

516
2022

Biuletyn

Międzynarodowej Federacji Mleczarskiej

Obróbka cieplna mleka



Obróbka cieplna mleka

UWAGA: Niniejsze tłumaczenie na język polski zostało sfinansowane ze środków FUNDUSZU PROMOCJI MLEKA

Numer wydania/publikacja: 516/2022

Data opublikowania: Kwiecień 2022 r.

Wydane przez Międzynarodową Federację Mleczarską (IDF) AISBL, Silver Building, Boulevard Auguste Reyers 70/B, B-1030 Brussels, Belgium

www.fil-efd.org

Ani autorzy ani IDF nie ponoszą żadnej odpowiedzialności za stratę lub uszkodzenie spowodowane u jakiegokolwiek osoby działającej lub powstrzymującej działanie będące wynikiem materiału zawartego w niniejszej publikacji. Niniejsze wytyczne zostały opracowane przez Stały Komitet IDF ds. Standardów Tożsamości i Etykietowania.

Wydanie opublikowane w kwietniu 2022

ISSN 0250-5118

© Międzynarodowa Federacja Mleczarska AISBLK. Kwiecień 2022. Copyright całości lub części niniejszej publikacji należy do IDF. Za wyjątkiem gdzie i do jakich granic jest to wyraźnie dozwolone w ramach niniejszego dokumentu, żadna część niniejszej pracy nie może być odtwarzana lub stosowana w żadnej postaci lub żadnymi środkami włącznie ze sposobami graficznymi, elektronicznymi, lub mechanicznymi, w tym fotokopiowanie, odtwarzanie, drukowanie lub rozpowszechnianie w sieci, bez uprzedniej pisemnej zgody IDF lub zgodnie z przepisami istniejącej licencji.



Wymagane cytowanie:

IDF, 2022. Obróbka cieplna mleka, W: Biuletyn IDF nr 516/2022. Międzynarodowa Federacja Mleczarska (wyd.), Bruksela

SPIS TREŚCI

Przedmowa	D
Podziękowania	E
Skróty i akronimy	F
Streszczenie	1
1. Wstęp	5
2. Termizacja	6
3. Pasteryzacja	7
3.1. Pasteryzacja metodą okresową (LTLT)	8
3.2. Pasteryzacja metodą ciągłą (HTST)	8
3.3. Kontrola i weryfikacja skuteczności pasteryzacji	11
4. Mleko o przedłużonym okresie trwałości (ESL)	13
5. Obróbka w ultra wysokiej temperaturze (UHT)	16
6. Sterylizacja w opakowaniu	23
7. Weryfikacja sterylności handlowej	26
8. Wnioski	28
9. Literatura - bibliografia	29

Cena subskrypcji wersji elektronicznej dla Biuletynów 2021 r: 600 Euro za wszystkie wydania.
 Proszę przesać zamówienie na adres: MIĘDZYNARODOWA FEDERACJA MLECZARSKA AISBL IDF /FIL
 Boulevard Auguste Reyers, 70/B – 1030 Brussels (Belgium)
 Telephone: + 32 2 325 67 40 – Telefax - + 32 2 325 67 41 – E-mail: orders@fil-idf.org – <http://www.fil-idf.org>

PRZEDMOWA

Pragnęlibyśmy przedstawić niniejszy Biuletyn, poświęcony Obróbce Ciepłej Mleka, skierowany do profesjonalistów z przemysłu mleczarskiego, a w szczególności do tych, którzy zajmują się przetwórstwem mleka.

Obróbka cieplna jest jedną z najszerzej stosowanych i prawdopodobnie najstarszych technologii przetwórstwa w przemyśle mleczarskim, gwarantujących bezpieczeństwo produktu do spożycia przez człowieka bez wpływu na wartości odżywcze, cechy i smak mleka. Zabieg ten jest przeprowadzany w celu ochrony zdrowia publicznego, poprzez zniszczenie bakterii chorobotwórczych.

Z powodu potencjalnego wpływu wysokiej temperatury na uzyskanie optymalnej jakości produktu, ważnym jest określenie odpowiedniego typu obróbki cieplnej dla danego produktu spożywczego. Również okres przydatności do spożycia zależy od czasu i temperatury obróbki cieplnej.

Niniejsza publikacja zawiera przegląd różnych rodzajów obróbki cieplnej stosowanych do mleka przeznaczonego do bezpośredniego spożycia lub przed jego dalszym przetwórstwem, oraz procedury dotyczące tych procesów. W tym względzie, uzupełnia nasz poprzednio wydany Biuletyn nr 496 dotyczący pasteryzacji i podkreśla raz jeszcze jej znaczenie dla bezpieczeństwa żywności.

Jest to także bardzo kompletny, dokładny przewodnik zawierający informacje na temat wspomnianych rodzajów obróbki cieplnej na świecie, czasem szczególnie istotnych, zakładając, że w większości krajów istnieją prawne wymagania dotyczące obróbki cieplnej produktów spożywczych.

Życzymy miłej lektury,

Caroline Edmond,
Dyrektor Generalny
Międzynarodowa Federacja Mleczarska

PODZIĘKOWANIA

IDF pragnie wyrazić swoje serdeczne wyrazy wdzięczności za nieoceniony wkład członków Międzynarodowej Federacji Mleczarskiej i Stałego Komitetu ds. Nauki i Technologii Mleczarskiej oraz Stałego Komitetu ds. Higieny Mikrobiologicznej, którzy opracowali niniejsze sprawozdanie. Są to: **Walter Bisig (Szwajcaria), Hilton C. Deeth (Australia), Geoffrey W. Smithers (Australia) oraz Jonas Edén (Szwecja).**

Osoby wnoszące istotny wkład do niniejszej publikacji pragną podziękować Komitetom Narodowym za ich wsparcie projektu oraz liczne propozycje odnośnie włączenia szczegółów dotyczących danego kraju.

SKRÓTY I AKRONIMY

CAC	Codex Alimentarius Commission, Komisja Kodeksu Żywnościowego (FAO)
ESL	Extended shelf-life, Przedłużony okres trwałości
HTST	High-temperature-short-time, wysoka temperatura, krótki czas obróbki
HTT	High temperature treatment, obróbka w wysokiej temperaturze
IDF	International Dairy Federation, Międzynarodowa Federacja Mleczarska
LTLT	Low-temperature-long-time, niska temperatura, długi czas obróbki
OIE	World Organization for Animal Health, Światowa Organizacja Zdrowia Zwierząt
UHT	Ultra-high temperature, ultra wysoka temperatura
WP	Whey proteins, białka serwatkowe
WPNI	Whey proteins denaturation index, Wskaźnik denaturacji białek serwatkowych

Obróbka cieplna mleka

STRESZCZENIE

Obróbka cieplna mleka jest najbardziej rozpowszechnioną technologią stosowaną w przetwórstwie w przemyśle mleczarskim, gwarantującą bezpieczeństwo produktu i dłuższy okres przydatności do spożycia. Obejmuje obróbki takie jak termizacja (57 - 68°C/30 min – 15 s), niska temperatura-długi czas (LTLT) – pasteryzacja (63°C/30-40 min), wysoka temperatura-krótki czas (HTST) – pasteryzacja (72 -80°C/15 – 30 s), obróbka w ultra-wysokiej temperaturze (UHT) (135 -150°C/10 – 1 s) w połączeniu z aseptycznym pakowaniem oraz sterylizacja w opakowaniu. W ostatnich latach, w wielu krajach coraz częściej stosuje się obróbkę ESL, z rozszerzonym okresem przydatności do spożycia albo w połączeniu z procesem: baktofugacja plus pasteryzacja HTST lub mikrofiltracja plus pasteryzacja HTST lub z jednostopniową ultra-pasteryzacją (120 – 140°C/10 – s), i zazwyczaj w połączeniu z bardzo czystą technologią pakowania. Celem obróbki ESL jest połączenie zalet pasteryzacji HTST takich jak brak posmaku gotowania i niewielka denaturacja białek , z zaletą dłuższego okresu przydatności do spożycia poddanego obróbce UHT i aseptycznie pakowanego mleka. Niniejsza publikacja zawiera przegląd różnych obróbek stosowanych do mleka przeznaczonego zarówno do bezpośredniego spożycia jak i przeznaczonego do dalszego przetwórstwa, a także stosowne procedury ich weryfikacji.

Stron 34 (A4) w języku angielskim
Biuletyn nr 516/2022 – Cena: bezpłatny

STRESZCZENIE

W przemyśle mleczarskim stosuje się szeroki zakres obróbki cieplnej; warto przedstawić jej rodzaje w aspekcie ich wpływu na mleko. Tabela 1 zawiera główne rodzaje obróbki cieplnej, ich zastosowania, oraz ich efekty bakteriologiczne, chemiczne i inne. Obróbki można podzielić na takie, które stosuje się dla mleka, przeznaczonego do bezpośredniego spożycia, takie jak pasteryzacja, przedłużony okres trwałości (ESL), Ultra-Wysoka Temperatura (UHT) i sterylizacja w opakowaniach, oraz takie obróbki, które stosuje się do określonych przetworów mlecznych takich jak jogurty i mleko w proszku. Dodatkowo omawia się termizację, którą stosuje się do obróbki mleka surowego, co pozwala na przechowywanie go przez dłuższy okres czasu przed dalszym przetwórstwem albo przeznaczają na produkcję sera.

Tabela 1. Główne obróbki cieplne stosowane w przemyśle mleczarskim

Obróbka cieplna (Temperatura/czas)	Zastosowanie	Zniszczone bakterie	Istotne efekty chemiczne	Uwagi
Termizacja (57-68°C)	Przedłużenie okresu trwałości mleka surowego przed dalszym przetwarzaniem (63-68°C/20-15 s)	Niektóre nieprzetwarzające drobnoustroje chorobotwórcze oraz bakterie psychrotrofowe powodujące zepsucie żywności; ogólna redukcja 3-4 log	Mały efekt	Produkt powinien wykazywać dodatnią próbę na fosfatazę, nie nadaje się na mleko spożywcze, gdyż pewne drobnoustroje chorobotwórcze mogły pozostać żywe. Każda obróbka cieplna >40°C - <72°C przez ≥15 s uznawana jest za termizację, ale w większości krajów nie ma prawnych definicji
Pasteryzacja (HTST: 72-80°C/15-30 s lub LTLT: 63°C/30-40 min)	Mleko spożywcze bezpieczne do konsumpcji przez człowieka Produkcja sera	Nieprzetwarzające bakterie chorobotwórcze oraz bakterie psychrotrofowe powodujące zepsucie żywności; nieprzetwarzające lub ciepłooporne bakterie wegetatywne; redukcja rzędu 5 log <i>Coxiella burnetii</i>	Mały wpływ na witaminy rozpuszczalne w wodzie (<10% straty z wyjątkiem wit. C 20%), ~5-20%), denaturacja białek serwatkowych (72°C/15 s), inaktywacja lipazy	Próba na fosfatazę dla produktu musi być ujemna; standardowe minimalne warunki w większości krajów wynoszą zazwyczaj 72°C/15 s Alternatywnym procesem jest pasteryzacja okresowa (wsadowa) w 63°C/30 min

Obróbka cieplna (Temperatura/czas)	Zastosowanie	Zniszczone bakterie	Istotne efekty chemiczne	Uwagi
Pasteryzacja 72-76°C/15 s oraz mikrofiltracja albo baktofugacja, w połączeniu z bardzo czystym pakowaniem w celu przedłużenia trwałości (Extended Shelf Life, ESL)	Mleko spożywcze o przedłużonym okresie trwałości w temperaturze chłodzenia	Dodatkowo do pasteryzacji: Przetrwalniki: Baktofugacja: redukcja o 1-2 log Mikrofiltracja: redukcja o 3-6 log	25 – 45% denaturacja β -lg	Obróbka śmietanki w wysokiej temperaturze (proces mikrofiltracji) lub baktofugacja Laktoperoksydaza pozostaje aktywna. Smak i zapach podobny do mleka pasteryzowanego. Podwójna baktofugacja zwiększa stopień redukcji.
Obróbka cieplna ESL (120-140°C/10-1 s), w połączeniu z bardzo czystym pakowaniem	Mleko spożywcze, mleko smakowe, śmietanka o przedłużonym okresie trwałości (ESL) w temperaturze chłodzenia	Wszystkie nieprzetrwalnikujące bakterie oraz większość przetrwalników bakterii psychrotrofowych i mezofilnych	Zależy od rzeczywistych warunków obróbki cieplnej. Istotna lecz zmienna denaturacja białek serwatkowych (35-90% β -laktoglobuliny)	Nie ma standardowych warunków obróbki cieplnej. Inaktywacja laktoperoksydazy (czasem stosowana jako test skuteczności obróbki ESL) Lekka zmiana smaku i zapachu ale minimalna w wyższych temperaturach przez krótki czas

