

# APARATURA

## BADAWCZA I DYDAKTYCZNA

### **Poprawność lokalizacji strefy najmniejszego dogrzenia a jakość i bezpieczeństwo żywności utrwalanej termicznie**

ŁUKASZ CZYŻEWSKI, MACIEJ SZCZEPKA, IRENEUSZ MIZGALSKI, ALICJA STASIAK  
CENTRALNY OŚRODEK BADAWCZO ROZWOJOWY APARATURY BADAWCZEJ I DYDAKTYCZNEJ  
COBRABID Sp. z o.o.

**Słowa kluczowe:** sterylizacja, strefa najmniejszego dogrzenia, wieloczujnikowa sonda temperatury

#### **STRESZCZENIE:**

W pracy opisano pomiar procesów sterylizacji dwóch produktów – sosu bolońskiego w opakowaniu szklanym oraz fasoli czerwonej w stalowej puszcze, przy wykorzystaniu opracowanej w COBRABiD sp. z o.o. wieloczujnikowej sondy temperatury. Badania dotyczyły różnic zmierzonych wartości sterylizacyjnych w zależności od odległości między elementem pomiarowym sondy temperatury a strefą najmniejszego dogrzenia w przetworze. Uzyskane podczas pomiarów rezultaty pozwoliły na eksperymentalne wyznaczenie strefy najmniejszego dogrzenia, która znajdowała się w najbliższym otoczeniu elementu pomiarowego umieszczonego najgłębiej w produkcie. Wieloczujnikowa sonda temperatury umożliwiła dokładną analizę rozkładu temperatury w obrębie wsadu poddanego procesowi sterylizacji, co w zdecydowany sposób ograniczyło liczbę koniecznych do wykonania pomiarów przy wykorzystaniu tradycyjnych sond jednoczujnikowych.

### **Correctness location the least-heat zone and quality and safety of thermally preserved food**

**Keywords:** sterilization, least-heat zone, multi-sensor temperature probe

#### **ABSTRACT:**

This paper describes the sterilization processes of two products – the Bolognese sauce in a glass packaging and red beans in a steel can with the use of the multi-sensor temperature probe developed in COBRABiD Ltd. The research concerned the differences of the measured sterilization values depending on the distance of the temperature probe measuring element from the least-heat zone in the product. The results obtained during the measurements allowed for the experimental determination of the zone of the smallest heating, which was located in the immediate vicinity of the measuring element placed deepest in the product. The multi-sensor temperature probe made it possible to accurately analyze the temperature distribution within the charge subjected to the sterilization process, which significantly reduced the number of measurements necessary to perform using the traditional single sensor probes.

## 1. WPROWADZENIE

Wzrastająca świadomość konsumentcka [1], konkurencyjność rynku oraz różnorodność asortymentu oferowanego przez zakłady spożywcze wpływają na konieczność dokładnego monitorowania procesów termicznego utrwalania żywności w celu zachowania odpowiedniej jakości wyrobów. Na ocenę jakościową produktu wpływają takie czynniki jak: zdrowotność (w tym bezpieczeństwo), atrakcyjność sensoryczna i dyspozycyjność. Dostarczenie konsumentowi żywności o oczekiwanej jakości wiąże się ze stworzeniem i stosowaniem odpowiednich systemów zarządzania jakością, odnoszących się nie tylko do wytwarzanego wyrobu, ale do procesowej organizacji całego przedsiębiorstwa [2].

Zakłady specjalizujące się w produkcji żywności, w celu przedłużenia jej trwałości stosują często metody termicznego utrwalania. Do powszechnie występujących należą m.in. procesy sterylizacji i pasteryzacji. Idea tych metod jest podobna, różnią się m.in. parametrami i sposobem prowadzenia procesu. Podczas procesu pasteryzacji produkt zostaje ogrzany do temperatury nie przekraczającej 100°C (najczęściej 65-85°C) w celu inaktywacji drobnoustrojów chorobotwórczych oraz form wegetatywnych innych drobnoustrojów. Z kolei sterylizacja prowadzi do całkowitego zniszczenia wszelkich form drobnoustrojów (zarówno wegetatywnych, jak i przetrwalnikujących) [3]. Odpowiednio przeprowadzona pasteryzacja lub sterylizacja powinna zapewnić trwałość mikrobiologiczną produktu przy jednoczesnym zminimalizowaniu niepożądanych zmian związanych z obróbką cieplną produktu (wyciek cieplny, straty witamin, obniżenie wartości odżywczej) [4]. Parametrem charakteryzującym dany proces jest odpowiednio dla pasteryzacji – wartość pasteryzacyjna  $P_0$ , a dla sterylizacji – wartość sterylizacyjna  $F_0$ . Oba te parametry określają stopień wyjałowienia badanego produktu. Wyrażone w minutach wskazują czas, w jakim produkt byłby utrzymany w temperaturze odniesienia dla danego rodzaju procesu cieplnego utrwalania: sterylizacji – 121,1°C lub pasteryzacji – przeważnie 72°C.

