to tuszek ryb o niewielkich rozmiarach, które ulegają bardzo szybkiemu rozmrożeniu w całej swojej objętości.

W przetwórstwie rybnym, w celu uniknięcia rozmrożenia tuszek ryb w bloku, stosuje się modyfikacje klasycznych metod rozmrażania. Przykładem jest tu modyfikacja metody zanurzeniowej polegająca na zastosowaniu wody lodowej. W blokach umieszczonych w zbiorniku wypełnionym wodą lodową dochodzi do roztopienia części lodu między tuszkami bez narażenia tuszek na temperatury wyższe niż 0°C. Wadą tej metody jest długi czas rozmrażania bloku, mogący sięgać nawet kilkunastu godzin.

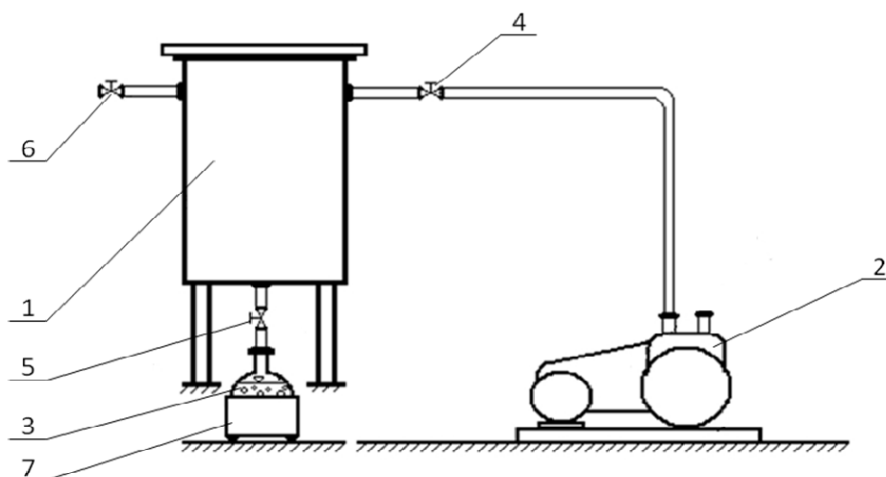
W celu skrócenia czasu rozmrażania bloku ryb przy zachowaniu dobrej jakości pozyskanych z niego tuszek opracowywane są nowe metody rozmrażania. Jedną z nich jest opracowana w Katedrze Procesów i Urządzeń Przemysłu Spożywczego na Politechnice Koszalińskiej metoda sublimacyjno-próżniowo-parowa. Stanowi ona innowacyjną modyfikację metody próżniowo-parowej, w której wprowadzono jako wstępny etap sublimację lodu. Etap ten ma na celu wytworzenie struktury porowatej w zawartej w produkcie masie lodu. Wytworzone pory umożliwiają intensyfikację wnikania pary wodnej do wnętrza produktu w drugim etapie procesu – zaparowaniu – i tym samym przyczyniają się do przyspieszenia wymiany ciepła między produktem i skraplającą się parą. Metoda sublimacyjno-próżniowo-parowa stanowi przedmiot zgłoszenia patentowego nr P. 372030. Dotychczas badano możliwości jej wykorzystania w rozmrażaniu mięsa [Kopeć 2008, Kopeć i Diakun 2005, 2007]. W przypadku wykorzystania jej do rozmrażania bloków tuszek szprotów przypuszcza się, że etap sublimacji spowoduje powstanie struktury porowatej w lodzie wypełniającym przestrzenie między tuszkami, natomiast lód w tuszkach zostanie naruszony w znikomym stopniu (dzięki naturalnej barierowości struktur biologicznych, np. skóry ryb). Wytworzenie struktury porowatej pomiędzy tuszkami przyspieszy rozmrażanie za pomocą pary wodnej i umożliwi rozkolejenie bloku na pojedyncze tuszki o temperaturze nie wyższej niż 0°C.