Obróbka cieplna (Temperatura/czas)	Zastosowanie	Zniszczone bakterie	Istotne efekty chemiczne	Uwagi
Obróbka UHT(bardzo Wysoka temperatura) (135-150°C/10-1 s) z aseptycznym pakowaniem	Mleko spożywcze o przedłużonym okresie trwałości w temperaturze otoczenia	Wszystkie bakterie nieprzetrwalikujące oraz przetrwalniki z wyjątkiem wysoce ciepłoopornych przetrwalników; wytwarza się produkt „handlowo sterylny”	Mniejsze efekty przy metodach ogrzewania bezpośrednich niż pośrednich; wysoki poziom denaturacji białek serwatkowych (70-95% β -globuliny); Epimeryzacja laktozy na laktulozę, laktosylacja pozostałości lizyny; tworzenie się związków sulfhydrylowych	Powstaje łagodny siarkowy posmak ogrzewania/ gotowania;/ później następują zmiany chemiczne podczas przechowywania; udział w rynku waha się w różnych krajach od <10% do >90% spożycia mleka spożywczego
Sterylizacja w opakowaniu (110-120°C/20-10 min lub 125°C/3 min)	Niesłodzone zagęszczone/ mleko skondensowane, mleko spożywcze z długim okresem trwałości w temperaturze otoczenia	Niszczy wszystkie bakterie przetrwalikujące i wszystkie przetrwalniki z wyjątkiem przetrwalników wysoce ciepłoopornych	Całkowita denaturacja białek serwatkowych, rozległa reakcja Maillarda, produkcja związków o posmaku ogrzewania	Powoduje mocny posmak gotowania oraz jasno brązowe zabarwienie; obecnie stosowana wobec niektórych smakowych przetworów mlecznych, odżywek dla niemowląt oraz mieszanek piekarniczych
90-95°C/5-10 min	Produkcja jogurtu (mleko przed fermentacją)	Większość bakterii nieprzetrwalikujących	Prawie całkowita denaturacja białek serwatkowych (WP)	Powoduje zwiększoną lepkość jogurtu poprzez tworzenie się kompleksów białka serwatkowego (WP) – κ -kazeina oraz wzmożoną zdolność wiązania wody
72-80°C/15-30 s)	Nisko ogrzewane mleko w proszku	Drobnoustroje chorobotwórcze nie przetrwalikujące oraz bakterie psychrotrofowe powodujące zepsucie	Jak dla pasteryzacji; niewielka denaturacja białek serwatkowych WPNI ¹ >6.0mg/g	Produkt stosowany do produkcji mleka rekombinowanego, normalizacja

Obróbka cieplna (Temperatura/czas)	Zastosowanie	Zniszczone bakterie	Istotne efekty chemiczne	Uwagi
85°C/1 min; 90°C/30 s; 105°C/30 s	Średnio ogrzewane odtłuszczone mleko w proszku Wstępne ogrzewanie w procesie UHT Mleko pełne w proszku	Drobnoustroje chorobotwórcze nie przetrawialne oraz bakterie psychrotrofowe powodujące zepsucie produktu	Umiarkowana do znacznej denaturacja białek serwatkowych WPNI ¹ 1.5-6.0 mg/g; (częściowa) inaktywacja układu plazminy; Eksponowanie niektórych grup sulfhydrylo- wych i tworzenie się pewnych związków sulfhydrylo- wych, które działają jak przeciwutlenia- cze w pełnym mleku w proszku	mleka w produkcji sera Produkt stosowany w produkcji lodów, czekolady, słodczy Zmniejsza zapychanie się urządzeń UHT i zmniejsza proteolizę katalizowaną plazminą podczas przechowywania Poprawia stabilność pełnego mleka w proszku podczas przechowywa- nia
90°C/5 min; 120°C/1 min; 135°C/30 s	Wysoko ogrzewane odtłuszczone mleko w proszku	Drobnoustroje chorobotwórcze nie przetrawialne, bakterie psychrotrofowe powodujące zepsucie produktu oraz większość przetrawialników w najbardziej niekorzystnych warunkach	Prawie całkowita denaturacja białek serwatkowych – WPNI ¹ <1.5 mg/g	Produkt stosowany do produkcji rekombinowa- nego zagęszczonego mleka
>120°C/>40 s	Wysoko-wysoko lub wysoko ogrzewane - stabilne odtłuszczone mleko w proszku	Organizmy chorobotwórcze nie przetrawialne, bakterie psychrotrofowe powodujące zepsucie produktu oraz większość przetrawialników	Prawie całkowita denaturacja białek serwatkowych WPNI ¹ <<1.5 mg/g	Produkt stosowany w wyrobie produktów piekarniczych i rekombinowa- nego zagęszczonego mleka

¹ WPNI = indeks denaturacji białek serwatkowych; wskazuje poziom niezdenaturowanego białka serwatkowego i jest stosowany w klasyfikacji odtłuszczonych mlek w proszku [1, 2].

1

WSTĘP

Obróbka cieplna jest najszerszej stosowaną technologią w przetwórstwie przemysłu mleczarskiego. Głównym celem wspomnianej obróbki jest zniszczenie drobnoustrojów, zarówno chorobotwórczych jak i powodujących zepsucie produktu, aby zapewnić bezpieczny produkt o rozsądnym okresie przydatności do spożycia. Mimo rozwoju alternatywnych technologii takich jak obróbka wysokociśnieniowa i obróbka z zastosowaniem pulsacyjnego pola elektrycznego w celu zniszczenia drobnoustrojów, obróbka termiczna pozostaje metodą wyboru dla większości procesów bakteriobójczych w przemyśle mleczarskim oraz w przetwórstwie innych produktów spożywczych. Wybór ten jest w znacznym stopniu przypisywany ogromnemu sukcesowi procesów ogrzewania poczynając od wprowadzenia pasteryzacji mleka w latach 90-tych XIX wieku, co nastąpiło po wcześniejszym odkryciu przez L. Pasteura że obróbka cieplna wina i piwa mogła zapobiegać zepsuciu produktu [3]. Dodatkowo, i co najważniejsze, certyfikaty eksportowe wymagane dla przetworów mlecznych często odwołują się do Kodeksu Światowej Organizacji Zdrowia Zwierząt (OIE), który nie pozostawia miejsca dla alternatywnej obróbki termicznej.

Od czasu wprowadzenia pasteryzacji, obróbka cieplna mleka przyciąga znaczną uwagę badaczy. W konsekwencji, istnieje już duża ilość literatury dotyczących wielu aspektów tej technologii [4, 5, 6]. Na powyższy temat opublikowano wiele książek, rozdziałów w książkach oraz przeglądów, niektóre z nich wydanych pod auspicjami Międzynarodowej Federacji Mleczarskiej (IDF) [7, 8, 9,10, 11,12].

Mleko surowe jest zdefiniowane przez Codex Żywnościowy [13] jako mleko, które nie zostało ogrzane powyżej 40°C. Jakkolwiek zamierzone ogrzewanie mleka powyżej 40°C przez dostateczny okres czasu, który pozwala na redukcję koncentracji jednego lub więcej drobnoustrojów, jest uważane za obróbkę cieplną. Tak więc, pojęcie obróbki cieplnej obejmuje niepoliczalną kombinację czasu i temperatury. Intensywność obróbki jest warunkowana temperaturą obróbki i trwałością, w której dany produkt przechowuje się w tej temperaturze.

2

TERMIZACJA

Termizacja jest innym procesem utrwalania mleka w niższej temperaturze niż pasteryzacja, czasem stosowanym w celu przedłużenia okresu trwałości mleka podczas jego przechowywania w warunkach chłodniczych przed dalszym przerobem i/lub dalszą obróbką cieplną [4, 5, 10]. Warunki ogrzewania mleka różnią się, ale zwykle obejmują zakres 57-68°C przez 20-5 s, a przeważnie stosuje się 63-65°C przez 15-20 s. Po każdej obróbce cieplnej, ważne jest szybkie schłodzenie mleka. Niniejsze warunki obowiązują w całym przedstawianym dokumencie. Kodeks Żywnościowy [13] opisuje termizację jako: „Zastosowanie do mleka obróbki cieplnej o mniejszej intensywności niż pasteryzacja, której celem jest obniżenie liczby drobnoustrojów. Ogólnie można oczekiwać redukcji drobnoustrojów na poziomie 3-4 log”. Termizacja przedłuża przydatność do spożycia mleka przed dalszym przerobem o 3-4 dni. Jest także stosowana w produkcji niektórych półtwardych serów np. w Szwajcarii i w innych krajach położonych w Alpach Europejskich i w zastosowaniu do tych produktów, warunki ogrzewania dla mleka serowarskiego wynoszą 57°C/30 min, 60°C/5 min lub 65°C/15 s [14]. Wymagania dla dojrzewania takich serów wynoszą 60 dni lub dłużej w USA i w wielu innych krajach [15]. W zasadzie, każda obróbka cieplna pomiędzy >40°C i <72°C uważana jest za termizację [16], ale w większości krajów brak jest prawnej definicji tego terminu. Termizacja w znacznym stopniu redukuje liczbę bakterii psychrotrofowych oraz produkcję proteaz i lipaz, z których wiele jest ciepłoopornych i może powodować wady smaku i zapachu w produktach takich jak mleko o przedłużonym okresie trwałości (**ang.** ESL, Extended Shelf-Life) i mleko poddane obróbce UHT (**ang.** Ultra High Temperature). Termizacja obniża liczbę większości bakterii chorobotwórczych; może być skuteczna w redukcji liczby bakterii *Campylobacter spp.*, *Escherichia coli* i *Salmonella*. Przeżywające drobnoustroje są poddane stresowi cieplnemu i stają się bardziej podatne na dalsze „mikrobiologiczne przeszkody” [13]. Jednakże, ponieważ omawiany efekt cieplny nie jest dostateczny do zniszczenia wszystkich drobnoustrojów chorobotwórczych, które mogą znajdować się w mleku surowym, termizacja nie jest odpowiednia do stosowania w produkcji mleka przeznaczonego do spożycia przez człowieka.

Termizacja powoduje niewielkie zmiany w składnikach chemicznych i wartości odżywczej mleka. Obróbka ta nie ma wpływu na stabilność cieplną mleka i w rzeczywistości nie powoduje denaturacji białek serwatkowych [10]. Termizacja unieczynnia niecałkowicie lipazę lipoproteinową, katepsynę D lub fosfatazę alkaliczną; jest to bardzo istotne, gdyż wyraźnie to odróżnia termizację od pasteryzacji, ta ostatnia inaktywuje wszystkie wspomniane enzymy, w tym lipazę lipoproteinową do prawie zerowej aktywności [17]. Z powodu obecności aktywnej lipazy, mleka termizowanego nie należy homogenizować aby uniknąć zjawiska lipolizy. Aktywna lipaza lipoproteinowa i aktywna katepsyna D przyczyniają się do rozwoju smaku i zapachu w serze wyprodukowanym z mleka termizowanego [14].

3

PASTERYZACJA

Pasteryzacja jest procesem termicznym, odkrytym przez L. Pasteura w połowie XIX wieku podczas doświadczeń z piwem i winem [3]. Zastosowanie tego procesu w mleczarstwie obejmuje ogrzewanie „płynu mleczarskiego” (np. mleko, serwatka) do minimalnej temperatury 72°C (162°F) przez 15 sekund lub ekwiwalentu co prowadzi do unieczynnienia drobnoustrojów chorobotwórczych i powodujących psucie produktu, głównie bakterii [3, 7, 8, 10]. Inaktywuje także wrodzone enzymy mleka – lipazę lipoproteinową, co zapobiega lipolizie oraz fosfatazę alkaliczną, która jest stosowana jako wskaźnik pomyślniej pasteryzacji. Pasteryzacja jest bez wątpienia największym procesem przekształceniowym w ewolucji nowoczesnego przemysłu mleczarskiego, ponieważ doprowadziło to do zwiększenia bezpieczeństwa i trwałości mleka do bezpośredniego spożycia, oraz innych przetworów wyprodukowanych z pasteryzowanego mleka lub serwatki.

Pasteryzację można przeprowadzać albo metodą zbiornikową (Niska Temperatura, Długi Czas – LTLT) albo metodą ciągłą (Wysoka temperatura, Krótki Czas – HTST). W różnych rodzajach procesu pasteryzacji, minimalne warunki temperatury/czasu są ustalane tak aby w mleku pełnym uzyskać redukcję (inaktywację) rzędu 5 log większości ciepłoopornych organizmów chorobotwórczych mogących znajdować się w mleku, to jest *Coxiella burnetii*, który jest przyczyną występowania gorączki Q (bakteryjna zakaźna choroba odzwierzęca – przyp. tłum.) [13, 18]. W tych warunkach, inne istotne bakterie chorobotwórcze są unieczynniane, w tym *Mycobacterium tuberculosis*. Opisano powiązania pomiędzy minimalnym czasem i temperaturą pasteryzacji, stosując różne modele matematyczne. Najbardziej znanym jest równanie Kesslera dla temperatury ogrzewania w zakresie 70°C–90°C, które wykorzystuje liniową zależność pomiędzy log czasu i temperatury, z wartością $z = 8,2^{\circ}\text{C}$. Wartość z podaje liczbę stopni Celsjusza wymaganą dla uzyskania około dziesięciokrotnej zmiany czasu redukcji w skali dziesiętnej. Jednakże, równanie Kesslera¹ nie zapewnia dobrego modelowania dla temperatur $<72^{\circ}\text{C}$. Dla tych temperatur, należy zastosować równanie Arrheniusa². Wspomniane równanie stosuje również liniowy log zależności czasu i temperatury, ale przy wartości $z = 4,4^{\circ}\text{C}$. Omawiane zależności przedstawiono w postaci graficznej na rys. 1. Wykres ten zawiera także minimalne warunki pasteryzacji zgodnie z FDA (ang. Food and Drug Administration, Amerykański Urząd ds. Żywności i Leków – przyp. tłum.), w tym zakres temperatur 90°C–100°C [19].

