

Adam KOPEĆ, Kamil DOLIK, Anna LIPIECKA  
Katedra Procesów i Urządzeń Przemysłu Spożywczego  
Politechnika Koszalińska

## Czas rozmrażania, ubytek masy, zmiany sztywności i sprężystości tkanki mięśniowej śledzi rozmrażanych różnymi metodami

### Streszczenie

W pracy przedstawiono wyniki badań czasu rozmrażania, ubytku masy, zmian sztywności i sprężystości tuszek śledzi rozmrażanych trzema metodami: w wilgotnym powietrzu stojącym, w powietrzu nasyconym parą wodną oraz w powietrzu nasyconym parą wodną z konwekcją wymuszoną. W badaniach sztywności i sprężystości tkanki mięśniowej wykorzystano teksturometr TMS-Pro firmy Food Technology Corporation. Na podstawie uzyskanych wyników stwierdzono, że najbardziej efektywną metodą rozmrażania pod względem badanych cech było rozmrażanie w powietrzu nasyconym parą wodną przy zastosowaniu konwekcji wymuszonej. Metoda ta charakteryzowała się najkrótszym czasem rozmrażania i względnie małym ubytkiem masy bloku.

**Słowa kluczowe:** śledzie, czas rozmrażania, ubytek masy, sztywność, sprężystość

## Thawing time, weight loss, stiffness and springiness changes of herring muscles thawed by different methods

### Summary

In the work a thawing time, weight loss and stiffness and springiness changes of thawing herring were presented. The herring were thawed by three methods: in the humid standing air, in the steam saturated air and in the steam saturated air with forced convection. In the investigation of stiffness and springiness of herring muscles a Food Technology Corporation's TMS-Pro texturemeter was used. Based on the test results it was concluded that the most effective thawing method was the method in the steam saturated air with forced convection. This method was characterized by the shortest thawing time and relatively little weight loss of the block.

**Key words:** herring, thawing time, weight loss, stiffness, springiness

### Wstęp

Rozmrażanie jest jednym z najbardziej istotnych procesów w przemyśle spożywczym – w tym w przetwórstwie rybnym, gdzie często operuje się na surowcu zamrożonym (Sikorski 2004). Proces ten polega na zmianie stanu wody zawartej w produkcie ze stałego w ciekły w wyniku stopniowego podwyższenia temperatury produktu poprzez doprowadzenie energii cieplnej z zewnątrz. Efektem końcowym rozmrażania jest przywrócenie produktowi właściwości możliwie zbliżonych do tych, które posiadał on przed zamrożeniem. Aby ten efekt był możliwy do uzyskania, ważne jest prowadzenie rozmrażania w prawidłowy sposób – stosownie do rodzaju rozmrażanego produktu należy dobrać odpowiednią metodę oraz wartości parametrów odpowiadających za przebieg rozmrażania (Jastrzębski 1991; Zhu 2004; Zin 2009) Pomimo opracowania różnych metod rozmrażania, w tym metod umożliwiających ogrzewanie produktu w całej jego objętości, wciąż wykorzystywane jest klasyczne rozmrażanie w powietrzu (Postolski 2008). Powszechnie stosuje się w wilgotnym powietrzu stojącym, w powietrzu nasyconym parą wodną. Rozmrażanie w powietrzu wilgotnym realizowane jest na halach produkcyjnych w specjalnie wydzielonych miejscach, natomiast rozmrażanie w powietrzu nasyconym parą wodną realizuje się w specjalnych komorach wyposażonych w układ wtłokowy pary wodnej. W żadnej z obu wymienionych metod nie jest wykorzystywany wymuszony ruch powietrza (konwekcja wymuszona), jako czynnik intensyfikujący wymianę ciepła. Biorąc powyższe pod uwagę autorzy artykułu postanowili wykonać badania porównawcze różnych metod roz-

mrażania w powietrzu w celu wskazania wpływu wilgotności i konwekcji wymuszonej powietrza na wybrane cechy procesowe i jakościowe.