CEL I ZAKRES BADAŃ

Założono, że lód swobodny zawarty w bloku będzie sublimował szybciej niż lód zawarty w komórkowych strukturach tuszek ryb. Dzięki temu podczas rozmrażania metodą sublimacyjno-próżniowo-parową na etapie sublimacji struktura porowata będzie tworzyć się w przestrzeniach między tuszkami, natomiast lód zawarty w tuszkach pozostanie nienaruszony.

MATERIAŁY I METODY

Ogólny schemat stanowiska badawczego przedstawiono na rysunku 1.



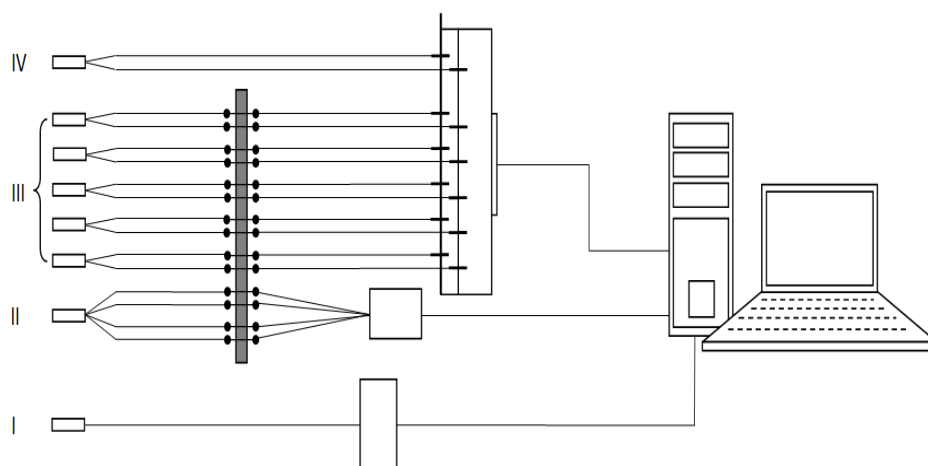
Rys. 1. Schemat stanowiska badawczego: 1 – komora próżniowa, 2 – pompa próżniowa BL-15, 3 – generator pary, 4 – zawór odcinający pompę, 5 – zawór odcinający generator pary, 6 – zawór wpustowy powietrza, 7 – płaszcz grzejny

Fig. 1. Scheme of research stand: 1 – vacuum chamber, 2 – BL-15 vacuum pump, 3 – steam generator, 4 – pump valve, 5 – steam generator valve, 6 – air inlet valve, 7 – heating mantle

W badaniach wykorzystano specjalnie skonstruowaną komorę próżniową połączoną z pompą próżniową BL-15 oraz generatorem pary wodnej o pojemności 1 litra. Komora próżniowa wykonana jest ze stali nierdzewnej i posiada uszczelniane wloty, przez które można wprowadzać do jej wnętrza aparaturę pomiarową. Pokrywą komory stanowi szklana płyta umożliwiającą obserwację zachowania się próbek podczas testu.

Schemat połączeń aparatury pomiarowej przedstawiono na rysunku 2. Wielkościami mierzonymi podczas badań były zmiany ciśnienia i temperatury w komorze oraz zmiany masy próbek. Do pomiaru ciśnienia wykorzystano czujnik Piraniego typ RG-10, współpracujący z ciśnieniomierzem MP 211. Temperatura wewnątrz komory była mierzona za pomocą termopar typu K (NiCr - NiAl) podłączonych do terminalu zaciskowego PCLD 8710. Zmiany masy próbek rejestrowano dzięki tensometrowi Tedeo-Huntleigh 1022 współpracującemu z modułem wagowym PUE C31. Aparaturę pomiarową obsługiwano z poziomu stacji roboczej, na której zainstalowano oprogramowanie LabView. Specjalnie utworzona w oprogramowaniu LabView aplikacja pozwoliła na ciągłą rejestrację zmian mierzonych wielkości i zapisywanie wyników w postaci plików, które można bez problemu otworzyć w programach typu Microsoft Excel i Matlab. Ponadto w badaniach wykorzystano wagę laboratoryjną WPS 210.