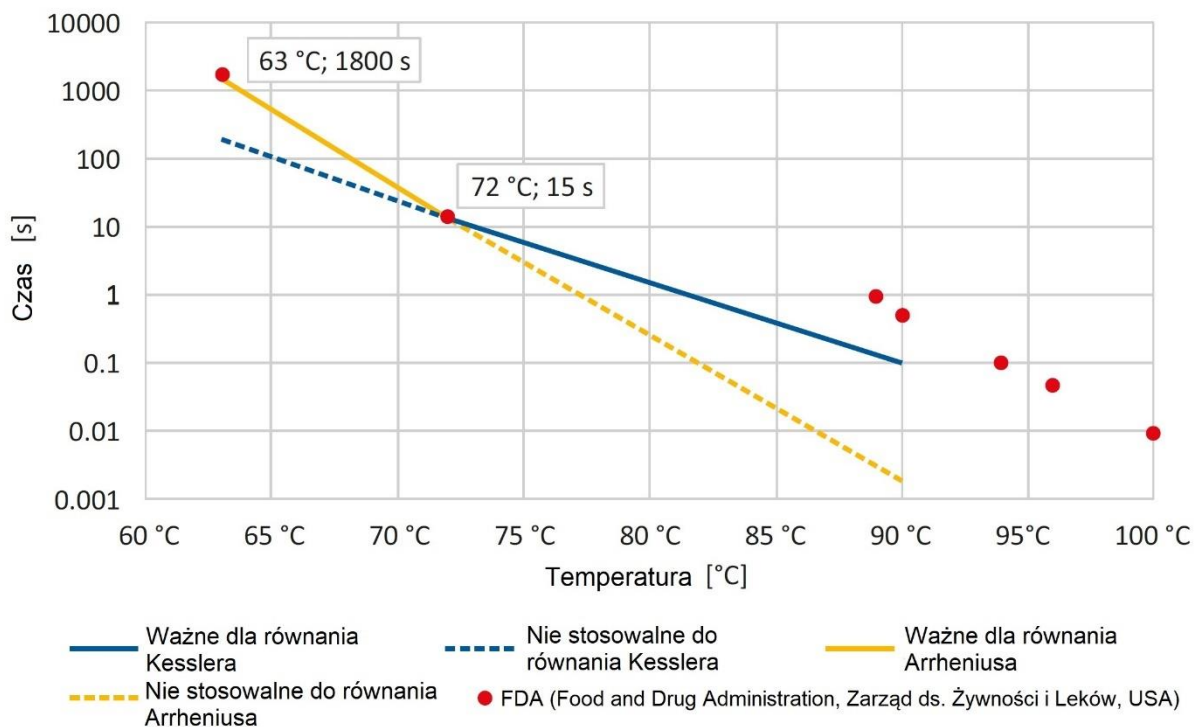
¹ Równanie Kesslera (w temp. $\geq 72^{\circ}\text{C}$): $\text{Log czasu przetrzymywania} = 14885/T - 41,97$ gdzie T jest temperaturą pasteryzacji w K ($\text{C} + 273,15$). Na przykład, w temperaturze 72°C , $\text{czas log przetrzymywania} = 14885/(273,15 + 72) - 41,97 = 1,156$; wartość log jest przekształcana tak, że $10^{1,156} = 14,3$ s

² Równanie Arrheniusa (w 72°C): $\text{Ln Czas}(y) \text{ przetrzymywania} = 2,71 = 61330 * (1/T - 0,002899)$.

3.1. PASTERYZACJA LTLT (NISKA)

Pasteryzacja niska mleka jest w sposób typowy przeprowadzana w izolowanym zbiorniku z podwójnym płaszczem, wyposażonym w mieszadło. Mleko jest pośrednio ogrzewane krążącą gorącą wodą lub parą poprzez płaszcz lub stosuje się rury ogrzewające zawierające gorącą wodę lub parę. Mleko ogrzewane jest powoli, wraz z mieszaniem, aż do momentu kiedy temperatura osiągnie wymagany poziom i jest utrzymywane w tej temperaturze przez wymagany okres czasu, a następnie jest schładzane do $\leq 4^{\circ}\text{C}$. W wielu krajach, wymagana temperatura i czas wynoszą zazwyczaj 63°C przez 30 minut, ale można stosować inne kombinacje z tym samym efektem, jeśli pozwalają na to przepisy prawne. Zgodnie z modelem równania Arrheniusa, pokazanym na rys. 1, konieczny czas przetrzymywania mleka w temperaturze 65°C wynosi 9 min. Dla produktów zawierających więcej niż 10% zawartości tłuszczu, minimalne warunki to $+3^{\circ}\text{C}$ dodane do temperatury ($63+3^{\circ}\text{C}$) [19].

Pasteryzacja zbiornikowa jest powszechnie zastępowana przez ciągły proces HTST, ale wciąż jest stosowana w wielu krajach, szczególnie w warunkach małego przetwórstwa.

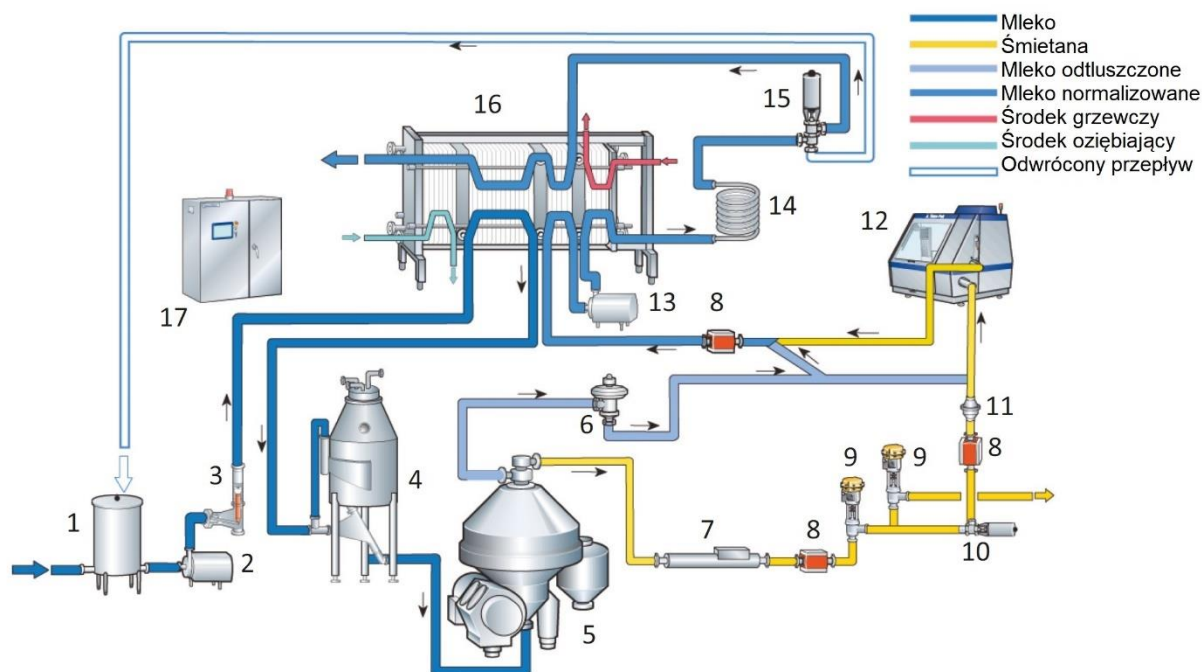


Rys. 1. Kombinacje minimalnych czasów i temperatury pasteryzacji. Pasteryzacja niska (LTST) prowadzona jest w temp. 63°C przez 30 min., a pasteryzacja ciągła (HTST) w 72°C przez 15 s. W temperaturze $\leq 72^{\circ}\text{C}$, wartości zgodne z równaniem Arrheniusa są ważne, dla temperatur $\leq 72^{\circ}\text{C} - 90^{\circ}\text{C}$, ważne są wartości zgodne z równaniem Kesslera. Wartości FDA pochodzą z Kodeksu Przepisów Federalnych (CFR), USA, 21, cz. 131 [19].

3.2. PASTERYZACJA METODĄ CIĄGLĄ (HTST)

Proces HTST jest stosowany głównie w produkcji mleka spożywczego, czyniąc je bezpiecznym do spożycia przez człowieka, ale jest także szeroko stosowany w stosunku do śmietanki i w produkcji sera. Minimalne warunki HTST obowiązujące w większości krajów to 72°C przez 15s dla mleka i $72^{\circ}\text{C} + 3^{\circ}\text{C}$ dla przetworów mlecznych o zawartości $\geq 10\%$ tłuszczu i dla mleka/suchej masy serwatkowej powyżej 18% lub zawierających dodaną substancję słodzącą [19]. Jednakże wielu przetwórców

stosuje nieco wyższe temperatury i/lub czasy. W przemysłowej pasteryzacji mleka o wysokiej zawartości tłuszczu $\geq 10\%$ lub dla śmietanki, stosuje się temperatury $75\text{--}90^\circ\text{C}$ przez $15\text{--}3$ s. Często minimalnymi zaleceniami kombinacji czasu i temperatury wynoszą $75^\circ\text{C}/15$ s dla produktów o $10\text{--}20\%$ zawartości tłuszczu i $80^\circ\text{C}/15$ s dla produktów o zawartości tłuszczu $\geq 20\%$. Stwierdzono, że zwiększanie temperatury pasteryzacji zmniejszało trwałość mleka spożywczego, a temperatura 75°C powodowała dłuższy okres przydatności do spożycia niż temperatury 80 , 85 lub 90°C , a $76,1^\circ\text{C}$ dłuższy okres trwałości niż $79,4^\circ\text{C}$ [20, 21]. Ta ostatnia grupa temperatur powoduje wyższą resztkową aktywność laktoperoksydazy przy niższej temperaturze pasteryzacji, co stanowi prawdopodobnie wyjaśnienie tego zjawiska. Hanson i wsp. [22] badali aktywację przetrwalników *Bacillus* w różnych warunkach obróbki cieplnej ($63^\circ\text{C}/30$ min; $72^\circ\text{C}/15$ s; $76^\circ\text{C}/15$ s; $82^\circ\text{C}/30$ min). Bezpośrednio po obróbce cieplnej, temperatura 63°C i 82°C powodowała niższą zawartość przetrwalników niż w temperaturze 72 i 76°C ; po 14 dniach przechowywania w temperaturze 6°C lub 10°C , różnice nie były statystycznie istotne. Standardowa liczba bakterii oznaczanych metodą płytkową po 14 dniach przechowywania w temperaturze 6°C była najniższa przy pasteryzacji w 82°C przez 30 min., w 14 dniu przechowywania w 10°C nie było istotnej różnicy. Liu i Ream [23] badali ekspresję genów przy powstawaniu i kiełkowaniu przetrwalników rodzaju *Bacillus* w odtłuszczonej mleku w warunkach ogrzewania. W temperaturze $72^\circ\text{C}/15$ s, nie stwierdzili większego wpływu; dla $80^\circ\text{C}/10$ min., zaobserwowali zarówno aktywację jak i hamowanie genów. Omawiane badania pokazują, że trudno jest określić ilościowo wpływ tworzenia się przetrwalników i kiełkowania na stabilność mleka pasteryzowanego. Niektóre kraje ograniczają zwiększanie ogrzewania mleka, aby ograniczyć zmiany chemiczne; wymaga się, aby enzym laktoperoksydaza pozostał aktywny [24]. Typowy zarys linii pasteryzatora HTST pokazano na rys. 2.



Rys. 2. Schemat typowego procesu pasteryzacji HTST w płytowym wymienniku ciepła. 1. Zbiornik wyrównawczy; 2. Pompa zasilająca produkt; 3. Regulator natężenia przepływu; 4. Odgazowywacz (często niekonieczny); 5. Wirówka do oddzielania śmietanki; 6. Zawór stałego ciśnienia; 7. Przetwornik gęstości; 8. Przepływomierz; 9. Zawory regulacyjne; 10. Zawór odcinający; 11. Zawór kontrolny; 12. Homogenizator (częściowa homogenizacja śmietanki i tylko część mleka odtłuszczonego); 13. Pompa wspomagająca; 14. Przetrzywacz rurowy; 15. Zawór zrzutowy (dla bezpieczeństwa produktu żywnościowego); 16. Płyty wymiennik ciepła wielosekcyjny; 17. Szafa sterowania (Schemat procesu jest

przykładem i nie obejmuje wszystkich prawnych wymagań różniących się w różnych krajach lub w związkach krajów) [43].

Oprócz drobnoustrojów chorobotwórczych, pasteryzacja niszczy także psychrotrofowe bakterie nieprzetwarzające. Jednakże, nie niszczy przetrwalników bakterii lub bakterii ciepłoopornych nieprzetwarzających takich jak mikrokokki, bakterie maczugowce (*coryneform*) oraz niektóre paciorkowce, znane jako ciepłooporne. Z powodu tych opornych bakterii, świeżo spasteryzowane mleko zawiera zawsze znaczną liczbę żywych bakterii. Ogólnie biorąc, nie rosną one wcale albo rozwijają się bardzo powoli w temperaturach chłodzenia (zazwyczaj 3,5–7°C) i wobec tego, odgrywają minimalną rolę w psuciu się pasteryzowanego mleka.