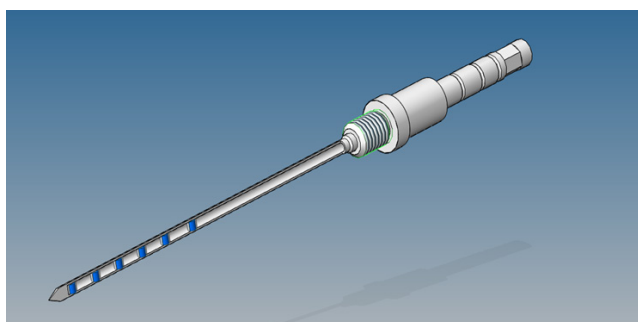
Polska norma [5] wskazuje, że dla sterylizacji parametr  $F_0$  powinien wynosić co najmniej 3 min, aby zapewnić bezpieczeństwo produkowanej żywności. Jest to wartość korzystna dla konsumenta, gdyż zostają spełnione warunki koniecz-

ne do inaktywacji form przetrwalników bakterii, zwłaszcza tych najgroźniejszych dla zdrowia i życia człowieka – *Clostridium botulinum*, przy jednoczesnym zachowaniu stosunkowo wysokiej wartości odżywczej produktu, a sam produkt pozostaje nadal atrakcyjny dla klienta. Na finalnym etapie utrwalania cieplnego producenci mają problem z uzyskaniem optymalnej wartości parametrów  $F_0$  i  $P_0$ . Najczęściej jest to spowodowane nierównomiernym rozkładem temperatury w kotłach roboczych urządzeń obróbki cieplnej (np. autoklawach, pasteryzatorach), co powoduje niekorzystne dla jakości produktu przegrzanie lub niebezpieczeństwo niedogrzanego wsadu, skutkujące niekompletną inaktywacją mikrobiologiczną. Niesie to za sobą ryzyko niedopuszczenia produktu do sprzedaży (lub dopuszczenia produktu niewyjałowionego), a w konsekwencji strat finansowych dla zakładu spożywczego. Rozwiązaniem tego problemu jest m.in. okresowa kontrola rozkładu temperatury w przestrzeni roboczej sterylizatora, bowiem każda zmiana osprzętu autoklawu, jego stanu technicznego [6] (w tym np. stopnia zanieczyszczenia dysz, zaworów, filtrów), a także typu i stopnia wypełnienia opakowań wpływa na niezamierzoną modyfikację charakterystyki transportu energii cieplnej. Następstwem tego są postępujące, niekontrolowane zmiany parametrów procesów cieplnego utrwalania, czego skutkiem jest ryzyko niewłaściwego naliczania wartości sterylizacyjnej  $F_0$  lub pasteryzacyjnej  $P_0$  dla całego wsadu w porównaniu do ww. parametrów uzyskanych dla opakowań kontrolnych. Eksperymentalny pomiar kontrolny przebiegu procesu technologicznego (sterylizacji lub pasteryzacji) wymaga zastosowania właściwego oprzyrządowania pomiarowego z uwagi na trudne warunki pracy, czyli wysoką temperaturę, ciśnienie oraz wysoką wilgotność [7]. Sondy temperatury (szczególnie przewodowe), instalowane tak, by czujniki temperatury (Rys. 1) znajdowały się we wnętrzu opakowań (puszek, słoików), nie mogą powodować ich rozszczelnienia, aby otoczenie zewnętrzne opakowania nie zakłócało pomiaru. Za zasadne uważa się stosowanie bezprzewodowych rejestratorów temperatury, które można zamknąć we wnętrzu opakowania. Warto mieć na uwadze, że ich objętość musi być wielokrotnie mniejsza od objętości opakowania, gdyż mogłyby one negatywnie oddziaływać na wynik pomiaru. Często, ze względu na niewielkie rozmiary opakowań, zachodzi konieczność montażu rejestra-

torów bezprzewodowych analogicznie do sond przewodowych.