Na jakość rozmrażanych produktów mają wpływ takie czynniki jak: jakość surowca poddawanego zamrażaniu, metoda zamrażania, warunki przechowywania i metoda rozmrażania (Li, Sun 2002). W ocenie jakości rozmrażanych ryb zwraca się uwagę na takie wyróżniki, jak: zapach, wygląd, sztywność i sprężystość tkanki mięśniowej (PN-86/A-86767). Wyróżniki te ocenia się sensorycznie. W ostatnich latach powszechne stało się wykorzystanie metod instrumentalnych do oceny mechanicznych parametrów tekstury. Metody instrumentalne są szybkie, nie wymagają zatrudnienia zespołu przeszkolonych fachowców i pozwalają na otrzymanie obiektywnych i powtarzalnych wyników (Nollet i in. 2008). W niniejszej pracy autorzy do oceny cech tekstury ryb wykorzystali instrumentalny test penetracji.

### Cel badań

Celem badań było porównanie metod rozmrażania w powietrzu pod względem cech procesowych (czas rozmrażania) i jakościowych (ubytek masy, zmiany sztywności i sprężystości) tkanki mięśniowej śledzi mrożonych w blokach. Porównano następujące metody rozmrażania:

- w wilgotnym powietrzu stojącym,
- w powietrzu nasyconym parą wodną,
- w powietrzu nasyconym parą wodną z konwekcją wymuszoną.

W celu pozyskania danych porównawczych zmian sztywności i sprężystości tkanki mięśniowej śledzi wykonano próby na świeżych tuskach.

### Materiał badawczy

Materiałem badawczym były świeże śledzie bałtyckie (*Clupea harengus membran*), które po wypatroszeniu i odgłowieniu, zamrożono w blokach 6 godzin po śnięciu. Pojedynczy blok składał się z trzech warstw tuszek, po cztery sztuki w warstwie. Tuszki były układane i mrożone w pojemnikach o wymiarach 160 x 120 x 60 mm, naprzemiennie (rys. 1).



Rys. 1. Blok tuszek śledzi przed zamrożeniem

Fig. 1 Block of herring before the freezing

Każdy blok ważono osobno (masa jednego wynosiła 800 g +/- 5 g). Mrożenie odbywało się w szafie klimatyzacyjnej niskich temperatur typu T 12,5/01,1, temperatura docelowa wynosiła -30°C. Po dwóch tygodniach bloki wybito z pojemników, owinięto folią spożywczą PE-LD i ponownie wstawiono do komory zamrażalniczej. Dzień przed rozpoczęciem każdej próby badawczej w wykorzystywanym bloku wywiercano otwory, w których umieszczano termopary typu K (NiCr-NiAl) służące do rejestracji zmian temperatury w czasie rozmrażania. Badaniom poddano łącznie 12 bloków, po 3 bloki na metodę rozmrażania.

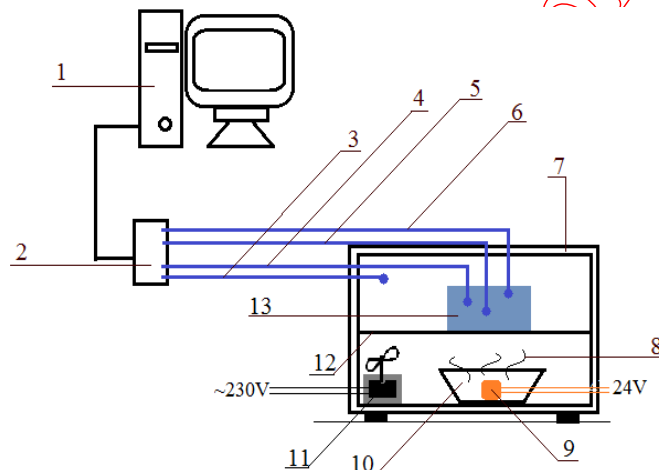
### Stanowisko badawcze i metodyka badań

Schemat stanowiska wykorzystanego do pomiaru czasu rozmrażania przedstawiono na rysunku 2. Do pomiaru ubytku masy rozmrażanych bloków wykorzystano wagę laboratoryjną RADWAG WPS1200/C, a do pomiaru zmiany sztywności i sprężystości tuszek wykorzystano teksturometr TMS-Pro wyprodukowany przez firmę Food Technology Corporation.