Mleko pasteryzowane jest pakowane w czystych ale nie aseptycznych warunkach w tekturowe kartony, butelki szklane lub z tworzywa sztucznego (Rys. 3) lub torebki z tworzywa sztucznego i przechowywane w warunkach chłodniczych. Aby ochronić mleko przed posmakiem utleniania przez światło oraz utratą witamin [25], materiał opakowaniowy może zawierać ochronę przed światłem, co jest powszechnie stosowane w niektórych krajach. Przydatność mleka pasteryzowanego do spożycia mleka waha się od kilku dni do około 20 dni. Powszechnie jest to trwałość 10-dniowa. Okres trwałości produktu jest ograniczony głównie przez początkową liczbę bakterii w mleku surowym, zanieczyszczenie popasteryzacyjne oraz temperaturę i czas przechowywania. Zwykle resztkowe bakterie ciepłooporne w pasteryzowanym mleku – z wyjątkiem psychrotrofowych bakterii przetrwalnikujących takich jak *Paenibacillus spp* i niektóre szczepy z grupy *Bacillus cereus*, o których donosi się w niektórych badaniach jako o drobnoustrojach powodujących głównie psucie się pasteryzowanego mleka – nie ograniczają trwałości mleka pasteryzowanego. Jeśli mleko pasteryzowane jest pakowane aseptycznie, tak że nie występuje zanieczyszczenie popasteryzacyjne, możliwe jest uzyskanie stabilności mleka do miesiąca w warunkach ścisłego chłodniczego przechowywania (<6°C) oraz stosowanie mleka surowego o niskiej liczbie bakterii. Wobec tego, mycie i dezynfekcja urządzeń w kierunku pracy pasteryzatora, szczególnie w doniesieniu do nalewarki oraz czystość ich otoczenia mają największe znaczenie dla trwałości pasteryzowanego mleka. Czynniki zanieczyszczającymi są przeważnie Gram-ujemne psychrotrofowe bakterie takie jak *Pseudomonas*, *Enterobacteriaceae* i *Aeromonas*. *Pseudomonas* pochodzą czasem z wody stosowanej do mycia i w procesie przetwórstwa. Wspomniane drobnoustroje rosną w temperaturach chłodzenia i powodują psucie się produktu poprzez swój metabolizm, co powoduje powstawanie kwaśnych, gorzkich, słodowych, owocowych, gnilnych, jełkich i/lub innych nieczystych posmaków. Nieprzyjemne posmaki rozwijają się kiedy liczba bakterii osiąga poziom 10^6 lub 10^7 jtk (jednostki tworzące kolonie, **ang.** CFU, colony forming units – przyp. tłum.). Pasteryzacja może powodować pewne zmiany chemiczne w mleku. Co ważne, naturalna lipaza mleka jest prawie całkowicie inaktywowana przez pasteryzację [17]; jest to korzystna sytuacja, gdyż lipaza powoduje rozpad trójglicerydów tłuszczu mlecznego (lipolizę) na wolne kwasy tłuszczowe, które przy stężeniu ≥ 1.5 mM, nadają mleku nieprzyjemne, jełkie i nieczyste posmaki³. Niewielki efekt zaobserwowano w odniesieniu do witamin rozpuszczalnych w wodzie (10% straty z wyjątkiem witaminy C której straty wynosiły około 20%). Białka serwatkowe ulegały denaturacji o około 5–20% [26].

³ Lipoliza powoduje także powstawanie niektórych glicerydów, które redukują zdolność pienienia się mleka. Lipoliza jest znacznie wzmagana przez homogenizację; wobec tego, jeśli pasteryzacja nie unieczynni lipazy, całe (homogenizowane) pasteryzowane mleko będzie jełkie.



Rys.3. Mleko pasteryzowane w butelkach z tworzywa sztucznego i w tekturowych kartonach laminowanych folią z tworzywa sztucznego, obydwa opakowania chronią przed światłem. Półka chłodnicza w supermarkecie (Fot: Walter Bisig).

3.3. KONTROLA I WERYFIKACJA SKUTECZNOŚCI PASTERYZACJI

Prawidłowe warunki pasteryzacji są spełniane i kontrolowane przez odpowiednie instalacje oraz działanie urządzeń do pasteryzacji jak również przez monitorowanie temperatury obróbki cieplnej oraz maksymalnej i aktualnej szybkości przepływu (szybkość przepływu musi być określona tak, aby była zgodna z wielkością wstępnie zaprojektowanego przetrzymywacza rurowego). Nieprawidłowo ogrzewane mleko będzie trzeba zawrócić w obiegu z powrotem do zbiornika wyrównawczego pasteryzatora przez zawór zwrotny. Następnie, nadciśnienie po stronie ogrzewanej w kierunku strony ogrzewanej i w kierunku strony czynnika chłodzącego jest monitorowane jako środek ostrożności, w przypadku przecieku, aby zapewnić, że ogrzewane mleko nie zostanie zanieczyszczone przez mleko nie poddane obróbce cieplnej, ani przez czynnik chłodzący.

Efekt pasteryzacji – dla zapewnienia bezpieczeństwa żywności – może być zweryfikowany różnymi alternatywnymi metodami, które podano poniżej w zarysie.

Próba na fosfatę alkaliczną:

Referencyjną metodą weryfikacji jest fluorometryczna próba na fosfatę alkaliczną [27]. Wartość

musi być ujemna (tj. $\leq 350 \text{ mU/L}$ określona odpowiednią metodą). Mierzona jest fluoro-żółta fluorescencja. Granica wykrycia w surowym mleku wynosi 0.006%. Metoda chemiluminiscencyjna na oznaczanie fosfatazy alkalicznej [28] jest także szeroko akceptowana [29].

Wspomniana metoda była od początku wybrana, ponieważ kinetyka inaktywacji omawianego enzymu ściśle odpowiada kinetyce zniszczenia *Coxiellas burnetii* i *Mycobacterium tuberculosis*.

Wyzwaniem metody z fosfatazą alkaliczną jest to, że na mierzone resztkowe poziomy fosfatazy alkalicznej ma wpływ wiele czynników i powinny być one brane pod uwagę w interpretacji wyników.

Obejmują one:

- Początkowe stężenie w mleku, które znacznie różni się pomiędzy różnymi gatunkami zwierząt i w obrębie danego gatunku;
- Zawartość tłuszczu mlekowego, gdyż fosfataza jest łatwo absorbowana na kuleczkach tłuszczowych;
- Stosowanie wstępnego ogrzewania, gdyż poziom fosfatazy alkalicznej obniża się wraz z ogrzewaniem, w tym w temperaturach stosowanych podczas wirowania i termizacji;
- Branie pod uwagę fosfatazy alkalicznej wytwarzanej przez drobnoustroje po pasteryzacji mleka, co może spowodować wynik jako „niepowodzenie pasteryzacji”, kiedy w rzeczywistości taka sytuacja nie istnieje. Podkreśla to ważność natychmiastowego pobrania próbek i badanie mleka po obróbce cieplnej.

Weryfikacja w oparciu o inną dokumentację:

Alternatywne metody weryfikacji mogą obejmować kombinacje następujących czynności:

- Sprawdzanie czy temperatura była zgodna z przepisami i czy była automatycznie notowana (codziennie);
- Badanie różnicy ciśnienia w płytach systemu w odniesieniu do strony mleka surowego (często określane);
- Monitorowanie i weryfikacja czasu przetrzymywania mleka (przy zmianach w procesie); oraz
- Rutynowe badanie mikrobiologiczne mleka pasteryzowanego (stosując analizę trendu).

4

MLEKO O PRZEDŁUŻONYM OKRESIE TRWAŁOŚCI (EXTENDED SHELF-LIFE. ESL)

Mleko ESL jest typem mleka wprowadzonym ostatnio na rynek. Mleko ESL wykazuje przydatność do spożycia chłodzonego sprzedawanego produktu, przedłużoną poza granice tradycyjnego pasteryzowanego produktu obecnego na określonym rynku [11]. Mleko to posiada trwałość chłodniczą przez 15–60 dni, zależnie od jakości mleka surowego, zastosowanej technologii ESL, stosowanego typu opakowania i systemu pakowania, rozmiaru zanieczyszczenia po obróbce, oraz temperatury w okresie po obróbce, w czasie przechowywania i podczas dystrybucji. Trwałość >35 dni można uzyskać tylko przy optymalnych wyżej wymienionych czynnikach, w tym przy przechowywaniu w temperaturze <6°C a najlepiej <4°C. Mleko ESL jest produkowane z zastosowaniem procesu obróbki cieplnej, która znajduje się pomiędzy pasteryzacją a obróbką UHT; albo poprzez kombinację baktofugacji lub mikrofiltracji i pasteryzacji, tam gdzie ten ostatni etap procesu jest po to, aby zapewnić bezpieczeństwo żywności we wszystkich okolicznościach i wobec tego spełnia wymagania prawne [11, 31]. Proces mikrofiltracji obejmuje obróbkę śmietanki w wysokiej temperaturze (110–125°C/3s) i proces baktofugacji, jeśli nie jest on pominięty. Przedłużenie okresu trwałości w zależności od zastosowanej technologii przedstawiono w Tabeli 2. W tabeli nie podano standardowych warunków temperatury/czasu dla obróbki ESL, ale najczęściej stosowana jest obróbka w obszarze temperatury 120 – 140°C przez 10-1 s; typowo stosowane są warunki obróbki w 125–130°C przez 6–2 s [11].

Tabela 2: Przedłużenie trwałości mleka ESL w temperaturze przechowywania 8°C [30]

Proces	Szczegóły	Trwałość (dni)
Pasteryzacja	72°C/15 s	7 – 10
Baktofugacja* + pasteryzacja		+ 2-4
Mikrofiltracja +HTT śmietanki** + pasteryzacja	1.4µm***	+11
Mikrofiltracja +HTT śmietanki** + pasteryzacja	0.8 µm***	+20
Obróbka w wysokiej temperaturze (HTT)	120-140°C/1-10 s, 125-130°C/2- 6 s w większości przypadków	+>20

*Podwójna baktofugacja może zwiększyć efekt; ** 110-125oC/3s; Wielkość porów w membranach mikrofiltracyjnych

Mleko ESL jest zazwyczaj pakowane w bardzo czystych warunkach otoczenia, wraz z dezynfekcją materiału opakowaniowego, z zaworami bezdotykowymi, oraz w czystej komorze ze sterylnym powietrzem. Czasem stosuje się pakowanie aseptyczne. Przetwórstwo metodą ESL z zastosowaniem obróbki cieplnej inaktywuje wszystkie wegetatywne (nieprzetrawialne) bakterie

ale nie wszystkie przetrwalniki. Pozostają niektóre mezofilne i termofilne przetrwalniki, które mogłyby być zdolne do kiełkowania i wzrostu w temperaturze otoczenia i powodować psucie się produktu, nawet jeśli mleko byłoby pakowane aseptycznie. Baktofugacja i mikrofiltracja oddziela przetrwalniki i drobnoustroje z mleka co wynika, odpowiednio, z różnicy w gęstości i wielkości oddzielanych zanieczyszczeń. Skuteczność redukcji drobnoustrojów dla baktofugacji wynosi 1–2 log redukcji przetrwalników oraz 3-6 log dla mikrofiltracji, w zależności od wielkości porów membrany filtracyjnej. Konsekwentnie, całe mleko ESL musi być przechowywane w warunkach chłodniczych.

W przypadku mleka ESL nie pakowanego aseptycznie, psucie się produktu jest najczęściej powodowane przez zanieczyszczenie poprodukcyjne. W przeciwieństwie do mleka pasteryzowanego, główne drobnoustroje powodujące psucie mleka to bakterie Gram-dodatnie. Jest prawdopodobne, że omawiane drobnoustroje pochodzą głównie z biofilmów w urządzeniach produkcyjnych, szczególnie w głowicach nalewarek. W mleku ESL pakowanym aseptycznie, jedynymi bakteriami, które mogą powodować psucie się produktu, są psychrotrofowe bakterie przetrwalnikujące, których przetrwalniki przeżywają proces ogrzewania. Ważnym drobnoustrojem przetrwalnikującym jest *Bacillus cereus* ponieważ niektóre szczepy są psychrotrofowe i mogą wytwarzać toksyny, które mogą powodować choroby. Jednakże, potencjalni „producenci” toksyn nie są szczepami psychrotrofowymi [31]. Badania pokazują, że aby zniszczyć przetrwalniki większości przetrwalnikujących drobnoustrojów, wymagane jest ogrzewanie w temperaturze $\geq 134^{\circ}\text{C}$ przez ~ 4 s [11].

Głównym celem produkcji mleka ESL jest uzyskanie produktu o podobnych cechach organoleptycznych jakie wykazuje mleko pasteryzowane. Oznacza to, że wielkość „zmian chemicznych” w składnikach mleka, która powoduje zmiany smaku i zapachu, powinna być minimalna. Istnieją liczne chemiczne wskaźniki obróbki cieplnej, ale jeden który jest trwały to stopień denaturacji białka serwatkowego β -globuliny, ponieważ lotne związki siarkowe powstałe z tego białka podczas obróbki cieplnej przyczyniają się do powstania posmaku gotowania w ogrzewanym mleku. Zaleca się, aby mleko ESL zawierało conajmniej 50-60% rodzimej β -globuliny, aby uniknąć powstawania omawianych posmaków na wyczuwalnym poziomie. Mleko ESL produkowane metodą bezpośredniego ogrzewania (wtrysk pary lub infuzja pary) w wysokiej temperaturze przez krótki okres czasu i w optymalnych warunkach, zawiera 50-85% rodzimej β -globuliny, podczas gdy mleko ESL otrzymywane metodą pośredniego ogrzewania w niższych temperaturach przez dłuższy okres czasu zawiera dużo mniej rodzimej β -globuliny i wobec tego, należałoby się spodziewać wyczuwalnego posmaku ogrzewania. Wspomniany posmak jest głównie spowodowany lotnymi związkami siarkowymi. Podczas pakowania mleka, omawiane związki są utleniane przez tlen obecny w górnej części urządzenia pakującego, rozpuszczają się w mleku, lub przenikają przez materiał opakowaniowy i posmak ogrzewania zmniejsza się. W nieprzepuszczającym gazu aseptycznym opakowaniu, zawierającym warstwę aluminium, pozostanie on przez dłuższy czas. W rozległym badaniu handlowego mleka ESL w Austrii, zawartość rodzimej β -globuliny podzielono na dwie grupy, jedna z zawartością 1800 – 3400 mg L⁻¹ (32 próbki), druga 140 – 430 mg L⁻¹ (39 próbek) [31]. W porównaniu do mleka surowego, o przeciętnej zawartości β -globuliny 4019 mg L⁻¹, przeciętna zawartość rodzimej β -globuliny dla tych dwóch grup wynosiła odpowiednio 66% i 7%. Można przypuszczać, że mleko ESL z pierwszej grupy było wyprodukowane metodą bezpośredniego ogrzewania (wtrysk pary lub infuzja pary) lub w rekombinowanym procesie baktofugacja – lub mikrofiltracja – obróbka cieplna, podczas gdy druga grupa mleka,

zawierającego tylko 7% rodzimej β -globuliny, była wyprodukowana w procesie pośredniej obróbki w wysokiej temperaturze.