Najważniejsze z punktu widzenia pomiaru temperatury w produkcie umieszczonym w autoklawie jest odpowiednie zlokalizowanie strefy najmniejszego dogrzenia (SND) w opakowaniu (konserwie). Jej położenie jest zróżnicowane z uwagi na wymiary oraz kształt opakowania. Najczęściej punkt ten znajduje się w środku geometrycznym zawartości opakowania, lecz nie jest to regułą. Strefę najmniejszego dogrzenia można opisać jako obszar, w którym pomimo pozornie poprawnie przeprowadzonego procesu technologicznego, istnieje ryzyko niedostatecznego dogrzenia, czego następstwem jest niez uzyskanie właściwej trwałości i bezpieczeństwa produkowanej żywności [8]. W związku z powyższym kluczowe jest zapewnienie prawidłowej lokalizacji strefy najmniejszego dogrzenia w obrębie opakowania.

## 2. METODYKA POMIARU

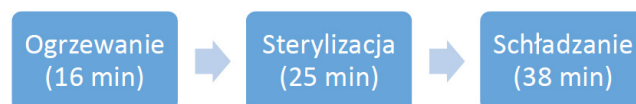


**Rysunek 1** Rysunek poglądowy wieloczułnikowej sondy temperatury

W celu wyznaczenia lokalizacji SND został wykorzystany zestaw pomiarowy AAPEK 2x8p będący laboratoryjną wersją systemu AAPEK-8 [7], który jest autorskim opracowaniem poznańskiej jednostki Centralnego Ośrodka Badawczo Rozwojowego Aparatury Badawczej i Dydaktycznej COBRABiD sp. z o.o. System składa się z modułów pomiarowych, z których każdy charakteryzuje się możliwością jednoczesnego pomiaru temperatury w ośmiu niezależnych punktach urządzenia do obróbki cieplnej żywności, pomiaru ciśnienia oraz naliczania chwilowych wartości sterylizacyjnych  $F_0$  lub pasteryzacyjnych  $P_0$ . Zamiast tradycyjnej sondy zawierającej tylko jeden czujnik temperatury zastosowano sondę wielokanałową (Rys.1), posiadającą sześć kanałów pomiarowych (czujniki

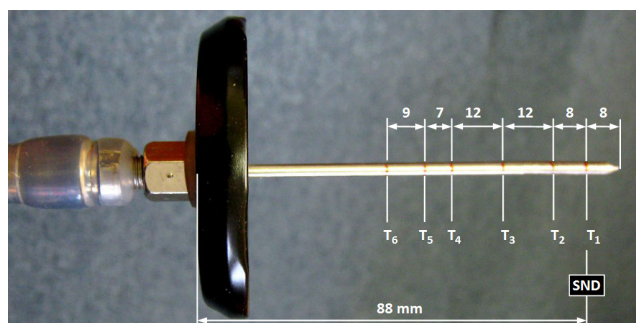
PT100), umożliwiającą bieżącą kontrolę i obserwację temperatury wsadu podczas prowadzenia procesu sterylizacji lub pasteryzacji jednocześnie w sześciu punktach [7]. Czujniki zlokalizowano w obudowie sondy w odległości: 8, 16, 28, 40, 47 i 56 mm od jej wierzchołka (Rys. 2).

Sam proces sterylizacji przebiegał według podanego schematu:



**Rysunek 2** Schemat procesu sterylizacji

W trakcie badań przeprowadzono dwa pomiary procesów sterylizacji. Pierwszy z nich dotyczył słoika wypełnionego wsadem o masie 420 g (sos boloński). Sondę wprowadzono do wnętrza opakowania przez pokrywkę w taki sposób, aby znajdowała się ona w osi słoika (Rys. 3).

