

**Optymalizacja procesu utrwalania termicznego produktów o wysokim pH
jako element zwiększenia bezpieczeństwa przetworów oferowanych przez
RHD (Rolniczy Handel Detaliczny)**

– raport z prac przeprowadzonych w 2024 roku

Autorzy:

inż. Sebastian Siarkowski
prof. dr hab. Dorota Konopacka
dr hab. Monika Mieszczakowska-Frać, prof. IO
mgr inż. Jan Piecko
mgr inż. Wioletta Popińska
mgr inż. Paweł Guzik
mgr inż. Natalia Dworak
mgr inż. Dawid Wieloch

Opracowanie przygotowane w ramach **zadania celowego 9.5:**

„Optymalizacja procesu utrwalania termicznego produktów o wysokim pH jako element zwiększenia bezpieczeństwa przetworów oferowanych przez RHD (Rolniczy Handel Detaliczny)”

Obszar 9. „Zagospodarowanie pozbiornicze produktów ogrodnich”

Zadanie finansowane z dotacji celowej Ministra Rolnictwa i Rozwoju Wsi w roku 2024



Ministerstwo Rolnictwa
i Rozwoju Wsi

Skierniewice 2024

Spis treści

1. Wstęp	3
2. Technologie Sterylizacji - podstawy teoretyczne	4
3. Metodologia Badań	5
3.1 Przygotowanie prób badawczych	5
3.2 Analiza Fizykochemiczna	11
4. Omówienie wyników	16
4.1 Rezultaty	17
5. Rekomendacje	18

1. Wstęp

Rolnicy i ogrodnicy coraz częściej angażują się w przetwórstwo surowców rolnych w ramach rozwijającego się Rolniczego Handlu Detalicznego (RHD), wykorzystując własne zasoby i lokalne bazy produkcyjne. Procesy te pozwalają na wytwarzanie produktów o wysokiej jakości, jednocześnie wspierając skracanie łańcucha dostaw oraz zrównoważone praktyki produkcji żywności. Jednak przetwórstwo, szczególnie na poziomie przydomowym, wymaga wdrożenia skutecznych metod zapewnienia trwałości i bezpieczeństwa produktów. W tym kontekście odpowiednie procesy termiczne stanowią kluczowy element zarówno w ochronie zdrowia publicznego, jak i w zarządzaniu nadwyżkami żywności oraz bioodpadami. W szczególności produkty o pH powyżej 4,0 wymagają właściwego podejścia technologicznego, gdyż tradycyjna pasteryzacja w temperaturze do 100 °C, często nie jest wystarczająca aby zapewnić bezpieczeństwo mikrobiologiczne produktu.

Utrwalanie termiczne powyżej 100 °C, czyli sterylizacja, pozwala na eliminację mikroorganizmów chorobotwórczych i saprofitycznych oraz unieszkodliwienie enzymów odpowiedzialnych za procesy psucia się produktów. W przypadku nietrwałych surowców ogrodniczych, takich jak warzywa, proces ten nie tylko wydłuża okres ich przydatności do spożycia, ale także umożliwia ich efektywne zagospodarowanie. To szczególnie istotne w kontekście problemów z marnotrawstwem żywności – zarówno w gospodarstwach domowych, jak i w skali przemysłowej. Jak wskazują dane Światowej Organizacji Zdrowia (WHO, 2021), poprawne utrwalanie termiczne żywności przyczynia się do zmniejszenia strat żywności oraz ograniczenia ryzyka zdrowotnego wynikającego ze spożycia produktów nieodpowiednio zabezpieczonych.

Proces sterylizacji odgrywa również istotną rolę w ograniczaniu wpływu przetwórstwa rolniczego na środowisko. Procesy te, odpowiednio zoptymalizowane, pozwalają zmniejszyć ilość odpadów organicznych, a w konsekwencji ograniczają konieczność ich utylizacji. W szczególności sterylizacja w połączeniu z nowoczesnymi technologiami, jak urządzenia o zamkniętym obiegu cieplnym, minimalizuje zużycie energii, wpisując się w zasady gospodarki zeroemisyjnej.

Centrum Przetwórstwa Produktów Ogrodniczych Instytutu Ogrodnictwa – Państwowego Instytutu Badawczego (IO-PIB) prowadzi intensywne prace badawcze nad metodami poprawy efektywności i skuteczności procesów sterylizacji w kontekście lokalnego przetwórstwa. Badania te obejmują ocenę parametrów termicznych, wpływu procesu na jakość przetworzonych produktów oraz jego efektywność energetyczną. Kluczowym celem jest dostarczenie narzędzi umożliwiających bezpieczne przetwarzanie produktów rolnych w ramach RHD oraz wspieranie działań na rzecz ograniczenia marnotrawstwa żywności.

Podkreślając znaczenie sterylizacji w przetwórstwie, należy również zwrócić uwagę na jej rolę w ochronie zdrowia publicznego. Prawidłowo przeprowadzony proces eliminuje zagrożenia mikrobiologiczne, takie jak obecność *Clostridium botulinum*, chroniąc konsumentów przed groźnymi zatruciami pokarmowymi. Równocześnie umożliwia bezpieczne przechowywanie i dystrybucję produktów w dłuższym okresie, co wspiera lokalnych producentów w ich działalności, jednocześnie odpowiadając na potrzeby konsumentów poszukujących żywności naturalnej i trwałej.

Stosowanie właściwych i nowoczesnym technologii oraz szerzenie edukacji producentów, może odegrać kluczową rolę w budowaniu zrównoważonego sektora żywnościowego, który

łączy aspekty ekonomiczne, środowiskowe i społeczne. Poprawnie przeprowadzony proces nie tylko zabezpiecza żywność, ale także pozwala na efektywne zagospodarowanie nadwyżek produkcyjnych, wpisując się w globalne dążenia do redukcji strat żywności i ochrony środowiska.

2. Technologie sterylizacji - podstawy teoretyczne

Sterylizacja produktów spożywczych, szczególnie nietrwałych, takich jak warzywa i owoce, stanowi jedno z najważniejszych narzędzi w zapewnianiu bezpieczeństwa żywności, przedłużaniu jej trwałości oraz ograniczaniu strat wynikających z psucia. Badania nad technologiami sterylizacji koncentrują się na optymalizacji parametrów procesu, aby osiągnąć maksymalną skuteczność mikrobiologiczną przy zachowaniu wartości odżywczych i sensorycznych produktów. Przegląd dostępnych technologii oraz ich zastosowań wskazuje, że metoda sterylizacji odgrywa kluczową rolę w zrównoważonym przetwórstwie spożywczym, przyczyniając się do ochrony zdrowia publicznego i redukcji strat żywności.