Chociaż okres przydatności do spożycia mleka ESL jest ograniczony zwykle przez bakteryjne psucie, może być także ograniczony przez rozwój gorzkiego posmaku. Ta wada smaku i zapachu jest wynikiem proteolizy przez ciepłooporne proteazy, produkowane przez bakterie psychrotrofowe obecne w mleku surowym przed obróbką. Warto zauważyć, że jest mało prawdopodobne, że może to być spowodowane efektem obecności plazminy, gdyż enzym ten ma bardzo niską aktywność w temperaturach chłodzenia. Plazmina nie jest inaktywowana przez obróbkę cieplną mleka ESL.

5

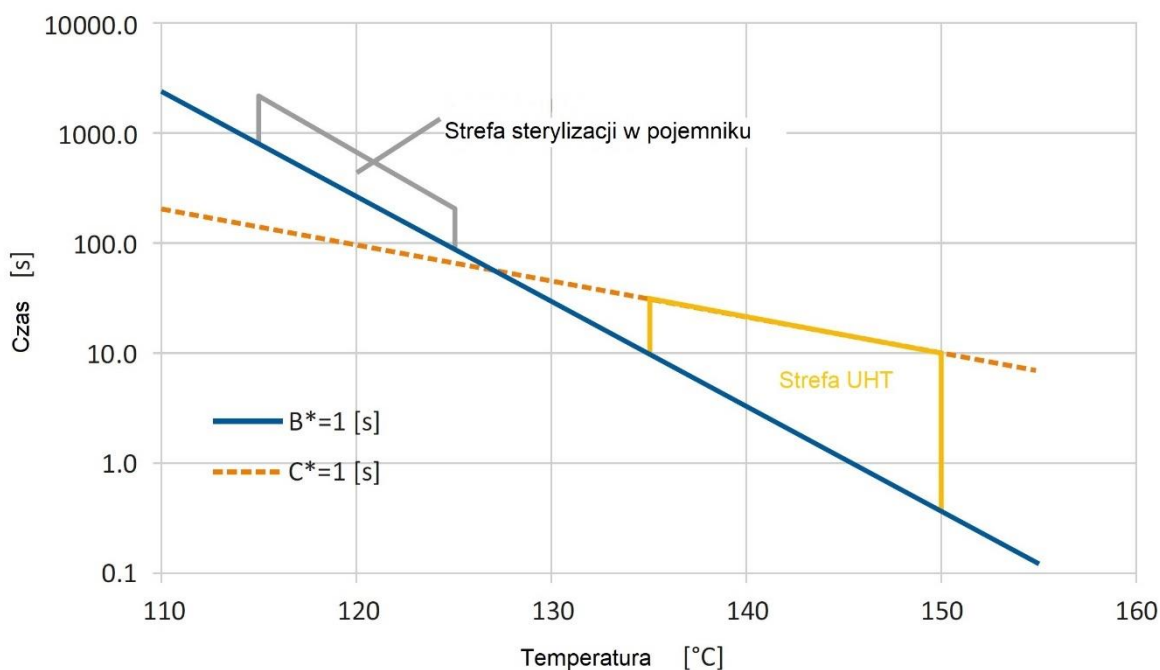
OBRÓBKA MLEKA W ULTRA-WYSOKIEJ TEMPERATURZE (UHT)

Przetwórstwo UHT produkuje mleko, które nazywamy „handlowo sterylnym” mlekiem. Oznacza to, że obróbka cieplna nie koniecznie niszczy wszystkie bakterie w mleku, ale niszczy bakterie które prawdopodobnie będą rosły w normalnych warunkach przechowywania w temperaturze otoczenia [11, 32]. Warunki czasu/temperatury w procesie UHT różnią się, ale mieszczą się w zakresie ogrzewania w temperaturach 135 do 150°C przez 10-1 s. Unia Europejska [31] stawia wymagania temperatury $\geq 135^\circ\text{C}$ „w połączeniu z odpowiednim czasem przetrzymywania”; w USA wymagania te wynoszą 280°F (137,8°C) przez ≥ 2 s (ultrapasteryzacja) [19]. Minimalne warunki ogrzewania określone w wielu normach to 135°C przez 1 sek chociaż obecnie niektóre kraje nie precyzują minimalnych warunków obróbki cieplnej. Jak to zostanie pokazane poniżej, obróbka w temperaturze 135°C przewiduje mniej niż ogólnie zalecany efekt bakteriobójczy.

Ważną cechą procesu UHT jest aseptyczne pakowanie, które obejmuje aseptyczny tank do przetrzymywania mleka podanego obróbce UHT przed pakowaniem, oraz aseptyczną nalewarkę. Taki schemat zapewnia, że żadne bakterie nie przedostaną się do produktu po etapie UHT. Obecnie do mleka UHT stosuje się wiele typów opakowań aseptycznych, w tym kartony tekturowe, zawierające warstwę aluminiową, butelki z tworzywa sztucznego i torebki z tworzywa sztucznego. Materiał opakowaniowy jest sterylizowany tuż przed napełnieniem, następnie hermetycznie zamykany; jest on wykonany z materiału wykluczającego obecność bakterii, a w większości przypadków, światła i tlenu, które mogą powodować zepsucie mleka podczas przechowywania.

Proces UHT można scharakteryzować w odniesieniu do jego bakteriobójczych i chemicznych efektów. Wskaźniki stosowane dla określenia tych efektów odpowiednio, to wartości F_0 lub B^* i C^* . F_0 określa związek pomiędzy temperaturą i czasem sterylizacji ($F_0 = 1$ po ogrzewaniu produktu w temperaturze 121.1°C przez 1 minutę, albo równoważna kombinacja temperatury/czasu, stosując wartość-z wynoszącą 10°C). Taka obróbka cieplna prowadzi do 5-log redukcji *Clostridium botulinum*. Minimalne akceptowane F_0 dla sterylizacji produktu spożywczego o niskiej kwasowości takiego jak mleko wynosi 3.0 co odpowiada 12-log redukcji *C. botulinum* (patrz także: rozdział Sterylizacja w Pojemniku). Wartość B^* jest inną miarą efektu bakteriobójczego obróbki cieplnej. Wartość $B^* = 1$ jest równoważna z obróbką cieplną 10,1 sek w temperaturze 135°C i powoduje 9-log redukcję termofilnych przetrwalników. Wartość C^* jest miarą zmian chemicznych w oparciu o zniszczenie witaminy – tiaminy, gdzie $C^* = 1$ odpowiada 3% redukcji przetrwalników i jest równoważna z ogrzewaniem w temperaturze 135°C przez 30,5 s. Zaleca się aby proces UHT miał minimum $F_0 3$ lub $B^* \geq 1$ i $C^* \leq 1$. Kombinacje temperatury/czasu spełniające niniejsze wymagania pokazano w „strefie UHT” na rys. 4. B^* jest preferowane w porównaniu do F_0 dla procesu UHT gdyż jego temperatura

referencyjna (135°C) znajduje się w zakresie temperatur dla UHT; F_0 jest najbardziej odpowiednie dla sterylizacji w pojemniku, w której stosuje się temperatury bliskie temperaturze referencyjnej 121,1°C. W praktyce, wartości B^* produktów poddanych przemysłowym procesom UHT są zazwyczaj >1 . Wartości C^* znacznie się różnią, ale często wynoszą <1 dla metod bezpośredniego ogrzewania i >1 dla układów ogrzewania pośredniego (patrz poniżej). Wartość B^* dla minimalnych warunków procesu UHT w temperaturze 135°C przez 1 s wynosi około 0,1, ale jest to wyraźnie niedostateczne dla przemysłowego procesu UHT [11].



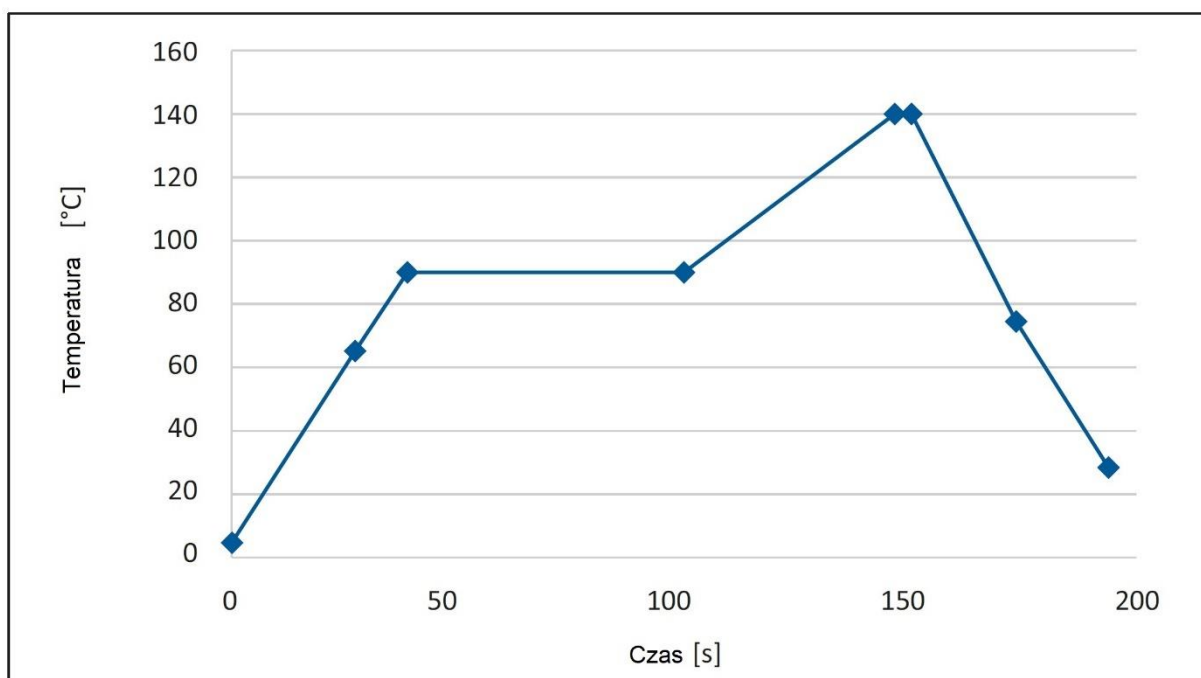
Rys. 4. Strefy kombinacji temperatury/czasu dla obróbki UHT i sterylizacji w pojemnikach. Minimalne warunki dla zniszczenia przetrwalników są reprezentowane przez linię $B^*=1$, reprezentując 9-log redukcję termofilnych przetrwalników. Linia $C^*=1$ przedstawia 3% zniszczenie tiaminy i jest zalecaną granicą obróbki UHT, aby uniknąć rozwoju nadmiernego posmaku gotowania [5].

Drobnoustroje docelowe w planowaniu procesu UHT to przetrwalniki, pochodzące głównie z gatunku *Bacillus* i *Bacillus*-podobne. *Clostridium botulinum*, organizm chorobotwórczy będący przedmiotem najwyższej troski o bezpieczeństwo żywności poddawanej sterylizacji w pojemniku i w procesie UHT, ulega zniszczeniu przez mniej „surowe” warunki ogrzewania w procesie UHT niż są wymagane dla zniszczenia większości gatunków *Bacillus* i wobec tego, nie jest to główny drobnoustrój powodujący niepokój przy planowaniu procesów UHT.