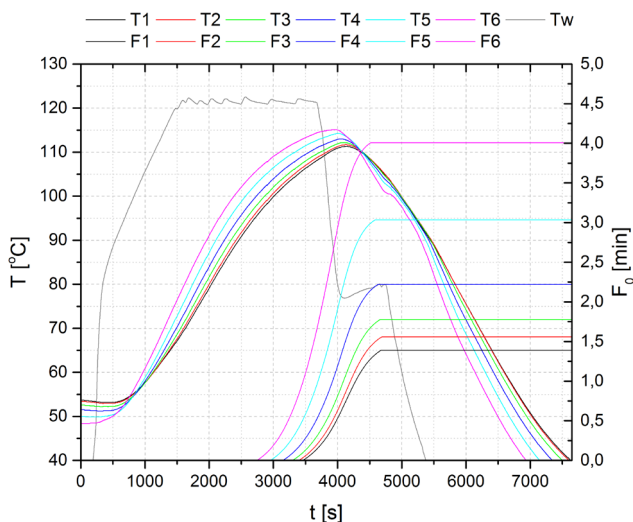


**Rysunek 3** Mocowanie sondy temperatury w wieczku słoika

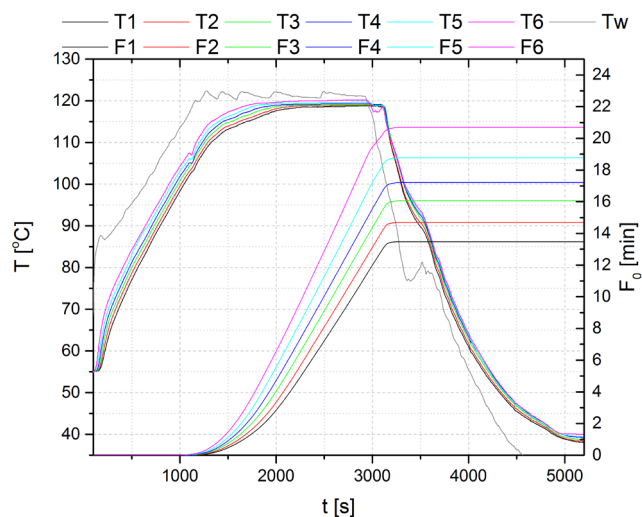
Zastosowana dwudzielna dławnica [7], będąca autorskim projektem poznańskiej jednostki Centralnego Ośrodka Badawczo Rozwojowego Aparatury Badawczej i Dydaktycznej, umieszczona w wieczku, zapewniała szczelność opakowania oraz zapobiegała przypadkowemu przesunięciu się sondy podczas przeprowadzania procesu. Poniżej przedstawiono uzyskane wartości  $F_0$  (Tab. 1).

**Tabela 1** Wartości  $F_0$  uzyskane dla czujników PT100 znajdujących się w różnej odległości od wierzchołka sondy uzyskane dla sosu bolońskiego słoik 420 g

	$T_1$	$T_2$	$T_3$	$T_4$	$T_5$	$T_6$
Wartość $F_0$	1,39	1,56	1,78	2,22	3,03	4,01

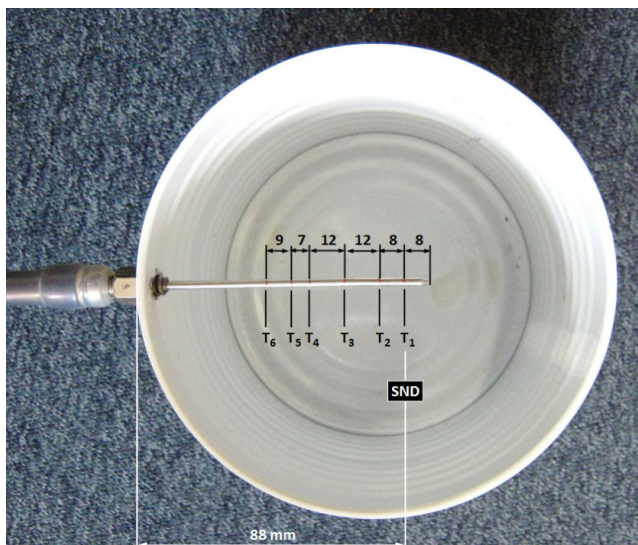


**Rysunek 4** Przebieg zmian temperatury oraz wartości  $F_0$  podczas procesu sterylizacji sosu bolońskiego



**Rysunek 6** Przebieg zmian temperatury oraz wartości  $F_0$  podczas procesu sterylizacji fasoli czerwonej

Drugi pomiar przeprowadzono w puszcze wypełnionej wsadem o masie 2600 g (fasola czerwona). Sondę wprowadzono do opakowania prostopadle do osi puszek w połowie jej wysokości (Rys. 5). W Tabeli 2 zawarto zmierzone wartości kontrolowanych parametrów procesu cieplnego utrwalania.