Kluczowe aspekty i zalety sterylizacji

Sterylizacja eliminuje mikroorganizmy chorobotwórcze i saprofityczne, w tym przetrwalniki bakterii, takie jak *Clostridium botulinum*, odpowiedzialne za produkcję toksyny botulinowej. Badania naukowe przeprowadzone w ostatnich 10 latach podkreślają znaczenie precyzyjnie kontrolowanego procesu sterylizacji w eliminacji patogenów bez nadmiernej degradacji jakości produktu. Współczesne metody sterylizacji, takie jak zastosowanie autoklawów i systemów sterylizacji parowej, zanurzeniowej z monitorowaniem parametrów procesu charakteryzują się wysoką wydajnością energetyczną i wskazują na oszczędność energii rzędu 25% w porównaniu do tradycyjnych systemów termicznych. Innowacyjne technologie sterylizacji, pozwalają na zachowanie walorów odżywczych i sensorycznych produktów, dążąc do minimalizacji strat labilnych składników, oraz zachowania naturalnej tekstury i smaku warzyw i owoców.

Technologie sterylizacji w przetwórstwie owoców i warzyw

Proces sterylizacji polega na zastosowaniu temperatury powyżej 100 °C w warunkach nadciśnienia, co umożliwia skuteczną eliminację zarówno form wegetatywnych, jak i przetrwalnikowych drobnoustrojów. Badania wskazują, że sterylizacja w autoklawach jest jedną z najskuteczniejszych metod zabezpieczania produktów przed psuciem, przy jednoczesnym zachowaniu ich wartości odżywczych.

Proces sterylizacji można podzielić na trzy główne etapy:

- **Podgrzewanie:** Produkt jest stopniowo podgrzewany do odpowiedniej temperatury sterylizacji (najczęściej 110-121 °C). Kluczowe znaczenie ma równomierne nagrzewanie, co zapobiega powstawaniu tzw. "zimnych punktów", w których mikroorganizmy mogą przetrwać.
- **Właściwa sterylizacja:** Produkt jest utrzymywany w ustalonej temperaturze przez wymagany czas. Parametry procesu są określane na podstawie wartości F_{0F}_0F₀, która odzwierciedla skuteczność eliminacji najbardziej odpornych mikroorganizmów w warunkach kontrolowanych.
- **Chłodzenie:** Po zakończeniu procesu sterylizacji produkt jest schładzany w kontrolowanych warunkach, co zapobiega degradacji jakości oraz wtórnemu zakażeniu.

3. Metodologia Badań

Metodologia przyjęta w ramach badań realizowanych w zadaniu 9.5, dotyczących optymalizacji procesu utrwalania termicznego produktów o wysokim pH, opiera się na kompleksowym podejściu do analizy i oceny technologicznej procesów przetwórczych, z uwzględnieniem specyfiki produkcji przetworów warzywnych takich jak hummus fasolowy, przecierowy sok dyniowy oraz przecier groszkowy. W badaniach zastosowano zróżnicowane metody oceny, obejmujące aspekty mikrobiologiczne, fizykochemiczne i sensoryczne, w celu opracowania optymalnych parametrów technologicznych sterylizacji, które zapewnią bezpieczeństwo mikrobiologiczne, wysoką jakość produktów oraz ich trwałość.

3.1 Przygotowanie prób badawczych

3.1.1 Badanie procesu sterylizacji dla przetworów w postaci soków przecierowych.

Monitorowano jaki czas jest konieczny do osiągnięcia temperatury sterylizacji 113 °C w przypadku utrwalania soku przecierowego z dyni (Fot. 1) oraz analizowano wpływ stosowanego czasu sterylizacji w docelowej temperaturze przez 10 i 20 minut. W trakcie procesu sterylizacji w autoklawie (Fot. 2) monitorowano temperaturę i ciśnienie w geometrycznym środku opakowania, co pozwoliło na ocenę skuteczności procesu w eliminacji drobnoustrojów oraz zachowanie optymalnej jakości produktów.

Przygotowanie i przetwarzanie surowców

Dla dyniowego soku przecierowego surowiec poddano procesowi wstępnej obróbki, obejmującej obranie, pokrojenie i gotowanie w temperaturze 80 °C przez 30 minut w celu zmiękczenia miąższu. Następnie miękki surowiec został przetarty przez sito w celu uzyskania jednorodnej konsystencji. Do produktu nie dodawano wody, co pozwoliło zachować jego naturalną strukturę oraz wysoką zawartość składników bioaktywnych, takich jak karoteny.



Fot. 1. Dynia w kostce i przecierowy sok dyniowy [wsad do autoklawu]

Przebieg procesu sterylizacji:

Zapełnione słoiki zostały umieszczone w autoklawie wyposażonym w system monitorowania temperatury i ciśnienia. Proces sterylizacji przeprowadzono w temperaturze 113 °C przy zmniejszonym ciśnieniu do 600 Pa (mierzonym we wnętrzu słoika). W momencie osiągnięcia docelowej temperatury w geometrycznym środku opakowania rozpoczęto czasową sterylizację. Dla każdej partii produktów zastosowano dwa warianty czasowe – 10 i 20 minut. Proces autoklawowania był ściśle kontrolowany, a rozkład temperatury monitorowano za pomocą sond termicznych wprowadzonych do opakowań (Fot. 2).

Rejestracja parametrów procesu:

W trakcie sterylizacji rejestrowano parametry technologiczne, takie jak: czas osiągnięcia temperatury docelowej, równomierność ogrzewania w opakowaniu oraz czas trwania procesu. Po zakończeniu sterylizacji produkty były schładzane do temperatury pokojowej, a następnie przekazywane do analizy jakościowej.