Badania przeprowadzono na próbkach lodu czystego (rys. 3b) i mrożonych tuszkach szprotów (rys. 3a). Próbki lodu przygotowano w taki sposób, aby kształtem i masą odpowiadały wykorzystanym próbkom ryb. W tym celu wykonano odpowiednie formy, które wypełniono wodą. Świeże tuszki szprotów zakupiono w przetwórnicy ryb w Darłowie. Do badań wybrano tuszki nieuszkodzone, o masie około 15 g każda. Zarówno formy wypełnione wodą, jak i tuszki szprotów zamrożono konwekcyjnie w temperaturze -30°C .



Rys. 2. Schemat torów pomiarowych: I – tor pomiaru ciśnienia, II – tor pomiaru masy próbki, III – tory pomiaru temperatur w komorze i w próbkach, IV – tor pomiaru temperatury w generatorze pary

Fig. 2. Scheme of measuring circuits: I – pressure measuring circuit, II – sample mass measuring circuit, III – temperature in chamber and samples temperature measuring circuits, IV – measuring circuits of temperature in steam generator



Rys. 3. Próbki wykorzystane w badaniach: a – tuszka szprot, b – próbka lodu

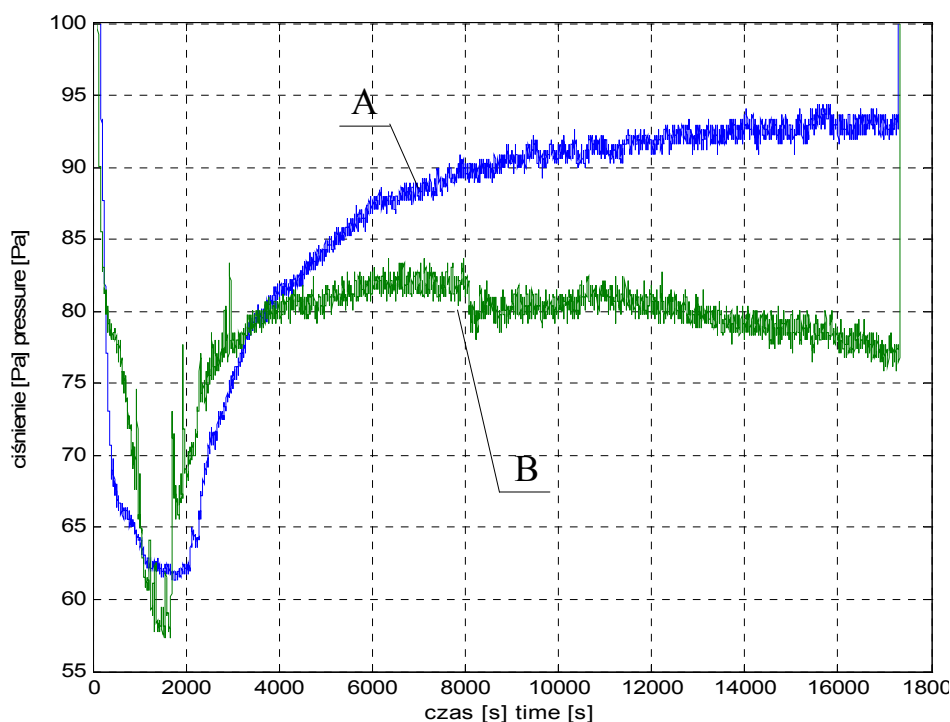
Fig. 3. Samples used in the research: a – sprat carcass, b – sample of ice

W pierwszym etapie badań wewnątrz komory umieszczano pojedynczą próbkę lodu bądź ryby. Próbka była zawieszana na czujniku zmiany masy TH 1022. Po zawieszeniu próbki zamykano pokrywę komory, uruchamiano pompę i oprogramowanie rejestrujące. Następnie otwierano zawór odcinający pompę i rejestrowano zmiany ciśnienia i temperatury w komorze oraz zmiany masy próbki w czasie 5 godz. Po zakończeniu sublimacji zamykano zawór odcinający pompę i zapisywano zarejestrowane dane. Badania wykonano w trzech powtórzeniach dla lodu i trzech powtórzeniach dla tuszek szprotów.