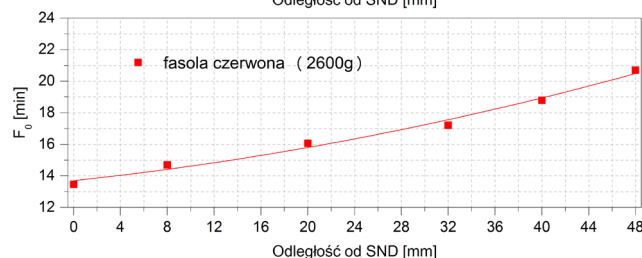
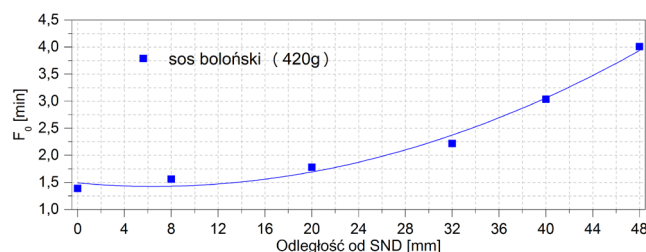


**Rysunek 5** Mocowanie sondy temperatury w ścianie bocznej puszek

**Tabela 2** Wartości  $F_0$  uzyskane dla czujników PT100 znajdujących się w różnej odległości od wierzchołka sondy uzyskane dla fasoli czerwonej puszek 2600 g

	$T_1$	$T_2$	$T_3$	$T_4$	$T_5$	$T_6$
Wartość $F_0$	13,47	14,89	16,06	17,21	18,78	20,71

### 3. INTERPRETACJA WYNIKÓW



**Rysunek 7** Porównanie wartości sterylizacyjnych dla sosu bolońskiego i fasoli czerwonej

W oparciu o uzyskane wartości  $F_0$  wykreślono ich zależności w funkcji odległości czujnika od wierzchołka sondy (Rys. 4 i 6). W obu przypadkach badania wykazały, że sensor znajdujący się najgłębiej w produkcie znajdował się jednocześnie w strefie najmniejszego dogrzania (Rys. 7). Dla fasoli czerwonej najniższa otrzymana wartość sterylizacyjna wynosiła 13,47 min, spełniając tym samym minimalne wymagania stawiane tego typu produktowi [5, 8]. Jednakże wartość ta zdecydowanie przewyższa próg zapewniający sterylność konserwy, co negatywnie wpływa na właściwości organoleptyczne (smak, barwa, tekstura) oraz wartości odżywcze przetworu. W przypadku sosu bolońskiego uzyskana najniższa wartość sterylizacyjna to 1,39 min.

Wartość sterylizacyjna  $F_0$  powinna zostać scharakteryzowana indywidualnie (uwzględniać pH produktu, masę i materiał opakowania) [9] dla asortymentu, który będzie poddawany termicznemu utrwalaniu żywności, ponieważ bazując na tej wielkości, unikamy konieczności ciągłego przeprowadzania badań mikrobiologicznych.

#### 4. PODSUMOWANIE

Zastosowanie sondy wielokanałowej umożliwiło dokładną analizę rozkładu temperatury w obrębie wsadu poddanego procesowi sterylizacji. W obu przypadkach wyraźnie widać, że pomiar ujawnił nie tylko lokalizację, ale pozwolił także na oszacowanie rozmiaru i kształtu strefy najmniejszego ogrzania. Uzyskanie przedstawionych wyników było możliwe dzięki opracowanej w COBRABiD sp. z o.o., wieloczułkowej sondzie temperatury. Autorzy nie znaleźli podobnych prac badawczych w dostępnej literaturze, co świadczy o pionierskiej formie niniejszej publikacji. W opisywanych przypadkach opakowania miały kształt walca, różniły się jedynie rozmiarem. Dla sosu bolońskiego sonda mierzyła rozkład temperatury wzdłuż osi słoika. Trzy czujniki znajdujące się najbliżej wierzchołka sondy dały bardzo podobne odczyty, dopiero pomiędzy trzecim a czwartym czujnikiem widać wyraźną zmianę wartości  $F_0$ . W miarę zbliżania się do wieczka słoika wyniki pomiaru rosną wykładniczo. W przypadku fasoli, gdzie sonda zainstalowana była prostopadle do osi puszk, uzyskano liniowy wzrost wartości  $F_0$  w miarę zbliżania się do ścianki puszk. Pokazuje to, że SND przyjmuje kształt odpowiadający kształtowi opakowania, jednakże jego rozmiar i położenie zależą od właściwości fizykochemicznych produktu oraz materiału, z którego wykonane jest opakowanie. W przypadku puszk wypełnionej zalewą lub produktem homogenizowanym można spodziewać się SND znajdującej się w środku geometrycznym opakowania. W przypadku słoika, gdzie mamy do czynienia z wklęsłym dnem od dołu oraz warstwą powietrza i metalowym wieczkiem od góry, SND przesuwana jest wzdłuż jego osi. Przy uwzględnieniu