Wnioski:

W przypadku dyniowego soku przecierowego stwierdzono, że czas sterylizacji wynoszący 10 minut jest wystarczający do zapewnienia bezpieczeństwa mikrobiologicznego przy zachowaniu wysokiej jakości sensorycznej. Czas konieczny do osiągnięcia docelowej temperatury sterylizacji (113 °C) wynosił 15 min dla opakowania 150 ml i 23 min dla opakowania 250 ml. Przeprowadzone analizy chemiczne i mikrobiologiczne zostały przedstawione w opisie zadania 9.5.

Zebrane dane posłużyły do opracowania szczegółowych wytycznych technologicznych, które umożliwią małym przetwórciom realizującym Rolniczy Handel Detaliczny (RHD) skuteczne i bezpieczne utrwalanie przetworów warzywnych.



Fot. 2. Autoklaw z automatyzowaną kontrolą procesu sterylizacji.

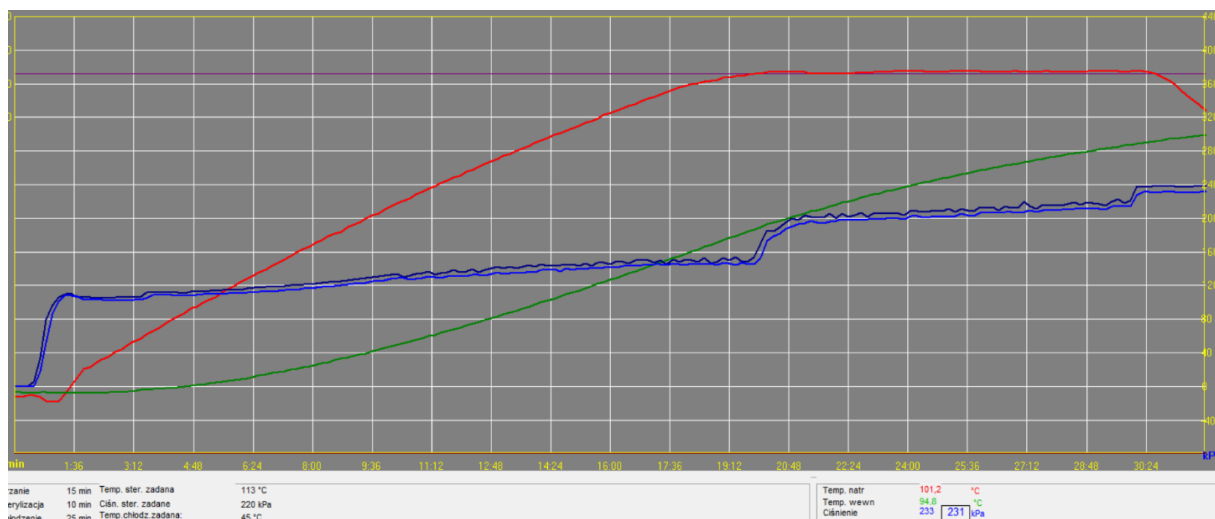
The screenshot shows the 'Receptury' (Recipes) window with the following settings:

- Receptura nr: 1
- Nazwa receptury: ???
- Asortyment: 0
- Gramaż: 0 g
- Przesyłanie: Jedną
- Parametry ogólne:
 - Rodzaj sterylizacji: Klasyczny
 - Czas grzania: 15 min
 - Czas sterylizacji: 10 min
 - Czas chłodzenia: 25 min
 - Temp. sterylizacji: 113 °C
 - Ciśn. sterylizacji: 220 kPa
 - Temp. końc. chłodz.: 45 °C
 - Temp.max.grz.: 40 °C
 - Tryb F0: Rejestruj
- Sterowanie ciśnieniem:
 - Wg kroków
 - Sterowanie ciśnieniem podczas grzania:
 - Krok 1: Temperatura [°C]: 1, Procent ciśnienia początku steryliz.: 30 (45)
 - Krok 2: Temperatura [°C]: 1, Procent ciśnienia początku steryliz.: 60 (90)
 - Koniec grzania: 113, Procent ciśnienia początku steryliz.: 100% (150)
 - Sterowanie ciśnieniem podczas sterylizacji:
 - Sterowanie ciśnieniem w sterylizacji: Liniowe
 - Ciśnienie na początku sterylizacji: 150 kPa
 - Ciśnienie [kPa]: Krok 1: 175, Krok 2: 200, Ostatni krok: 220
 - Czas [min]: Krok 1: 0, Krok 2: 1, Ostatni krok: 9
- Parametry chłodzenia:
 - Chłodzenie oszczędne
 - Parametry kr. chłodzenia: automatycznie
 - Ciśn. chł. kr.: Krok 1: 240, Krok 2: 160, Krok 3: 100 kPa
 - Czas chł. kr.: Krok 1: 12, Krok 2: 8, Krok 3: 5 min
 - Temp. chł. kr.: Krok 1: 79, Krok 2: 56.3 °C

Buttons: Hasło, Zapisz, Ok, Anuluj

This is an identical copy of the screenshot above, showing the same 'Receptury' window configuration.

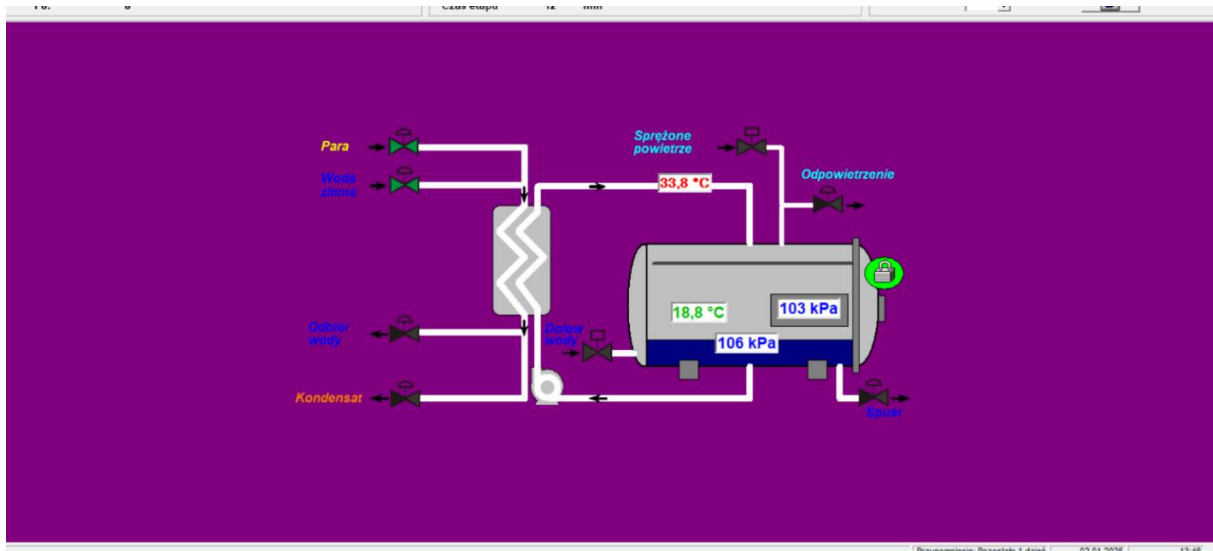
Fot. 3. Przykładowe okno z ustawień parametrów procesu ustawianych na autoklawie.