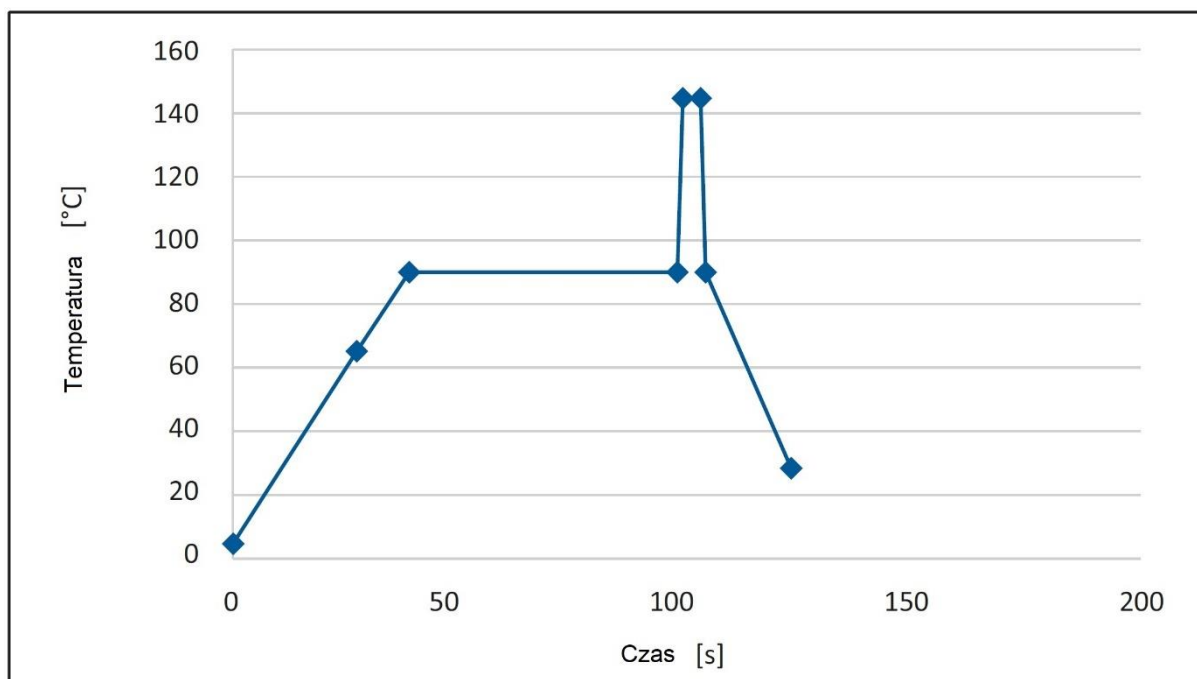
Oczekuje się, że proces prowadzony przy wartości $B^* \geq 1$ zniszczy prawie wszystkie przetrwalniki. Jedyne pozostające to bardzo ciepłooporne przetrwalniki takich gatunków jak *Geobacillus stearothermophilus* i *Bacillus sporothermodurans*. Ten ostatni jest drobnoustrojem termofilnym powodującym psucie mleka, jeśli jest przechowywane w temperaturach $\geq 50^\circ\text{C}$ co może mieć miejsce w klimacie tropikalnym i w niektórych hurtowniach. O *B. sporothermodurans* po raz pierwszy informowano w latach 90-tych XX wieku, że powoduje niewielkie lub nie powoduje żadnego psucia się produktu, ale stwierdzono, że zanieczyszcza on poddany obróbce produkt głównie poprzez konieczność zwracania mleka UHT w obiegu i przechowywanego conajmniej przez kilka tygodni w warunkach otoczenia lub przez kilka dni w warunkach inkubacji, kiedy drobnoustroje, które mogą przeżyć obróbkę UHT zaczynają się namnażać. Kiedy takie mleko „wzbogacone” o wspomniane

przetrawalniki zostaje poddane obróbce UHT w standardowych warunkach dla UHT; w rezultacie, powoduje to masywne zanieczyszczenie mleka [34].

Istnieją dwie główne formy obróbki UHT: bezpośrednia i pośrednia [35]. Procesy bezpośrednie obejmują mieszanie pary z mlekiem, albo poprzez wtrysk pary (para jest wtryskiwana do przepływu mleka) albo przez infuzję pary (mleko przechodzi przez komorę wypełnioną parą). Procesy pośrednie to ogrzewanie mleka metodą przewodzenia i przenoszenia ogrzewania w urządzeniu ze stali nierdzewnej, albo w postaci wymienników ciepła, płytowych lub rurowych. Główną różnicą pomiędzy wyżej wymienionymi systemami jest szybkość ogrzewania do temperatury sterylizacji, a następnie schładzania. W systemach stosujących metodę bezpośrednią, ogrzewanie do ustalonej temperatury jest niezmiernie szybkie, ~ 0.1 s do podniesienia temperatury z 70°C do 140°C , podczas gdy ogrzewanie produktu w sekcjach ogrzewania i oziębiania w urządzeniach stosujących metodę pośrednią odbywa się w ciągu kilkunastu sekund [11] (patrz Rys. 5 i 6). Wspomniana różnica pomiędzy metodą bezpośrednią i pośrednią ma istotnie znaczące konsekwencje dla charakteru produktów. Procesy bezpośrednie powodują znacznie mniej zmian chemicznych, na przykład, w odniesieniu do związków smakowo-zapachowych, w porównaniu do procesów pośrednich przy tej samej inaktywacji bakterii (tj. taka sama wartość B^*). Wynik ten związany jest z dużo większym znaczeniem sekcji ogrzewania i oziębiania w procesie pośrednim w porównaniu do procesu bezpośredniego pod względem wartości C^* , która jest miarą zmian chemicznych.



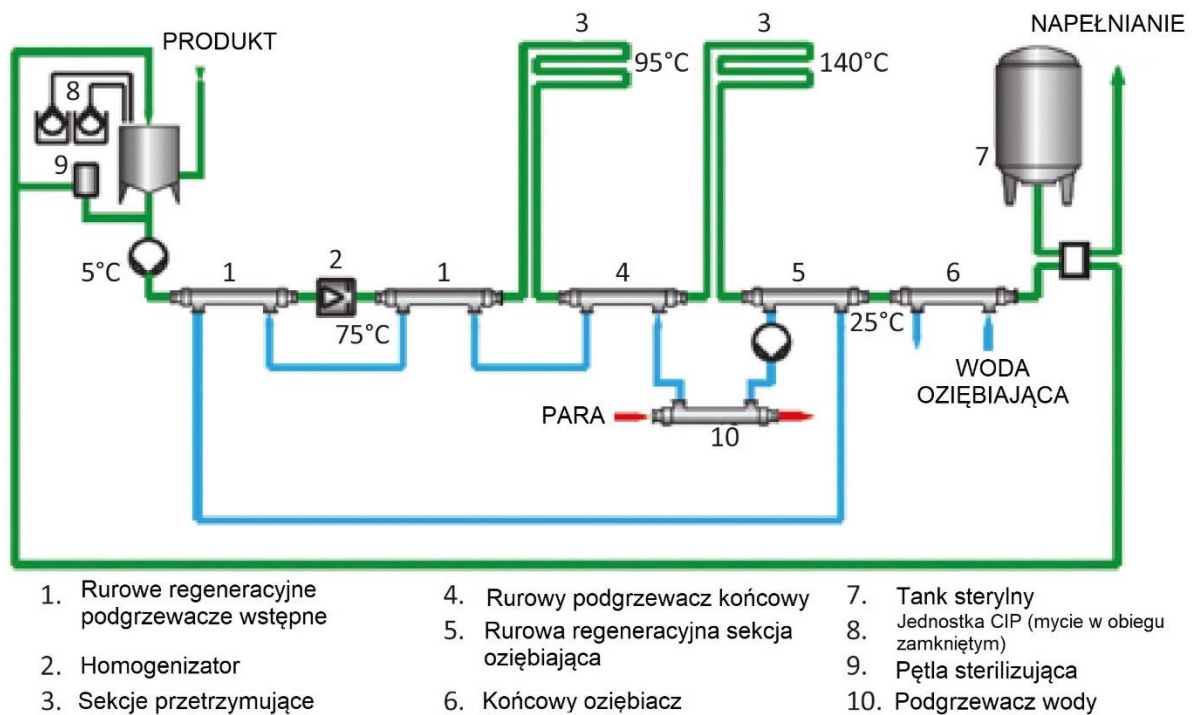
Rys. 5. Profil temperatury/czasu w urządzeniu UHT w pośredniej metodzie w tym stabilizujący przetrzymywacz rurowy [36].



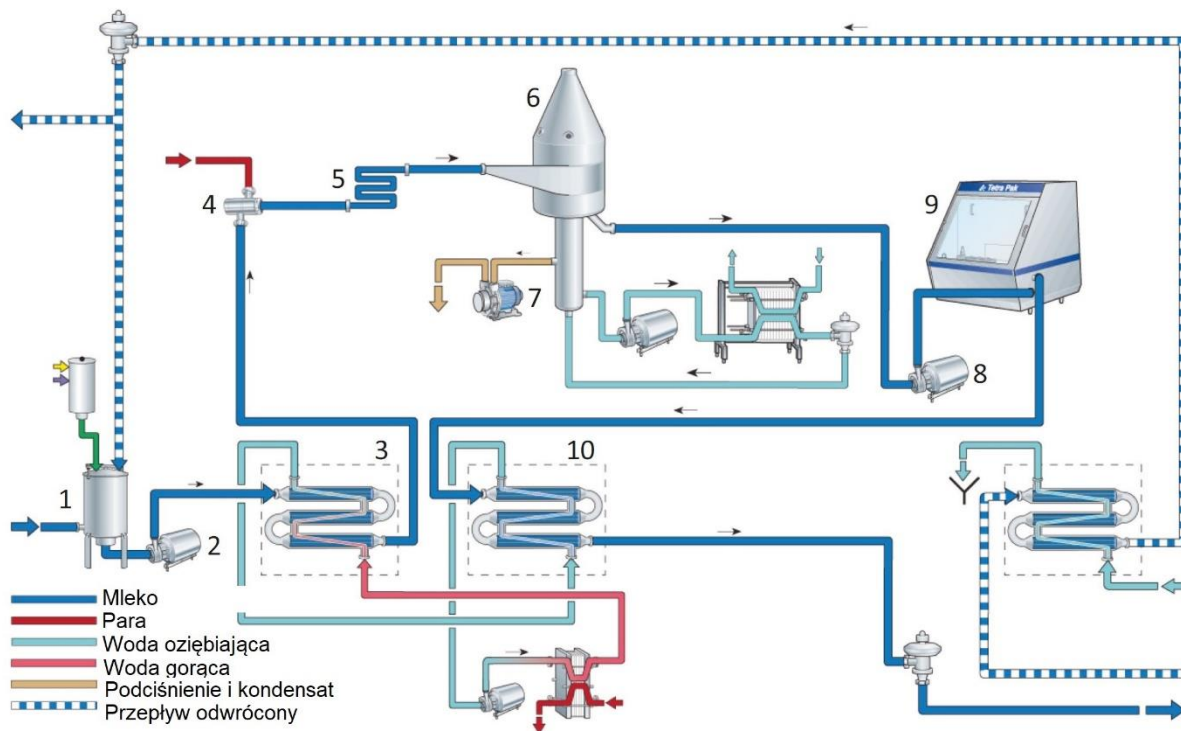
Rys. 6. Profil temperatury/czasu w urządzeniu UHT w bezpośredniej metodzie i czasie wstępnego przetrzymywania [36]. Temperatura i czas wstępnego ogrzewania mogą znajdować się pomiędzy temperaturą 65°C a 80°C zamiast 90°C i przez krótszy okres czasu, dla niższej temperatury i krótszego okresu przydatności do spożycia. W tym względzie, przedstawione warunki mogą nie obejmować wymagań prawnych we wszystkich krajach.

Jak pokazano na rys. 5 i 6, urządzenia UHT w połączeniu z pakowaniem aseptycznym, zawierają trzy główne sekcje: wstępne ogrzewanie, wysoka temperatura ogrzewania oraz sekcja oziębiania [35]. Urządzenia te zawierają także homogenizator, umieszczony albo „w górę strumienia produktu” (w procesach pośrednich) albo „w dół strumienia produktu” (albo w procesach pośrednich albo bezpośrednich) w sekcji wysokiego ogrzewania. Schemat pośredniego (rurowego) urządzenia UHT przedstawiono na rys. 7, a układ z bezpośrednim wtryskiem pary do rurowego wymiennika ciepła pokazano na rys. 8. Wszystkie systemy pośrednie i niektóre bezpośrednie posiadają sekcję wstępnego ogrzewania, która zawsze polega na ogrzewaniu pośrednim, z zastosowaniem albo płytowego albo rurowego wymiennika ciepła. Zastosowanym czynnikiem grzewczym (płynny) w sekcji wstępnego ogrzewania jest gorąca woda albo gorące mleko po obróbce UHT, tak więc odzyskiwany jest znaczny procent ciepła. Całkowity odzysk energii cieplnej może wynosić aż 90% w systemach pośrednich, ale tylko około 50% w systemach bezpośrednich. Wspomniana różnica występuje ponieważ w procesach bezpośrednich stosuje się oziębiacz rozprężny (komora próżniowa) bezpośrednio po wyjściu produktu z sekcji rurowego przetrzymywacza w celu oziębienia mleka do temperatury wstępnego ogrzewania i usunięcia nadmiaru wody wchłoniętej podczas kondensacji pary grzejnej. Etap ten jest konieczny w celu ponownego ustanowienia tego samego poziomu wilgoci w produkcie, jaki był przy wejściu do instalacji UHT. W systemach bezpośrednich, mleko jest ogrzewane do temperatury 70–80°C w sekcji wstępnego ogrzewania, ale w systemach pośrednich jest zazwyczaj ogrzewane do 90–95°C i przetrzymywane przez 30–120 s w stabilizującej części rurowego przetrzymywacza w celu zminimalizowania zapychania się wymiennika ciepła oraz zwykłego rurowego przetrzymywacza, i aby inaktywować proteazę rodzimą, plazminę. W systemach bezpośrednich, oraz aby obniżyć wysoką temperaturę, czas wstępnego ogrzewania i temperatura może znajdować się pomiędzy 65 a 80°C zamiast 90°C i przez krótszy czas, dając w rezultacie krótszy okres trwałości

produktu.



Rys. 7. Schemat rurowej instalacji UHT metodą pośrednią (na podstawie SPX Flow Inc.,) Linie zielone: mleko; Linie niebieskie: woda, płynąca w kierunku przeciwnym do mleka celem odzysku ciepła. Zielona linia na dole oznacza odwrócenia kierunku przepływu mleka, jeśli minimalna docelowa temperatura UHT nie zostanie osiągnięta (zawór zwrotnego przepływu oznaczony jest jako kwadrat poniżej sterylnego tanku 7).