zjawisk zachodzących podczas obróbki cieplnej, takich jak pęcznienie czy kleikowanie, które mają wpływ na przewodnictwo temperatury w produkcie, może się okazać, że lokalizacja SND nie będzie stała podczas całego procesu. Jeśli producentowi zależałoby na dokładnym pomiarze wartości  $F_0$  w produkcie oraz takim sterowaniu procesem, aby produkt był jednocześnie bezpieczny i wartościowy dla konsumenta, stosowanie sond wielopunktowych może okazać się jedynym skutecznym rozwiązaniem. Opisany przypadek dotyczy opakowań o regularnych kształtach, gdzie przybliżona lokalizacja SND może zostać w łatwy sposób wyznaczona za pomocą prostych obliczeń matematycznych. W przypadku nowoczesnych opakowań o nietypowych kształtach takie obliczenia stają się trudne, a ich wyniki obarczone są coraz większym błędem. W tej sytuacji również dobrym rozwiązaniem staje się stosowanie sond wielopunktowych.

Najważniejszą zaletą użytego systemu pomiarowego jest brak konieczności wielokrotnego powtarzania pomiaru w celu eksperymentalnego ustalenia dokładnej lokalizacji strefy najmniejszego dogrzania (SND). Badanie realizowane jest w jednym opakowaniu, więc nie ma na niego wpływu ewentualna różnica jednorodności przetworów będących wsadem konserwy. Pomiar ten może być przeprowadzony podczas standardowego badania rozkładu temperatury w kotle roboczym sterylizatora, co jest korzystne z punktu widzenia zakładów wytwarzających żywność, ponieważ nie wpływa znacząco na trwające procesy produkcyjne. Niesie to ze sobą także korzyści finansowe w postaci możliwości redukcji liczby niezbędnych pomiarów. Wyniki uzyskane z przeprowadzonych badań wykazały zakładaną skuteczność i przydatność opracowanej w COBRABiD sp. z o.o. wieloczułkowej sondy temperatury, co w zdecydowany sposób ogranicza liczbę koniecznych do wykonania pomiarów, mających na celu wyznaczenie strefy najmniejszego dogrzania konserwy przy wykorzystaniu tradycyjnych sond jednoczułkowych.

## LITERATURA

- [1] Bilka A., Malant M., Danyluk B., Kowalski R., Preferencje konsumentów w zakresie żywności tradycyjnej i regionalnej, *Nauka Przyroda Technologie*, Tom 11 (2017), Zeszyt 1, 45-54.
- [2] Kołożyn-Krajewska D., *Higiena produkcji żywności*, Wydawnictwo SGGW, Warszawa 2007, 13-29.
- [3] Krzysztofik B., Drózd T., Sobol Z., Nawara P., Wrona P., Metody zabezpieczania i utrwalania surowców oraz produktów żywnościowych – studium przypadku, *Polskie Towarzystwo Inżynierii Rolniczej*, Wydział Inżynierii Produkcji i Energetyki, Kraków 2015, 27-30.
- [4] Wajdzik J., Technologiczne aspekty produkcji konserw sterylizowanych, *OIM*, 6 (2016), 10-18.
- [5] PN-A 82022, Mięso i przetwory mięsne. Konserwy mięsne, 1998.
- [6] Leszczuk-Piankowska A., Pawlikowski B., Wpływ metody załadunku konserw rybnych do koszy sterylizacyjnych na wartość sterylizacyjną  $F_0$ , *Technologiczne kształtowanie żywności*, Wydawnictwo Naukowe PTTŻ, Kraków 2015, 137-148.
- [7] Baranowski P. A., Mizgalski I., Poliszko S., Szczepka M., Uniwersalny system monitoringu parametrów procesów cieplnego utrwalania żywności hermetycznie zamkniętej, *Aparatura Badawcza i Dydaktyczna*, Nr 1 (2013), 69-76.
- [8] Ziemia Z., *Podstawy cieplnego utrwalania żywności*, Wydawnictwo Naukowo-Techniczne, Warszawa 1993, 279-310.
- [9] Danyluk B., Sterowanie procesem pasteryzacji konserw mięsnych na podstawie nowego modelu wyznaczania stopni letalności, *Wydawnictwo Akademii Rolniczej im. Augusta Cieszkowskiego*, Poznań 2007, 5-22.