Fot. 4. Przykładowy diagram rozkładu temperatury i ciśnienia w trakcie procesu sterylizacji dyniowego soku przecierowego.



Fot. 5. Produkty po autoklawowaniu.



Fot. 6. Schemat technologiczny pracy autoklawu z uwzględnieniem rozkładu mediów.

3.1.2 Określenie parametrów technicznych procesu utrwalania termicznego produktów warzywnych i/lub owocowo-warzywnych (produkty o pH powyżej 4,0) w zależności od rodzaju i wielkości opakowania.

W kolejnym etapie przeprowadzono szczegółowe badania procesu sterylizacji dla przetworów warzywnych, takich jak: przecier groszkowy oraz hummus fasolowy, wykazujące zwartą konsystencję i pH powyżej 4,0. W tabeli 2 zestawiono pH produktu przed procesem sterylizacji. W badaniach analizowano wpływ stosowanego czasu sterylizacji (10 i 20 minut) oraz różnej pojemności opakowań (150 ml i 250 ml). W trakcie procesu sterylizacji w autoklawie monitorowano temperaturę i ciśnienie w geometrycznym środku opakowania w zależności od jego wielkości, co pozwoliło na ocenę skuteczności procesu w eliminacji drobnoustrojów oraz zachowanie optymalnej jakości produktów.

Przygotowanie i przetwarzanie surowców:

W przypadku przecieru groszkowego, surowiec pochodził z mrożonego groszku, który został rozmrożony, a następnie gotowany w temperaturze 80 °C przez 1 godzinę. Groszek, ze względu na wysoką zawartość pektyn, został przetarty z dodatkiem 3 litrów wody na każde 10 kg surowca. Taki proces pozwolił na uzyskanie produktu o gładkiej, kremowej konsystencji, odpowiedniego jako baza do zup lub przecierów sokowych.

Dla hummusu fasolowego, surowcem była fasola odmiany 'Piękny Jaś', która została ugotowana bez dodatku soli, a następnie miksowana w celu uzyskania gęstej, kremowej masy. Nie stosowano dodatkowej wody, co wpłynęło na utrzymanie intensywnego smaku i gęstej konsystencji produktu. Każdy produkt został zapakowany do sterylnych słoików o pojemności 150 ml i 250 ml przy użyciu pompy perystaltycznej, co zapewniło precyzyjne dozowanie masy.

Przebieg procesu sterylizacji przeprowadzono w analogiczny sposób jak opisano w rozdziale 3.1.1 w przypadku utrwalania dyniowego soku przecierowego w temperaturze 113 °C przy zmniejszonym ciśnieniu do 600 Pa, przez 10 i 20 minut. Proces autoklawowania był ściśle

kontrolowany, a rozkład temperatury monitorowano za pomocą sond termicznych wprowadzonych do opakowań.



Fot. 7. Surowiec oraz produkt w słoikach o różnej pojemności gotowych do sterylizacji.
Zdjęcia u góry to fasola, zdjęcia na dole to groszek.

Wnioski:

Zastosowane procedury pozwoliły na uzyskanie produktów o stabilnej konsystencji charakteryzujące się lepkością na poziomie 120-200 mPa·s. W przypadku produktów typu hummus fasolowy o wyższej lepkości, w odróżnieniu do dyniowego soku przecierowego i przecieru groszkowego, konieczny był dłuższy czas sterylizacji, co najmniej 20 minut, aby osiągnąć skuteczną eliminację form przetrwalnikowych drobnoustrojów. Badania pokazały istotne znaczenie czasu prowadzenia procesu utrwalania w zależności od wielkości opakowania, w jakim znajduje się produkt. Istotne jest aby dostosować czas osiągnięcia temperatury w geometrycznym środku produktu, który na przykładzie opakowań 150 i 250 ml może różnić się od 7 do 12 minut (Tab. 1), co warunkowane jest dodatkowo lepkością produktu. Zebrane dane posłużyły do opracowania szczegółowych wytycznych technologicznych, które umożliwią małym przetwórciom realizującym Rolniczy Handel Detaliczny (RHD) skuteczne i bezpieczne utrwalanie przetworów warzywnych.

Tabela 1. Czas osiągnięcia docelowej temperatury sterylizacji w zależności od wielkości opakowania i konsystencji produktu.

Produkt	Objętość opakowania	Czas osiągnięcia 113°C (min)	Uwagi
Sok przecierowy dyniowy	150 ml	15	Jednorodna konsystencja i średnia gęstość produktu pozwalają na szybsze nagrzewanie w porównaniu z hummusem fasolowym.
	250 ml	23	Dłuższy czas nagrzewania związany z większą objętością, ale nadal krótszy niż dla hummusu fasolowego.
Przecier groszkowy	150 ml	28	Rzadka konsystencja produktu pozwala na szybkie przenikanie ciepła.
	250 ml	38	Większe opakowanie wydłuża czas, ale pozostaje krótszy w porównaniu do innych produktów.
Hummus fasolowy	150 ml	45	Wysoka gęstość produktu ogranicza przewodnictwo ciepła. Czas nagrzewania jest najdłuższy spośród analizowanych próbek.
	250 ml	57	Większa objętość wymaga znacznie dłuższego czasu na osiągnięcie temperatury docelowej.