W drugim etapie badań w komorze umieszczano jednocześnie próbkę lodu i tuszkę szprota. Następnie otwierano zawór odcinający pompę i przeprowadzano sublimację, rejestrując ciśnienie i temperaturę panujące w komorze. Po zakończeniu sublimacji komorę zapowietrzano, wyjmowano próbki i dokonywano ich natychmiastowego ważenia na wadze laboratoryjnej WPS 210. Pomiaru wykonano w pięciu powtórzeniach.

WYNIKI I DISKUSJA

Na rysunku 4 zestawiono rezultaty pomiaru zmian ciśnienia w komorze zarejestrowane w pierwszym etapie badań.

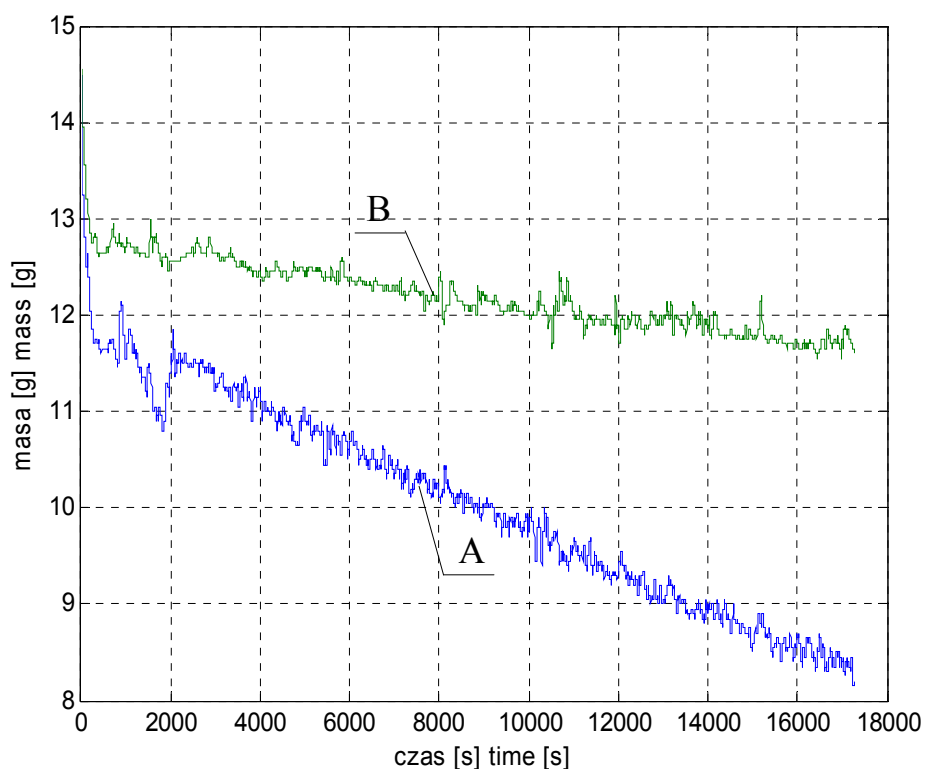


Rys. 4. Wyniki rejestracji zmian ciśnienia w komorze w pierwszym etapie badań: A – dla lodu swobodnego, B – dla tuszki szprota

Fig. 4. Pressure changes measurement results in the first research stage: A – free ice, B – sprat carcass