Poszczególne próby prowadzono według następujących punktów:

- przygotowanie stanowiska badań - komputera i karty pomiarowej;
- zważenie bloku przed rozmrożeniem;
- podłączenie termopar do karty pomiarowej;
- umieszczenie bloku w komorze rozmrażalniczej (wyposażonej w piezoelektryczny generator pary w przypadku prób w powietrzu nasycenym parą wodną i wentylatorem w przypadku prób dotyczących rozmrażania z konwekcją wymuszoną);
- włączenie aparatury pomiarowej i rejestracja zmian temperatury w bloku;
- zakończenie procesu rozmrażania z chwilą osiągnięcia temperatury ok. 0°C w centrum;

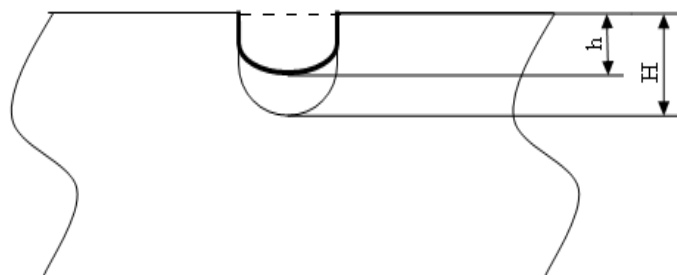
- przeprowadzenie pomiarów: masy rozmrożonego bloku, głębokości ugięcia tuszki ryby pod obciążeniem oraz głębokość jej odkształcenia po odjęciu obciążenia.



Rys. 2. Schemat stanowiska do rozmrażania bloków ryb w powietrzu. Oznaczenia: 1 - stacja robocza z kartą pomiarową, 2 - terminal zaciskowy, 3 - termopara do pomiaru temperatury w komorze, 4 - termopara do pomiaru temperatury w warstwie środkowej bloku, 5 - termopara do pomiaru temperatury w centrum bloku, 6 - termopara do pomiaru temperatury przy powierzchni bloku, 7 - komora rozmrażająca, 8 - para wodna, 9 - generator pary, 10 - zbiornik z wodą, 11 - wentylator, 12 - kratka utrzymująca produkt, 13 - blok ryb

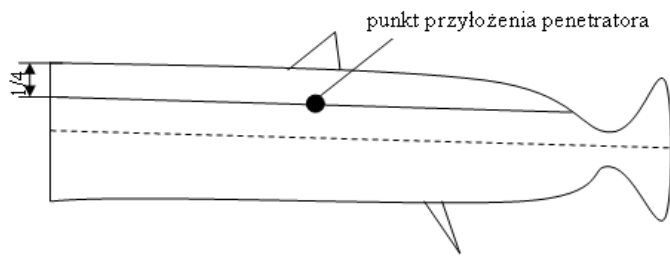
Fig. 2. Fish block in-air thawing stand scheme. 1 - workstation with measurement card, 2 - terminal, 3 - thermocouple to temperature measurement in the chamber, 4 - thermocouple to temperature measurement in the block centre layer, 5 - thermocouple to temperature measurement in the block centre, 6 - thermocouple to temperature measurement on the block surface, 7 - thawing chamber, 8 - steam, 9 - steam generator, 10 - water reservoir, 11 - fan, 12 - fish block holder, 13 - fish block

Jako parametr charakteryzujący sztywność tkanki mięśniowej przyjęto głębokość ugięcia tuszki pod obciążeniem ( $H$ ), natomiast sprężystość scharakteryzowano jako głębokość odkształcenia po odjęciu obciążenia ( $h$ ), co schematycznie przedstawiono na rysunku 3. Do określenia tych parametrów wykorzystano teksturometr TMS-Pro. Na rybę oddziaływano obciążeniem o wartości 20 N, imitując nacisk palca wskazującego ludzkiej dłoni i mierzono głębokość powstałego odkształcenia. Penetratorem wykorzystanym w badaniu był walec o średnicy 12,8 mm i długości 41,6 mm, wykonany ze stali nierdzewnej. Głębokość odkształcenia ( $h$ ) mierzono 15 sekund po odjęciu obciążenia. Miejscem nacisku penetratora był punkt pod płetwą grzbietową (rys. 4). Wyniki zostały zarejestrowane w programie Texture Lab Pro Software.