3.2 Analiza fizykochemiczna sterylizowanych produktów warzywnych

Wyniki analiz wykazały, że 10-minutowy proces sterylizacji skutecznie eliminuje drobnoustroje wegetatywne w soku przecierowym dyniowym i przecierze groszkowym, natomiast obecność form przetrwalnikowych wymagała wydłużenia czasu sterylizacji do 20 minut, co było szczególnie istotne w przypadku hummusu fasolowego ze względu na jego wysoką gęstość i ograniczony transfer ciepła.

Analizy fizykochemiczne

Wykonano analizy fizykochemiczne w celu oceny stabilności parametrów produktów po procesie sterylizacji (Tab. 2). Oznaczenia obejmowały następujące parametry:

a) Zawartość suchej masy

Oznaczono zawartość suchej masy metodą suszarkową, ogrzewając próbki w temperaturze 105 °C do stałej masy. W przypadku soku dyniowego wykazano stabilność suchej masy na poziomie 10,5% po sterylizacji trwającej 10 minut i 10,2% po 20 minutach, co wskazuje na minimalne straty w wyniku procesu. Dla przecieru groszkowego wartości te wynosiły odpowiednio 9,8% i 9,6%, natomiast hummus fasolowy wykazał wartości 12,0% i 11,7%.

b) Oznaczenie pH

Pomiar pH wykonano za pomocą laboratoryjnego pH-metru. Dla warunków przydomowych orientacyjne dane można pozyskać z dostępnych na rynku pH-metrów przenośnych (Fot. 8). Wartości pH pozostawały stabilne niezależnie od czasu sterylizacji dla przecieru groszkowego oraz hummusu fasolowego (pH 6-7), natomiast

sok przecierowy z dyni po 20 minutach sterylizacji posiadał niższe pH (4,8-5,2) niż sok przed utrwalaniem termicznym (6-6,1 pH).



Fot. 8. Pomiar pH urządzeniem możliwym do wykorzystania w RHD.

c) Zawartość chlorofilu i karotenów

Zawartość chlorofilu w przecierze groszkowym oznaczono metodą spektrofotometryczną, stosując ekstrakcję w rozpuszczalniku organicznym (aceton). Zawartość chlorofilu spadła z 3,5 mg/100 g do 1,8 mg/100 g po 10 minutach sterylizacji, a dalsze wydłużeniu czasu sterylizacji do 20 minut spowodowało spadek chlorofilu poniżej 0,7 mg/100 g przecieru z groszku. Z kolei zawartość karotenów oznaczono spektrofotometrycznie w dyniowym soku przecierowym. Wyniki wskazały wzrost karotenoidów pod wpływem oddziaływania temperatury z początkowej wartości 3,71 mg/100 g do wartości 5,3 mg/100 g po 10 minutach i 8,9 mg/100 g po 20 minutach.

d) Lepkość

Lepkość produktów zmierzono za pomocą wiskozymetru rotacyjnego. Sok przecierowy dyniowy i przecier groszkowy wykazały stabilność lepkości niezależnie od czasu sterylizacji, natomiast hummus fasolowy wykazał istotne obniżenie lepkości z 200 mPa·s po 10 minutach do 190 mPa·s po 20 minutach, co wynikało z degradacji struktur polisacharydowych.

e) Oznaczenie zawartości białka

Zawartość białka oznaczono metodą Kjeldahla, która polega na mineralizacji próbek w obecności stężonego kwasu siarkowego i katalizatora, a następnie destylacji powstałego amoniaku do kwasu borowego. Wyniki przedstawiono jako procent masowy azotu, przeliczony na białko całkowite przy użyciu współczynnika 6,25. Przecierowy sok dyniowy: Zawartość białka wynosiła 1,1 g/100 g dla procesu sterylizacji trwającego 10 minut i nieznacznie obniżyła się do 1,0 g/100 g po 20 minutach.

Przecier groszkowy: Wartości wynosiły odpowiednio 4,3 g/100 g (10 minut) i 4,2 g/100 g (20 minut).

Hummus fasolowy: Ze względu na wysoką zawartość białka w fasoli 6,3 g/100 g), produkt wykazał wartości 6,2 g/100 g po 10 minutach sterylizacji i 6,1 g/100 g po 20 minutach.

f) Oznaczenie zawartości błonnika

Błonnik ogółem oznaczono metodą enzymatyczno-grawimetryczną, która polega na enzymatycznym trawieniu próbki i wytrąceniu błonnika w formie pozostałości nierozpuszczalnej.

Sok dyniowy: Zawartość błonnika wynosiła 2,4 g/100 g po 10 minutach sterylizacji i utrzymała się na poziomie 2,3 g/100 g po 20 minutach.

Przecier groszkowy: Produkt charakteryzował się wyższą zawartością błonnika – 4,2 g/100 g (10 minut) i 4,0 g/100 g (20 minut).

Hummus fasolowy: Zawartość błonnika wynosiła 5,5 g/100 g dla krótszego czasu sterylizacji i 5,3 g/100 g dla dłuższego procesu.

g) Oznaczenie zawartości patuliny i kwasu mlekowego

Badane produkty nie wykazywały obecności patuliny, zaś kwas mlekowy jeśli występował to był poniżej granicy detekcji metody chromatograficznej.

Tabela 2. Analizy fizykochemiczne produktów przed i po sterylizacji w temperaturze 113°C

Produkt	Utrwalanie		Ekstrakt (Bx)	pH	Lepkość (mPa·s)	Karoteny (mg/100g)	Chlorofil (mg/100g)	Białko (g/100g)	Błonnik (g/100g)
	czas	poj.							
Sok przecierowy dyniowe	Przed sterylizacją		6,19	6,05	120	3,73	n.b.	1,06	
	10 min	150 ml	6,29	6,18	n.b.	5,43		1,13	2,4
	10 min	250 ml	6,19	6,03		5,24		1,13	2,4
	20 min	150 ml	6,40	5,21		9,07		1,00	2,3
	20 min	250 ml	6,29	4,77		8,83		1,02	2,3
Przecier groszkowy	Przed sterylizacją		8,77	7,17		150	n.b.	3,51	4,31
	10 min	150 ml	8,45	6,42	n.b.	1,82		4,31	4,3
	10 min	250 ml	8,35	6,37		1,91		4,31	4,1
	20 min	150 ml	10,4	6,51		0,39			4,0
	20 min	250 ml	10,3	6,06		0,71			4,0
Hummus fasolowy	Przed sterylizacją		3,39	6,59		200	n.b.	n.b.	6,31
	10 min	150 ml	3,43	6,68	n.b.	6,25			5,4
	10 min	250 ml	3,54	5,66		6,21			5,5
	20 min	150 ml	5,33	6,62		6,12			5,3
	20 min	250 ml	5,42	6,51		6,08			5,2