Zauważono różnice w przebiegach zmian ciśnienia w zależności od rodzaju próbki umieszczonej w komorze. Podczas sublimacji próbki lodu swobodnego ciśnienie w komorze ciągle wzrastało. Przyczyną tego był szybki ubytek wody z próbki, który mógł powodować spadek wydajności pompy próżniowej. W trakcie sublimacji zauważono obkurczanie się próbki lodu i powstawanie na jej powierzchni warstwy glazury. W czasie sublimacji tuszki szprotki ciśnienie w komorze ulegało ciągłemu obniżaniu. Tuszki umieszczane w komorze pokryte były niewielką warstwą glazury, która zniknęła w ciągu pierwszej godziny sublimacji. W kolejnych godzinach nie zauważano istotnych zmian w wyglądzie próbek. Ponieważ skóra szprotki skutecznie ograniczała ewakuację wilgoci z wnętrza tuszki, pompa próżniowa mogła wytworzyć niższe ciśnienie. Z przeprowadzonych badań wynika, że próbki lodu i tuszki sublimowane były w różnych warunkach. Tuszka szprotki sublimowana była przy niższym ciśnieniu.

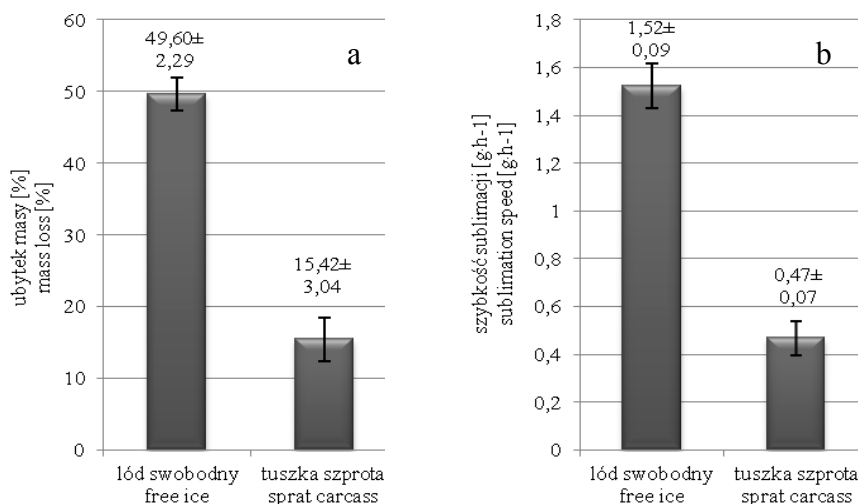
Przykładowe wyniki pomiaru zmian masy zestawiono na rysunku 5.



Rys. 5. Wyniki rejestracji zmian masy próbek w pierwszym etapie badań: A – dla lodu swobodnego, B – dla tuszki szprotki

Fig. 5. Samples mass changes measurement results in the first research stage: A – free ice, B – sprat carcass

Ze względu na różne warunki sublimacji lodu i tuszki szprota nie można wnioskować o porównywalnej szybkości odsublumowania. Wnioskiem z tego etapu badań jest stwierdzenie, że w badanym zakresie występuje liniowy spadek ubytku wody (masy próbki) zarówno dla próbki lodu, jak i dla tuszki szprota (rys. 5).



Rys. 6. Rezultaty drugiego etapu badań: a – ubytek masy lodu, b – szybkość sublimacji
Fig. 6. The second research stage results: a – ice mass loss, b – sublimation rate

W drugim etapie badań w komorze znajdowały się jednocześnie próbka lodu i tuszki, zatem zachowane zostały te same warunki dla obydwu próbek. Podczas pięciogodzinnej sublimacji lodu swobodnego ubywało średnio 7,5 g z początkowej masy próbki (~ 49,6%), natomiast podczas sublimacji tuszki szprota ubytek masy wynosił średnio 2,3 g na próbkę (~15,4%). Znając początkową i końcową masę próbek, oraz wykorzystując wniosek z pierwszego etapu badań o liniowym spadku masy, wyznaczano szybkość sublimacji próbek dla tych samych warunków. Rezultaty drugiego etapu badań zestawiono na rysunku 6a (ubytek masy lodu w %) oraz 6b (szybkość sublimacji). Wynika stąd, że próbki lodu swobodnego sublimowały ponad trzykrotnie szybciej niż lód zawarty wewnątrz tuszek. Szybkość sublimacji lodu swobodnego wyniosła średnio 1,52 g·h⁻¹, natomiast szybkość sublimacji lodu z tuszki szprota 0,47 g·h⁻¹.