Rys. 8. Proces UHT z ogrzewaniem poprzez bezpośredni wtrysk pary, z połączeniu z rurowym wymiennikiem ciepła; 1. Zbiornik wyrównawczy; 2. Pompa zasilająca; 3. Rurowy wymiennik ciepła-wstępny podgrzewacz; 4. Głowica inżektora parowego; 5. Przetrzymywacz rurowy; 6. Oziębiacz rozprężny (komora próżniowa); 7. Pompa próżniowa; 8. Pompa wirowa; 9. Homogenizator aseptyczny; 10. Rurowy wymiennik ciepła, oziębiacz [43]. Jeśli mleko nie osiąga wymaganej minimalnej

temperatury w procesie UHT przed 6, mleko jest zawracane do zbiornika wyrównawczego.

Poziom ciepła podczas ogrzewania do temperatury około 80°C i schładzania od 80°C w dół po przejściu przez komorę próżniową ma niewielki wpływ na ogólną wartość B* i C* dla całego procesu. Konsekwentnie, wspomniane wskaźniki mogą być ściśle oszacowane w systemach bezpośrednich na podstawie temperatury UHT i czasu przetrzymywania (np. 140°C przez 4 s). Jednakże, w przypadku systemów pośrednich, ilość ciepła, która przyczynia się do uzyskania wartości B* i C*, obejmuje wartość z sekcji wstępnego ogrzewania i końcowego ogrzewania do temperatury UHT, efekt czasu przetrzymywania oraz wielkość pochodzącą z sekcji schładzania powyżej temperatury ~80°C. Inaczej mówiąc, obliczenia wartości B* a w szczególności wartości C* oparte wyłącznie na parametrach UHT będą niedoszacowaniem efektów ogólnych.

W mleku UHT występuje znacznie więcej zmian chemicznych niż w mleku pasteryzowanym [11]. Zmiany nie występują tylko podczas ogrzewania, ale także podczas przechowywania mleka w temperaturze otoczenia powyżej kilkunastu miesięcy. Zmiany podczas ogrzewania są dużo większe w mleku poddanym obróbce metodą pośrednią niż w przypadku mleka poddanego procesowi bezpośredniego ogrzewania. Ważniejsze zmiany zauważone przez konsumentów to te, które powodują powstawanie posmaków gotowania i utleniania podczas ogrzewania, oraz posmaków stęchłych lub utlenienia podczas przechowywania. Posmaki gotowania/ogrzewania pochodzą z lotnych związków siarki powstających podczas denaturacji białek serwatkowych, szczególnie β -laktoglobuliny, oraz związków powstałych w reakcji Maillarda, reakcji zapoczątkowanej przez interakcję pomiędzy laktozą a grupami aminowymi w białkach. Denaturacja ma głównie miejsce podczas ogrzewania, podczas gdy reakcja Maillarda, aczkolwiek zapoczątkowana podczas ogrzewania, postępuje podczas przechowywania. Oprócz rozwoju posmaków stęchlizny i utleniania, które pojawiają się po około 2 miesiącach, podczas przechowywania mogą rozwinąć się posmaki: gorzki a nawet jełki. Są one spowodowane obecnością resztkowych ciepłoopornych proteaz i lipaz; zawierają one enzymy utworzone w mleku surowym przez bakterie psychrotrofowe, a także plazminę. Obecność wysokich poziomów zewnątrzkomórkowych enzymów bakteryjnych jest, w większości przypadków, wskaźnikiem mleka surowego złej jakości (tj. o liczbie bakterii >106 jtk/mL). Niemniej jednak, niższe poziomy bakterii psychrotrofowych w mleku nie są gwarantem niskiej aktywności enzymatycznej w mleku poddanym obróbce UHT. Poziom plazminy w mleku UHT jest częściowo zależny od stanu wymion (*mastitis*) u krów (aktywność w mleku surowym wzrasta wraz z liczbą komórek somatycznych) oraz od etapu laktacji, ale głównie od warunków obróbki UHT, szczególnie warunków wstępnego ogrzewania. Reakcje enzymatyczne związane z plazminą odnoszą się głównie do mleka UHT produkowanego metodą bezpośrednią i zdarzają się bardzo rzadko w mleku poddanym obróbce metodą pośrednią.

Inne zmiany, które nie są oczywiste dla konsumenta obejmują zmiany w białkach takie jak denaturacja podczas ogrzewania i laktosylacja (reakcja z grupą laktosylową, początkowy etap powstawania związków Maillarda – przyp. tłum.), defosforylacja, dezamidacja oraz różne wiązania krzyżowe pomiędzy nimi podczas przechowywania [36]. Rozmiar tych zmian można zaobserwować na podstawie elektroforetogramów mleka świeżego i przechowywanych mlek UHT, które różnią się bardzo od siebie. Laktosylację mierzy się zwykle w przeliczeniu na furozynę, pochodną uwalnianą podczas analizy metodą kwasowego trawienia laktulozylo-lizyny, pierwszego stabilnego produktu w początkowej reakcji Maillarda pomiędzy laktozą a lizyną. Laktoza zmienia się na drodze epimeryzacji na laktulozę podczas ogrzewania (epimeryzacja – zmiana konfiguracji podstawników np. d-glukoza

ulega epimeryzacji do d-mannozy, przyp. tłum.), ale nieco mniejsza dalsza zmiana ma miejsce podczas przechowywania [37]. Niektóre rozpuszczalne w wodzie witaminy ulegają zniszczeniu; jednakże, poziom zniszczenia jest zawsze nieco niższy niż 20%; wyjątkiem są witamina C i kwas foliowy, które ulegają większym stratom, szczególnie podczas przechowywania. Utrata witaminy C i kwasu foliowego jest szczególnie uzależniona od zawartości tlenu w mleku. Zawartość witaminy C w mleku ogólnie nie jest istotna z żywieniowego punktu widzenia; jednakże, obniża to szybkość innych procesów utleniania w mleku podczas przechowywania. W przeciwieństwie do powyższego, zawartość kwasu foliowego w mleku ma ważną wartość pod względem żywieniowym.

Utrzymanie jakości i trwałości biologicznego płynu, jakim jest mleko, podczas przechowywania w temperaturach otoczenia przez okres do 12 miesięcy jest wyzwaniem. Aby to nastąpiło, mleko surowe musi być dobrej jakości, warunki przerobu powinny być optymalne, czystość zakładów przetwórczych i ich urządzeń musi być doskonała, a warunki przechowywania muszą być sprzyjające. W praktyce, trudno jest kontrolować wszystkie wymienione warunki i stąd od czasu do czasu występują wady w mleku UHT. Główne wady i ich prawdopodobne przyczyny obejmują:

- Zanieczyszczenie bakteryjne po sterylizacji przez różne czynniki;
- Zanieczyszczenie bakteryjne przez ciepłooporne przetrwalniki bakteryjne; jest to rzadkie, ale może mieć miejsce w warunkach gorącego klimatu, spowodowane przez bakterie termofilne takie jak *Geobacillus stearothermophilus*;
- Koagulacja mleka, spowodowana przeważnie przez produkcję kwasu przez bakterie;
- Żelifikacja spowodowana starzeniem się produktu oraz powstawanie goryczki, przeważnie w wyniku proteolizy spowodowanej przez ciepłooporne proteazy bakteryjne, ale także może być wynikiem proteolizy przez plazminę mleka, jeśli warunki obróbki, w szczególności warunki wstępnego ogrzewania w systemach bezpośrednich, nie są dostatecznie intensywne. Żelifikacja wraz z wiekiem produktu może także nastąpić w wyniku procesów fizyko-chemicznych takich jak polimeryzacja kazeiny i białek serwatkowych w reakcji Maillarda lub z powodu obniżonego potencjału powierzchniowego niektórych miceli kazeiny, które ulegają agregacji wraz z upływem czasu [38].
- Sedymentacja, zazwyczaj wynik przetwarzania niestabilnego mleka, którą często przypisuje się brakowi równowagi w zawartości soli w mleku (np. wysoki stosunek jonowego wapnia do fosforanów lub niska wartość pH ($\leq \sim 6.5$)). Sedymentacja może także być wynikiem aktywności enzymatycznej w odniesieniu do białek.
- Separacja tłuszczu, często spowodowana nieodpowiednią konserwacją homogenizatora lub nieodpowiednim ciśnieniem homogenizacji; może także towarzyszyć żelifikacji enzymatycznej, gdy kazeina związana jest z kuleczkami tłuszczowymi tłuszczu mleka.

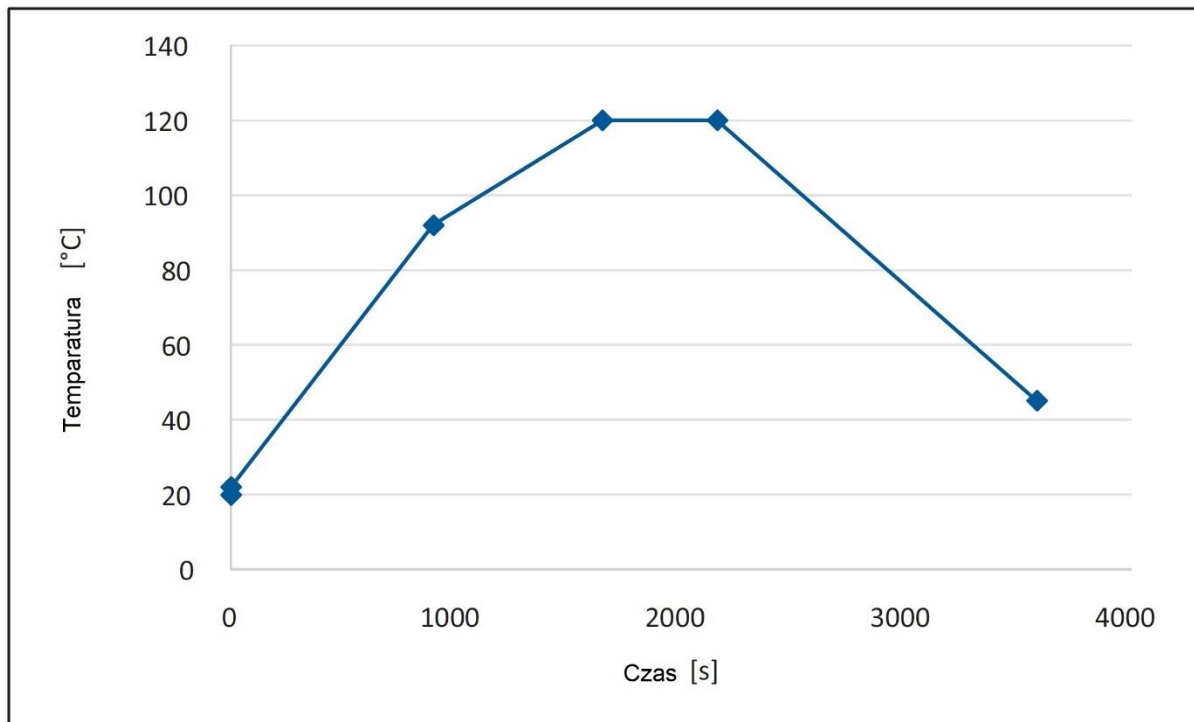
Stwierdzono, że mikrofiltracja i homogenizacja pod ultrawysokim ciśnieniem przedłuża stabilność i okres przydatności do spożycia mleka UHT do ponad roku [39].

6

STERYLIZACJA W OPAKOWANIU

Sterylizacja w opakowaniu jest najbardziej intensywną obróbką cieplną stosowaną do mleka i przetworów mlecznych [38]. Podobnie jak obróbka UHT, jest stosowana w celu uzyskania „handlowo sterylnego” produktu. W latach dwudziestych do lat sześćdziesiątych XX wieku, zanim w wielu krajach wprowadzono obróbkę mleka UHT w ciągłym przepływie w połączeniu z aseptycznym pakowaniem, jedynym przemysłowym procesem sterylizacji mleka była metoda sterylizacji „wsadowej”, w pojemnikach. Jest ona wciąż stosowana obecnie w wielu krajach o niskich i średnich przychodach oraz w odniesieniu do niektórych przetworów mlecznych takich jak zagęszczone/skondensowane przetwory mleczne, desery, mleka smakowe, odżywki dla niemowląt oraz preparaty kliniczne, ale w krajach o wysokich przychodach została ona w znacznym stopniu zastąpiona przez obróbkę UHT w połączeniu z aseptycznym pakowaniem [40].

Sterylizacja w pojemnikach obejmuje typowe ogrzewanie w temperaturze 110-120°C przez 20–10 min (albo 125°C przez 3 min) w retorcie pod ciśnieniem, w procesie okresowym lub ciągłym. Kombinacje temperatury i czasu pokazano na rys. 4 jako „sterylizację w opakowaniu”. Warunki procesu są zaplanowane tak aby uzyskać co najmniej 12-log redukcję przetrwalników *Clostridium botulinum*. Tak zwane 12 D lub „gotowanie botuliny” jest równoważne z działaniem temperatury 121°C przez 2,6 min, zakładając wartość D_{121} dla *C. botulinum* = 13 s (to jest, $F_0 = 2,6$, zaokrąglone w praktyce do 3). Czas ogrzania produktu do temperatury sterylizacji jest dość długi (np. 20–30 min.) tak jak i czas potrzebny do schłodzenia produktu poddanego obróbce do temperatury pokojowej (patrz rys. 9). Tak więc, całkowity czas omawianego procesu jest dużo dłuższy niż czas obróbki UHT, który zazwyczaj zajmuje tylko 3–10 minut, w tym aseptyczne przechowywanie i aseptyczne pakowanie gotowego produktu. Niektóre alternatywne metody sterylizacji w opakowaniu włączają mechanizmy wstrząsania lub toczenia w celu przyspieszenia transferu ciepła w produkcie i w ten sposób skrócenia czasu całego procesu. Dla niektórych przetworów mlecznych stosuje się połączenie procesu UHT bez aseptycznego pakowania ze sterylizacją w opakowaniu. Produkt jest poddany obróbce UHT w temperaturze, na przykład 138°C przez 3 s, nalewany do butelek, które są wówczas szczelnie zamykane i poddane obróbce w tradycyjnej retorcie. W takim połączonym procesie, czas przetrzymywania w retorcie jest także skrócony.