Objaśnienia: n.b. – nie badano

h) Analiza składników mineralnych

Analiza składników mineralnych przeprowadzona została w celu oceny zawartości kluczowych mikro- i makroelementów w produktach takich jak dyniowy sok przecierowy, przecier groszkowy i hummus fasolowy, zarówno po 10-minutowej, jak i 20-minutowej sterylizacji. Badania wykonano metodą emisyjnej spektrometrii atomowej z indukcyjnie sprzężoną plazmą (ICP-OES), co pozwoliło na precyzyjne oznaczenie zawartości makroskładników: wapnia (Ca), potasu (K), magnezu (Mg), fosforu (P) i sodu (Na) oraz mikroskładników: boru (B), miedzi (Cu), żelaza (Fe), manganu (Mn) i cynku (Zn).

Wyniki uwzględniają wpływ czasu sterylizacji na stabilność składników mineralnych w analizowanych próbkach. Wyniki analizy wskazują na stabilność składników mineralnych w produktach poddanych procesowi sterylizacji. Wydłużenie czasu sterylizacji z 10 do 20 minut nie wpłynęło istotnie na zawartość badanych minerałów. Produkty o mniejszej gęstości, takie jak puree dyniowe i przecier groszkowy, wykazały pełną stabilność zawartości mikro- i makroelementów, natomiast hummus fasolowy, ze względu na większą gęstość, wykazał minimalne zmiany w zawartości wapnia i magnezu. Wnioski z badań wskazują, że proces sterylizacji, niezależnie od długości trwania, pozwala na zachowanie wysokiej wartości odżywczej produktów pod względem zawartości składników mineralnych. Dane te stanowią podstawę do opracowania szczegółowych zaleceń technologicznych, wspierających małe przetwornie w zapewnieniu jakości i wartości odżywczej oferowanych przetworów warzywnych.

Tabela 3. Analizy składu mineralnego produktów przed i po sterylizacji w temperaturze 113°C

Produkt	Utrwalanie		Ca	K	Mg	P	Na	B	Cu	Fe	Mn	Zn
	czas	poj.										
Sok przecierowy dyniowe	Przed sterylizacją		233	2340	104	144	2,28	1,69	0,46	4,21	0,60	1,87
	10 min	150 ml	233	2344	105	151	2,75	1,73	0,45	3,53	0,61	1,87
	10 min	250 ml	230	2352	104	146	2,70	1,71	0,42	2,78	0,57	1,86
	20 min	150 ml	233	2375	106	148	3,30	1,72	0,45	2,95	0,58	1,85
	20 min	250 ml	229	2305	103	151	3,77	1,74	0,47	3,13	0,59	1,89
Przecier groszkowy	Przed sterylizacją		313	1774	255	681	47,1	1,28	0,95	11,2	2,41	5,55
	10 min	150 ml	318	1773	258	685	47,6	1,30	0,96	12,6	2,45	5,40
	10 min	250 ml	321	1756	258	691	46,8	1,28	0,97	11,9	2,49	5,52
	20 min	150 ml	302	1740	250	678	48,9	1,27	1,07	11,8	2,36	5,73
	20 min	250 ml	316	1797	259	669	47,9	1,25	1,00	11,4	2,33	5,44
Hummus fasolowy	Przed sterylizacją		575	3754	473	1093	15,2	3,14	2,12	16,8	7,33	7,39
	10 min	150 ml	597	3670	469	1137	16,7	3,37	2,13	18,0	7,86	7,98
	10 min	250 ml	605	3791	485	1141	16,8	3,34	2,11	17,6	7,59	7,85
	20 min	150 ml	569	3785	482	1142	17,0	3,34	2,22	17,6	7,64	7,68
	20 min	250 ml	593	3827	485	1114	16,7	3,20	2,08	17,0	7,13	7,25

i) Analiza sensoryczna

Analiza sensoryczna przeprowadzona wśród 10-osobowego panelu ekspertów obejmowała ocenę podstawowych parametrów jakościowych produktów, takich jak: smak, zapach, konsystencja, barwa oraz ogólna akceptowalność. Każdy parametr oceniano w skali 5-punktowej, gdzie 1 oznaczało ocenę bardzo niską, a 5 bardzo wysoką. Wyniki wskazały, że produkty sterylizowane przez 10 minut, takie jak dyniowy sok przecierowy i przecier groszkowy, uzyskały wyższe oceny w zakresie intensywności barwy, naturalności smaku i jednorodności konsystencji w porównaniu do tych, które poddano 20-minutowej sterylizacji. Hummus fasolowy, w wyniku wydłużonego czasu sterylizacji, wykazał ciemniejszą barwę i bardziej zbity charakter, co przełożyło się na niższe oceny sensoryczne w zakresie atrakcyjności wizualnej i tekstury. Sok dyniowy charakteryzował się wysokimi ocenami za jasną, jednolitą barwę i gładką konsystencję, szczególnie przy krótszym czasie sterylizacji, podczas gdy przecier groszkowy otrzymał najlepsze noty za intensywny, naturalny smak i świeży zapach. Ogólna akceptowalność produktów wskazała, że 10-minutowy czas sterylizacji jest preferowany ze względu na zachowanie walorów sensorycznych, co jest szczególnie ważne w kontekście produktów przeznaczonych na rynek Rolniczego Handlu Detalicznego (RHD). W przypadku hummusu fasolowego, wydłużony czas sterylizacji konieczny dla bezpieczeństwa mikrobiologicznego miał negatywny wpływ na ocenę barwy i konsystencji, co wskazuje na potrzebę dalszej optymalizacji procesu dla tego rodzaju produktów. Wnioski z analizy sensorycznej zostaną uwzględnione w opracowywaniu szczegółowych wytycznych technologicznych, tak aby zapewnić zarówno bezpieczeństwo mikrobiologiczne, jak i wysoką jakość sensoryczną produktów.