Rys. 3. Schemat pomiaru ugięcia tuszki pod obciążeniem:  $H$  - sztywność oraz głębokość odkształcenia po odjęciu obciążenia,  $h$  - sprężystość

Fig. 3. Scheme of carcass under load deflection:  $H$  - stiffness and deflection depth after load removal,  $h$  - springiness



Rys. 4. Miejsce przyłożenia penetratora podczas badania głębokości ugięcia i odkształcenia tuszki śledzia

Fig. 4. The penetrator application place during the research of herring carcasses deflection and strain depth

Błąd oznaczeń wyliczono na podstawie przedziału ufności wyznaczonego w oparciu o teorię estymacji przedziałowej z wykorzystaniem rozkładu *t*-Studenta, dla poziomu ufności  $\alpha = 0,05$  i ilości oznaczeń w serii: dla ubytków masy  $n = 3$ , dla parametrów określających sztywność i sprężystość  $n = 18$ . Obliczony błąd oznaczeń przedstawiono graficznie na wykresach.

### Wyniki badań

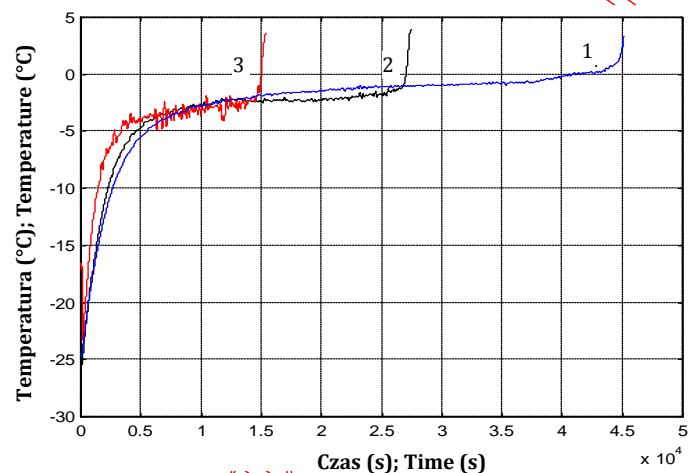
Na rysunku 4 zestawiono zmiany temperatury wewnątrz bloku podczas rozmrażania trzema metodami. Z zestawienia wynika, że najszybszą metodą rozmrażania była metoda w powietrzu nasyconym parą wodną z konwekcją wymuszoną (4,17 h). Wolniej rozmrażał się blok w powietrzu nasyconym parą wodną (7,5 h). Najwolniej rozmrażał się w wilgotnym powietrzu stojącym (12,5 h) – co stanowi ponad trzykrotnie dłuższy czas w porównaniu do metody pierwszej (powietrze nasycone parą wodną i konwekcja wymuszona).

Wyniki pomiaru ubytku masy rozmrażanych bloków zestawiono na rysunku 6. Największy ubytek masy wystąpił podczas rozmrażania w warunkach wilgotnego powietrza stojącego (2,48%), natomiast najmniejszy podczas rozmrażania w powietrzu nasyconym parą wodną (1,08%). Przyczyną większych ubytków masy w przypadku rozmrażania w wilgotnym powietrzu stojącym był długi czas rozmrażania oraz brak nasycenia powietrza parą wodną, co mogło sprzyjać powstawaniu ususzki rozmrażalniczej. Krótszy czas rozmrażania oraz nasycenie powietrza parą wodną spowodowały ograniczenie parowania z powierzchni rozmrażanej próbki.

Analizując słupki błędów pomiarowych przedstawionych na rysunku 6 stwierdzono, że istotne różnice statystyczne w wartościach ubytku masy bloków wystąpiły pomiędzy rozmrażaniem w powietrzu stojącym i rozmrażaniem w powietrzu nasyconym parą wodną.