WNIOSKI

Przeprowadzone badania wykazały, że podczas sublimacji w tych samych warunkach ciśnienia i temperatury lód swobodny sublimuje ponad trzykrotnie szybciej niż lód zawarty wewnątrz tuszki.

Otrzymane wyniki pozwalają przypuszczać, że podczas rozmrażania bloków tuszek szprotów metodą sublimacyjno-próżniowo-parową na etapie sublimacji uda się wytworzyć strukturę porowatą w lodzie wypełniającym przestrzeń między tuszkami.

PODZIĘKOWANIA

Praca naukowa współfinansowana przez Unię Europejską w ramach Europejskiego Funduszu Społecznego i Budżetu Państwa, Programu Operacyjnego Kapitał Ludzki Priorytetu VIII, Działanie 8.2 Transfer wiedzy Poddziałanie 8.2.2 „Regionalne Strategie Innowacji”, projektu systemowego realizowanego przez Wojewódzki Urząd Pracy w Szczecinie „Inwestycja w wiedzę motorem rozwoju innowacyjności w regionie – II edycja”.

PIŚMIENNICTWO

- Kopeć A., 2008. Czas rozmrażania i rehydracji w procesie rozmrażania mięsa metodą sublimacyjno-próżniowo-parową. *Inż. Apar. Chem.* 6, 109–110.
- Kopeć A., Diakun J., 2005. Kinetyka zmiany masy i temperatury w procesie sublimacyjno-parowo-próżniowego rozmrażania mięsa. *Inż. Roln.* 11, 251–258.
- Kopeć A., Diakun J., 2007. Wyznaczenie stopnia odwodnienia sublimacyjnego w procesie sublimacyjno-próżniowo-parowego rozmrażania mięsa. *Inż. Roln.* 5, 229–236.
- Gruda Z., Postolski J., 1999. *Zamrażanie żywności*. WNT Warszawa.
- Jastrzębski W., 1991. *Technologia chłodnicza żywności*. WSiP Warszawa.
- Postolski J., 2008. Prawie wszystko o... Technologii chłodniczej żywności (33) 5. Wykorzystanie mrożonej żywności. 5.2. Tradycyjne techniki rozmrażania przemysłowego. *Techn. Chłodnicza Klimatyzacyjna* 10, 428–433.
- Postolski J., 2009. Prawie wszystko o... Technologii chłodniczej żywności (33) 5. Wykorzystanie mrożonej żywności. 5.3. Niekonwencjonalne techniki rozmrażania. *Techn. Chłodnicza Klimatyzacyjna* 1, 26–29.

THE SUBLIMATION RATE SPEED OF FREE ICE AND ICE FROM THE SPRAT CARCASS

Abstract. In this work an research of sublimation rate of free ice and ice from sprat carcasses was presented. The aim of this study was to determine how fast the free ice will sublime comparing to ice in cell structure of sprat carcasses. The study was divided into two stages. In the first stage the free-ice sample and sprat carcass was sublimated separately. In the second stage the sublimation rate was tested for both samples at the same time. Based on the results of the first stage of research it was found that both samples sublimated under different conditions and the results from this stage was not comparable. We found a linear character of the weights changes, which made it possible to calculate the rate of sublimation from the results of the second stage of the study. The results were used to evaluate the possibility of using innovative sublimation-vacuum-steam method to thawing the blocks of sprat carcasses.

Key words: sublimation-vacuum-steam method, sublimation rate, weight loss, sprat carcasses, thawing