Tabela 4. Ocena sensoryczna gotowych produktów warzywnych po sterylizacji w różnych czasach w skali punktowej od 1 pkt (najniższa ocena) do 5 pkt (najwyższa ocena)

Produkt	Czas sterylizacji	Barwa (1-5)	Zapach (1-5)	Smak (1-5)	Konsystencja (1-5)	Ogólna ocena (1-5)
Przecierowy sok dyniowy	10 minut	4,5	4,3	4,6	4,5	4,6
	20 minut	4,3	4,1	4,4	4,2	4,3
Przecier groszkowy	10 minut	4,8	4,7	4,9	4,8	4,8
	20 minut	4,6	4,5	4,7	4,6	4,7
Hummus fasolowy	10 minut	4,0	4,2	4,1	4,0	4,1
	20 minut	2,8	3,8	3,5	3,5	3,4

Wyniki przeprowadzonych badań wskazują, że proces sterylizacji jest skutecznym narzędziem utrwalania produktów warzywnych, takich jak przecierowy sok dyniowy, przecier groszkowy oraz hummus fasolowy, zapewniającym ich bezpieczeństwo mikrobiologiczne oraz zachowanie wysokiej wartości odżywczej i jakości sensorycznej. Analizy mikrobiologiczne potwierdziły, że wydłużenie czasu sterylizacji z 10 do 20 minut jest kluczowe dla eliminacji form przetrwalnikowych drobnoustrojów w produktach o większej gęstości, takich jak hummus fasolowy. Natomiast produkty o mniejszej gęstości, takie jak puree dyniowe i przecier groszkowy, osiągnęły pełne bezpieczeństwo mikrobiologiczne już przy 10-minutowym procesie sterylizacji.

3.3 Monitorowanie jakości mikrobiologicznej, sensorycznej i fizykochemicznej produktów warzywnych i/lub owocowo-warzywnych utrwalanych z wykorzystaniem autoklawu

Analizy mikrobiologiczne

Wykonano szczegółowe oznaczenie ogólnej liczby drobnoustrojów (CFU/g) oraz obecności form przetrwalnikowych w produktach, takich jak hummus fasolowy, dyniowy sok przecierowy i przecier groszkowy (Tab. 5). Dla każdej próbki przeprowadzono testy przed i po procesie sterylizacji w dwóch wariantach czasowych: 10 minut oraz 20 minut w temperaturze 113 °C i ciśnieniu 600 Pa. Oznaczenie mikrobiologiczne wykonano metodą posiewów płytkowych na pożywkach PCA (Plate Count Agar) dla bakterii mezofilnych oraz na TSA (Tryptic Soy Agar) dla form przetrwalnikowych. Próbki inkubowano w temperaturze 37 °C przez 24-48 godzin, po czym dokonywano oceny liczby jednostek tworzących kolonie (CFU).

Tabela 5. Wyniki analiz mikrobiologicznych produktów warzywnych sterylizowanych w różnych opakowaniach i w różnym czasie.

Produkt	Czas sterylizacji	Ogólna liczba drobnoustrojów (CFU/g)			Formy przetrwalnikowe po sterylizacji
		przed sterylizacją	Po sterylizacji (10 min)	Po sterylizacji (20 min)	
Przecierowy sok dyniowy	10 minut	10 ⁵	10 ²	<10	Wykryto w niewielkiej ilości
	20 minut	10 ⁵	<10	<10	Nie wykryto
Hummus fasolowy	10 minut	10 ⁴	10 ³	10 ²	Wykryto
	20 minut	10 ⁴	10 ²	<10	Nie wykryto
Przecier groszkowy	10 minut	10 ⁵	10 ²	<10	Nie wykryto
	20 minut	10 ⁵	<10	<10	Nie wykryto

Wyniki analiz wykazały, że 10-minutowy proces sterylizacji skutecznie eliminuje drobnoustroje wegetatywne w soku przecierowym dyniowym i przecierze groszkowym, natomiast obecność form przetrwalnikowych wymagała wydłużenia czasu sterylizacji do 20 minut, co było szczególnie istotne w przypadku hummusu fasolowego ze względu na jego wysoką gęstość i ograniczony transfer ciepła.

4. Omówienie wyników

W ramach projektu dotyczącego optymalizacji procesu utrwalania termicznego produktów warzywnych w Rolniczym Handlu Detalicznym (RHD), przeprowadzono kompleksowe badania mające na celu identyfikację optymalnych warunków przetwarzania dla różnych produktów. Badania skoncentrowały się na produktach takich jak przecierowy sok dyniowy,

przecier groszkowy i hummus fasolowy, biorąc pod uwagę różne czas trwania sterylizacji oraz pojemności opakowań.

Proces sterylizacji był monitorowany z użyciem autoklawów wyposażonych w automatyczne systemy kontrolujące temperaturę i ciśnienie wewnątrz opakowań. Parametry te były kluczowe dla oceny skuteczności procesu w zakresie eliminacji drobnoustrojów oraz zachowania integralności sensorycznej i fizykochemicznej produktów. Monitorowanie rozkładu temperatury i ciśnienia pozwoliło na precyzyjne dostosowanie parametrów procesu, co miało bezpośredni wpływ na efektywność sterylizacji.

Wykazano, że produkty o mniejszej gęstości, takie jak przecierowy sok dyniowy i przecier groszkowy, osiągały odpowiednią sterylność już po 10 minutach obróbki w temperaturze 113 °C. Produkty o większej gęstości, takie jak hummus fasolowy, wymagały dłuższej, 20-minutowej sterylizacji, aby zapewnić pełną eliminację form przetrwalnikowych drobnoustrojów.

Wyniki testów mikrobiologicznych potwierdziły, że wydłużony czas sterylizacji był niezbędny dla skutecznej eliminacji drobnoustrojów w gęstych produktach. Taki reżim pozwolił na osiągnięcie poziomów bezpieczeństwa zgodnych z normami żywnościowymi.

Analizy sensoryczne wykazały, że dłuższy czas sterylizacji mógł negatywnie wpłynąć na niektóre właściwości organoleptyczne, takie jak konsystencja i kolor, szczególnie w przypadku hummusu fasolowego.