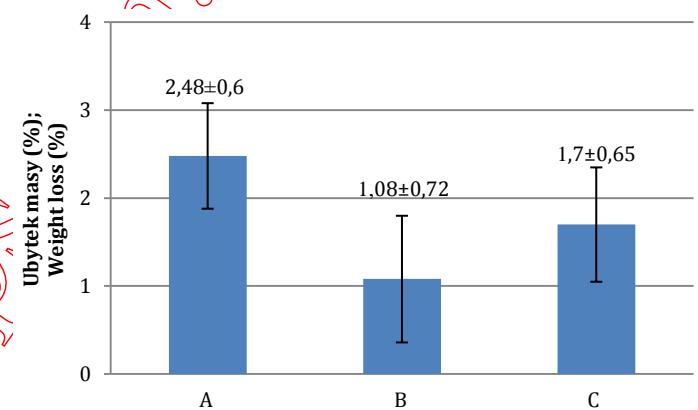
Rysunek 7 przedstawia wyniki pomiaru głębokości ugięcia pod wpływem obciążenia (sztywność), natomiast rysunek 8 wielkość odkształcenia po odjęciu obciążenia (sprężystość). W przypadku wszystkich metod rozmrażania wystąpiły różnice głębokości ugięcia tkanki mięśniowej pod wpływem przyłożonej siły (*H*) oraz głębokości odkształcenia po odjęciu siły (*h*) co do wartości średnich, ale nie stwierdzono różnic istotnych statystycznie. Różnice istotne statystycznie stwierdzono tylko w przypadku porównania ryb rozmrożonych ze świeżymi. Mniejszymi odkształceniami (*H*, *h*) charakteryzowały się ryby świeże w porównaniu do ryb zamrażanych, a następnie rozmrażanych. Stwierdzono, że w wyniku obróbki chłodniczej

mięso ryb utraciło swoją pierwotną sztywność oraz zdolność odzyskiwania kształtu pod odjęciem obciążenia.



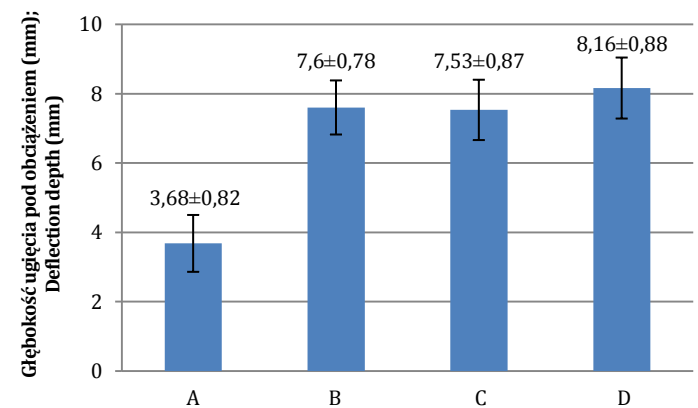
Rys. 5. Zestawienie zmian temperatur wewnątrz bloków rozmrażanych: 1 – w powietrzu stojącym, 2 – w powietrzu nasyconym parą wodną, 3 – w powietrzu nasyconym parą wodną z konwekcją wymuszoną

Fig. 5. The temperature changes in the centre of thawed block: 1 – standing air, 2 – steam saturated air, 3 – steam saturated air with forced convection



Rys. 6. Wyniki pomiaru ubytku masy rozmrażanych bloków: A – powietrze, B – powietrze nasycone parą wodną, C – powietrze nasycone parą wodną z konwekcją wymuszoną

Fig. 6. Results of thawing blocks weight loss measurement: A – standing air, B – steam saturated air, C – steam saturated air with forced convection



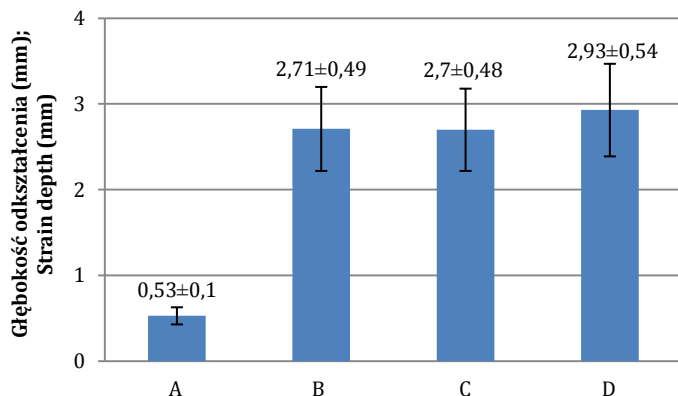
Rys. 7. Wyniki pomiaru głębokości ugięcia pod wpływem obciążenia: A – ryba świeża, B – powietrze stojące, C – powietrze nasycone parą wodną, D – powietrze nasycone parą wodną z konwekcją wymuszoną