Optymalizacja procesu sterylizacji wymaga precyzyjnego dostosowania czasu i temperatury w zależności od gęstości i rodzaju produktu. Należy zastosować zróżnicowane podejście do różnych typów produktów, aby zminimalizować negatywny wpływ na jakość sensoryczną przy jednoczesnym zapewnieniu bezpieczeństwa mikrobiologicznego.

4.1 Rezultaty

Analiza wyników procesu sterylizacji produktów o wysokim pH, przeprowadzonego w ramach Rolniczego Handlu Detalicznego (RHD), dostarcza cennych danych naukowych na temat wpływu parametrów procesowych na jakość mikrobiologiczną oraz sensoryczną przetworów warzywnych. Badanie to pozwoliło na zidentyfikowanie kluczowych zależności pomiędzy czasem i temperaturą sterylizacji a zachowaniem cech jakościowych przetworów.

a. Kinetyka dezaktywacji mikroorganizmów:

Wydłużenie czasu ekspozycji na wysoką temperaturę skutkowało znaczącym zwiększeniem skuteczności redukcji mikrobioty w hummusie fasolowym, co jest zgodne z zasadami kinetyki reakcji chemicznych, gdzie czas i temperatura są kluczowymi czynnikami determinującymi szybkość reakcji, w tym przypadku inaktywacja mikroorganizmów.

b. Różnice w przewodnictwie cieplnym produktów:

Analiza wykazała, że produkty o różnej gęstości i składzie wymagają dostosowania parametrów termicznych. Wynika to z różnic w przewodnictwie cieplnym, co jest zgodne z zasadami transferu ciepła w materiałach o różnej konsystencji.

c. Zmiany jakości sensorycznej:

Dłuższy czas sterylizacji, choć korzystny z punktu widzenia bezpieczeństwa mikrobiologicznego, miał negatywny wpływ na właściwości sensoryczne hummusu

fasolowego, co potwierdza teorię dotyczącą termicznego rozkładu związków odpowiedzialnych za smak i aromat.

d. Rekomendacje dla procesu sterylizacji w RHD

Optymalizacja Parametrów Sterylizacji:

Zaleca się zastosowanie modelowania matematycznego do optymalizacji procesów termicznych w celu maksymalizacji efektywności mikrobiologicznej przy minimalizacji strat jakościowych. Modelowanie to powinno uwzględniać specyficzne cechy termiczne i mikrobiologiczne każdego produktu. Dla zapewnienia ciągłej kontroli jakości procesu zaleca się regularne stosowanie pasków sterylizacyjnych, które zmieniają barwę w odpowiedzi na osiągnięcie określonego poziomu temperatury i czasu. Jest to metoda nisko kosztowa, która może być łatwo implementowana przez producentów RHD. Zaleca się organizację warsztatów i szkoleń technologicznych dla producentów RHD, mających na celu zwiększenie ich świadomości na temat kluczowych aspektów termicznej obróbki żywności, w tym znaczenia dokładnego monitorowania i kontroli parametrów procesowych.

Te wnioski i rekomendacje są oparte na solidnych podstawach naukowych i technologicznych, mających na celu pomoc producentom RHD w optymalizacji ich procesów produkcyjnych, co bezpośrednio przekłada się na zwiększenie bezpieczeństwa i jakości oferowanych produktów. Implementacja tych praktyk może również przyczynić się do wzrostu zaufania konsumentów i poprawy konkurencyjności na rynku lokalnym.

5. Rekomendacje

W celu zapewnienia skuteczności sterylizacji oraz bezpieczeństwa produktów przetworzonych w RHD, niezbędne jest ścisłe przestrzeganie określonych wytycznych dotyczących czasu, temperatury, wyboru opakowań, a także dobrych praktyk higienicznych w procesie produkcyjnym.

a. Czas i temperatura sterylizacji

Produkty o niskiej gęstości (np. przecierowy sok dyniowy, przecier groszkowy): Zaleca się sterylizację przez 10 minut przy temperaturze 113°C. Takie warunki są wystarczające do efektywnej inaktywacji mikroorganizmów przy zachowaniu jakości sensorycznej produktów. Produkty o wyższej gęstości (np. hummus fasolowy): Ze względu na ich gęstość i większe ryzyko obecności form przetrwalnikowych, zaleca się sterylizację przez 20 minut przy tej samej temperaturze (113°C).

b. Wybór opakowań

Zaleca się używanie szklanych słoików z metalowymi zakrętkami, które są zdolne wytrzymać wysokie temperatury i ciśnienie bez ryzyka pęknięcia czy deformacji. Optymalne wielkości to 150 ml i 250 ml, które umożliwiają równomierny rozkład ciepła w produkcji, co jest kluczowe dla jednolitego procesu sterylizacji.

c. Dobre Praktyki Higieniczne

Wszystkie surowce powinny być dokładnie myte i sprawdzane pod kątem obecności zgnilizny czy chorób. Zaleca się również obróbkę wstępną, taką jak blanszowanie, które może zmniejszyć początkowe obciążenie mikrobiologiczne.

Regularne czyszczenie i dezynfekcja sprzętu oraz powierzchni roboczych to podstawowe wymogi, które minimalizują ryzyko zanieczyszczenia krzyżowego co ma istotne znaczenie w całym procesie i późniejszej fazie przechowywania.

Wszyscy odpowiedzialni za proces produkcji powinni przestrzegać ścisłych zasad higieny osobistej, w tym mycia rąk, noszenia czystej odzieży ochronnej i stosowania odpowiednich środków ochrony osobistej (np. rękawice, maski).

d. Kontrola procesu

Proces sterylizacji należy regularnie monitorować, używając odpowiednich narzędzi pomiarowych, takich jak termometry i ewentualnie manometry. Wynika to także z kwestii bezpieczeństwa podczas stosowania wysokich temperatur i ciśnienia, ponadto zaleca się stosowanie wskaźników, takich jak paski sterylizacyjne, które zmieniają kolor po osiągnięciu odpowiednich warunków sterylizacji, zapewniając dodatkową weryfikację procesu, co w warunkach RHD może mieć istotne znaczenie.

Przestrzeganie tych wytycznych pozwoli producentom RHD na efektywne i bezpieczne przetwarzanie produktów, zwiększając ich jakość i trwałość, co przyczyni się do budowania zaufania konsumentów i zwiększenia konkurencyjności na rynku.