Fig. 7. Deflection depth measurement results: A – fresh fish, B – standing air, C – steam saturated air, D – steam saturated air with forced convection



## Podsumowanie

Na podstawie przeprowadzonych badań wywnioskowano, że najbardziej efektywną metodą rozmrażania bloku tuszek śledzi była metoda w powietrzu nasyconym parą wodną i z zastosowaniem konwekcji wymuszonej, ponieważ charakteryzowała się ona najkrótszym czasem rozmrażania bloku przy względnie niedużym ubytku jego masy.



Rys. 8. Wyniki pomiaru głębokości odkształcenia po odjęciu obciążenia: A – ryba świeża, B – powietrze stojące, C – powietrze nasycone parą wodną, D – powietrze nasycone parą wodną z konwekcją wymuszoną

Fig. 8. Strain depth measurement results: A – fresh fish, B – standing air, C – steam saturated air, D – steam saturated air with forced convection

Rozmrażanie w powietrzu nasyconym parą wodną było o 40%, a w powietrzu nasyconym parą wodną z konwekcją wymuszoną aż o 67% szybsze niż rozmrażanie w wilgotnym powietrzu stojącym.

Pomiędzy zastosowanymi metodami rozmrażania nie stwierdzono różnic istotnych statystycznie dla parametrów określa-

jących sztywność i sprężystość tkanki mięśniowej. Różnica taka wystąpiła tylko w porównaniu ryb świeżych i poddanych obróbce zamrażaniu i rozmrażaniu, co świadczy o istotnym obniżeniu jakości surowca spowodowanym obróbką zamrażalniczą.

## Bibliografia

1. Gruda Z., Postolski J. 1999. *Zamrażanie żywności*. Warszawa, Wydawnictwo Naukowo-Techniczne, ISBN: 83-204-2332-5.
2. Jastrzębski W. 1991. *Technologia chłodnicza żywności*. Warszawa, Wydawnictwo Szkolne i Pedagogiczne, ISBN: 83-02-04436-9.
3. Nollet L. M. L., Toldra F. 2008. *Handbook of Muscle Food Analysis*, CRC Press, ISBN: 978-1-4200-4529-1.
4. PN-86/A-86767 *Ryby i inne zwierzęta wodne świeże i mrożone - Wspólne wymagania i badania*.
5. Postolski J. 2008. *Prawie wszystko o... Technologiach chłodniczej żywności (34) 5. Wykorzystanie mrożonej żywności. 5.2. Tradycyjne techniki rozmrażania przemysłowego*. Technika Chłodnicza i Klimatyzacyjna, 10, 428 – 433.
6. Sikorski Z. E. 2004. *Ryby i bezkręgowce morskie*. Warszawa, Wydawnictwo Naukowo-Techniczne, ISBN: 83-204-2867-X.
7. Li B., Sun D.-W. 2002. *Novel methods for rapid freezing and thawing of foods – a review*. Journal of Food Engineering, 54(3), 175 – 182.
8. Zhu S., Ramaswamy H.S., Simpson B.K. 2004. *Effect of high-pressure versus conventional thawing on color, drip loss and texture of Atlantic salmon frozen by different methods*. LWT - Food Science and Technology, 37(3), 291 – 299.
9. Zin M., (red). 2009. *Ocena żywności i żywienia*. Rzeszów. Wydawnictwo Uniwersytetu Rzeszowskiego, ISBN: 978-83-7338-490-3.

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”.

Adam Kopeć, Kamil Dolik,  
Katedra Procesów i Urządzeń Przemysłu Spożywczego  
Politechnika Koszalińska  
[adam.kopec@tu.koszalin.pl](mailto:adam.kopec@tu.koszalin.pl)  
[k.d.dolik@gmail.com](mailto:k.d.dolik@gmail.com)