Rys. 9. Profil temperatury/czasu w procesie sterylizacji w opakowaniu [5]

Zniszczenie bakterii, stwierdzone na podstawie wartości F_0 , w przypadku sterylizacji w opakowaniu i obróbki UHT jest zasadniczo takie samo, ale efekty chemiczne tych dwóch procesów bardzo się różnią [11, 40]. Główną konsekwencją tej różnicy w odniesieniu do mleka jest to, że sterylizacja w pojemniku wywiera dużo większy wpływ na smak, zapach, barwę i wartość odżywczą produktu niż obróbka UHT. Mleko sterylizowane w opakowaniu ma bogaty posmak gotowania i brązowawe zabarwienie w wyniku reakcji brunatnienia Maillarda, a wiele witamin rozpuszczalnych w wodzie ulega znacznej degradacji. Omawiane zmiany są główną przyczyną wprowadzenia obróbki UHT w latach 60-tych XX wieku. Należy wspomnieć, że zmiany chemiczne w produktach poddanych obróbce przez wytrząsanie i toczenie w retortach w wyższych temperaturach przez krótszy czas, są mniejsze niż zmiany w produktach w tradycyjnych retortach, ale wciąż znacznie większe niż zmiany stwierdzone w mleku UHT.

Dla pomyślnej sterylizacji w opakowaniu wymaga się, aby produkt wykazywał dobrą stabilność cieplną, aby uniknąć koagulacji, spowodowanej wysoką temperaturą podczas procesu retortowania. Na stabilność cieplną mleka wpływa wiele czynników; jednakże, dwa najważniejsze brane pod uwagę to pH i stężenie jonów wapnia i magnezu. Stabilność termiczna mleka niezagęszczonego jest wysoka, maksymalna przy $\text{pH} \sim 6.7$. Dodatek jonowego wapnia obniża pH i stabilność cieplną podczas gdy dodanie wodorofosforanu sodu lub cytrynianu trisodowego zwiększa stabilność cieplną. Jednakże, dodatek ten nie jest zazwyczaj konieczny. Zagęszczone mleko jest mniej termostabilne niż mleko niezagęszczone a jego profil: stabilność cieplna – pH różni się od tegoż profilu w mleku niezagęszczonym. Wstępne ogrzewanie, regulacja pH i dodatek soli stabilizujących takich jak fosforany lub cytryniany to możliwości, które mogą być stosowane w celu

poprawy stabilności zagęszczonego mleka w czasie obróbki cieplnej w opakowaniu [41].

Mleko sterylizowane w opakowaniu prawdopodobnie będzie w mniejszym stopniu podlegać żelifikacji podczas przechowywania niż mleko UHT. Jednakże, kiedy żelifikacja wystąpi, nie jest ona związana z proteolizą, a więc następuje poprzez procesy fizykochemiczne opisane przez Raynes i wsp. (2018) dla mleka UHT [38].

7

WERYFIKACJA STERYLNOŚCI HANDLOWEJ

Weryfikacja stabilności mikrobiologicznej (sterylność handlowa) [32], w temperaturze pokojowej może być przeprowadzona w jeden lub więcej z następujących sposobów, z których wszystkie mają na celu wykazanie, czy jest obecna aktywność drobnoustrojów:

Opakowania UHT

Cała obróbka cieplna i proces pakowania muszą być przeprowadzane zgodnie z normami sanitarnymi Kodeksu Żywnościowego (Codex Alimentarius) oraz normami poszczególnych krajów (GMP, HACCP, zapewnianie jakości zgodnie z C AC/RCP23-1979 [32]).

Można przeprowadzać następujące testy:

- Ocena trwałości w oparciu o dane historyczne;
- Próba na powstawanie gazu (opakowania „puchnące”, wybrzuszące się) po jednym dniu przechowywania w temperaturze pokojowej;
- Połączone badanie sensoryczne (bez pobierania próbki) oraz pomiar pH po przechowywaniu nieotwartych opakowań w standardowych warunkach. Zwykle warunki przechowywania obejmują temperaturę 30°C przez 7 lub 15 dni albo 55°C przez 4 lub 7 dni; te ostatnie odnoszą się do produktów przechowywanych i/lub sprzedawanych w warunkach wysokiej temperatury i/lub w gorącym klimacie [32]. W przechowywanych próbkach można oznaczać pH i liczbę bakterii metodą płytkową. Pomiar pH nie jest tak dokładny jak metoda płytkowa oznaczania liczby bakterii, gdyż nie wszystkie rosnące drobnoustroje powodują zmianę pH. Alternatywnie, można mierzyć poziom ATP (trifosforan adenozyne) po przechowywaniu mleka przez 3 dni w temperaturze 30°C (np. przy użyciu urządzenia RapiScreen Dairy 1000 lub Promilite III; są to dwa systemy badań jakości produktów w oparciu o bioluminiscencję) [42]. Można także przeprowadzić pomiar impedancji (impedancja - pozorna oporność elektryczna – przyp. tłum.)
- Unia Europejska [31] podaje, że „obróbka cieplna musi być „dostateczna aby zapewnić że produkty pozostają mikrobiologicznie stabilne po inkubacji przez 15 dni w temperaturze 30°C w zamkniętych opakowaniach lub siedem dni w temperaturze 55°C w zamkniętych opakowaniach lub po zastosowaniu jakiegokolwiek innej metody wykazującej, że została przeprowadzona odpowiednia obróbka cieplna”.

Zazwyczaj przeprowadza się połączenie różnych testów.

Sterylizacja w opakowaniach – Puszki

Cała obróbka cieplna i proces pakowania w puszki muszą być przeprowadzane zgodnie z normami sanitarnymi Kodeksu Żywnościowego (Codex Alimentarius) oraz normami poszczególnych krajów (GMP, HACCP, szczególnie zapewnianie jakości zgodnie z C AC/RCP23-1979 [32]).

Procedury weryfikacji mają na celu wykazanie, że proces pakowania zapewniał hermetycznie zamknięcie puszek, i obejmuje to następujące czynności:

- Kontrola rozszczelnienia opakowania (np. pomiary optyczne lub mikrometrem);
- Badanie zamknięcia pojemnika (puszki);
- Ocena trwałości w oparciu o dane historyczne;
- Połączenie badań sensorycznych i pomiar pH/liczby bakterii metoda płytkową jak to opisano dla opakowań UHT, dodatkowo test „spuchniętych” opakowań po inkubacji.

Połączenie różnych testów jest niezbędne.

8

WNIOSKI

Metody obróbki cieplnej stosowane w celu zapewnienia bezpieczeństwa i trwałości żywności oraz utrwalenia mleka bogatego w składniki odżywcze i mikroelementy zmieniało się na przestrzeni lat. Wcześniej, stosowano pasteryzację w zbiornikach w temperaturze 63°C przez 30 min. Wkrótce potem wprowadzono pasteryzację metodą ciągłą w temperaturze 72°C/15 s, aby umożliwić większy przerób surowego mleka na mleko spożywcze oraz także pasteryzację mleka przeznaczonego na produkcję przetworów mlecznych. W celu uzyskania długiego okresu przydatności do spożycia dla produktów przechowywanych w temperaturze otoczenia, została także wprowadzona sterylizacja mleka w opakowaniach – technologia znana i stosowana dla innych produktów spożywczych. Trzeba było zaakceptować wady mleka takie jak mocny posmak gotowania i brązowienie. Chęć uzyskania dłuższej trwałości mleka w temperaturze otoczenia przy zachowaniu smaku i zapachu mleka oraz jego cennych składników odżywczych w możliwie jak najwyższym stopniu doprowadziło do opracowania i wprowadzenia, w latach 50-tych i 60-tych XX wieku, procesu ultra-wysokiej temperatury (UHT) w połączeniu z aseptycznym pakowaniem. Technologia ta wkrótce zastąpiła sterylizację mleka spożywczego w opakowaniach na rynkach krajów bardziej rozwiniętych. Aby zapewnić, że trwałość często kupowanego mleka pasteryzowanego jest wyższa niż kilka dni a dla trwałości powyżej 20 dni, musi być spełnionych wiele warunków takich jak niska początkowa liczba bakterii w mleku surowym, optymalna kombinacja czasu i temperatury, możliwie jak najniższe wtórne zanieczyszczenie, właściwa dystrybucja w warunkach chłodniczych oraz odpowiednia logistyka na poziomie detalicznym oraz niskie temperatury przechowywania. Ponieważ stanowi to duże wyzwanie, i pozwala zmniejszyć marnotrawstwo żywności o 10% dziennie w przypadku trwałości pasteryzowanego mleka dostępnego dla konsumentów, na wielu rynkach w ciągu ostatnich 20 lat wprowadzono mleko ESL, mleko o przedłużonym okresie trwałości. Obróbka ESL oznacza albo ultra-pasteryzację w temperaturach powyżej 120°C przez krótki czas albo połączone procesy obejmujące dodatkowo mikrofiltrację lub baktiofugację, oraz pakowanie w ultraczystych warunkach. Zastosowanie wysokiej temperatury, akceptacja smaku i zapachu oraz wyższe koszty przetwórstwa, w zależności od stosowanej technologii wymaga uzyskania pozwolenia. Udziały mleka pasteryzowanego, ESL albo UHT na różnych rynkach bardzo różnią się na całym świecie. Czynniki mające wpływ na te różnice obejmują nawyki picia mleka, sensoryczne postrzeganie, preferencje konsumenckie, tradycje, przemysł, struktury detaliczne, poziom rozwoju łańcucha chłodniczego, politykę cenową i rolę mleka spożywczego w częstotliwości zakupów w odniesieniu do detalicznych klientów. Z powodu wszystkich tych wymienionych powyżej czynników, na rynku mleka stosowane są wszystkie różne technologie obróbki cieplnej mleka spożywczego. Kroki podejmowane przez ONZ w programie 12.3 dla osiągnięcia celu zrównoważonego rozwoju dotyczącego zmniejszenia o połowę odpadów żywności do 2030 r. ale także rozwój idący w kierunku minimalnej obróbki w celu zredukowania zmian chemicznych i mikrostrukturalnych w produktach nawet więcej niż w standardowej pasteryzacji, przy zapewnieniu bezpieczeństwa żywności, mogłyby mieć wpływ na stosowane technologie przyszłości w zakresie obróbki cieplnej.

9

LITERATURA

1. Sanderson, W.B. 1970. Determination of undenatured whey protein nitrogen in skim milk powder by dye binding, NZJ. Dairy Science and Technology 5, 46–48.
2. Patel, H. A., Anema, S. G., Holroyd, S. E., Singh, H., & Creamer, L. K. 2007. Methods to determine denaturation and aggregation of proteins in low-, medium- and high-heat skim milk powders. Dairy Science and Technology, 87, 251-268.
3. Steele, J. 2000. History, trends, and extent of pasteurization. Journal of the American Veterinary Medical Association 217, 175-178.
4. Lewis, M.J. & Deeth, H.C. 2009. Heat treatment of milk. In: Market Milks – Processing and Quality Management (ed. AY. Tamime), pp. 168–204. Blackwell Publishing Ltd, Oxford.
5. Deeth, H.C. & Lewis, M.J. 2017. High Temperature Processing of Milk and Milk Products. Wiley Blackwell, Oxford.
6. Watts, S., 2016. A mini review on technique of milk pasteurization. Journal of Pharmacognosy and Phytochemistry 5, 99-101.
7. IDF. 2018. Heat Treatment of Milk – Overview. IDF Factsheet 001/2018. International Dairy Federation, Brussels.
8. IDF. 2019. The technology of pasteurisation and its effect on the microbiological and nutritional aspects of milk. Bulletin 496 of the International Dairy Federation, Brussels.
9. Deeth, H. 2022a. Heat Treatment of Milk: Principles and Purpose. In P.L.H. McSweeney & McNamara (Eds.), Encyclopedia of Dairy Sciences (3rd ed.). pp. 655-658. Oxford: Academic Press.
10. Deeth, H. 2022b. Heat Treatment of Milk: Pasteurization (HTST) and Thermization (LTLT). In P.L.H. McSweeney & McNamara (Eds.), Encyclopedia of Dairy Sciences (3rd ed.). pp. 645-654. Oxford: Academic Press.

11. Deeth, H. 2022c. Heat Treatment of Milk: Extended Shelf Life (ESL) and Ultra High Temperature (UHT) Treatments. In P.L.H. McSweeney & McNamara (Eds.), *Encyclopedia of Dairy Sciences* (3rd ed.). pp. 618-631. Oxford: Academic Press.
12. Hinrichs, J., Wedel, C. & Atamer, Z. 2021. Heat Treatment of Milk: Sterilization. In P.L.H. McSweeney & McNamara (Eds.), *Encyclopedia of Dairy Sciences* (3rd ed.). pp. 659-670. Oxford: Academic Press.
13. Codex Alimentarius Commission 2009. Code of Hygienic Practice for Milk and Milk Products, Last Amendment 2009. CAC/RCP 57-2004. FAO/WHO, Rome.
14. Eugster, E., & Jakob, E. 2019. Pre-treatments of Milk and their Effect on the Food Safety of Cheese. *Milk Science International*, 72, 45-52.
15. CFR, Code of Federal Regulations 2022b, Title 21, Subchapter B, Part 133 – Cheeses and related cheese products. National Archives (USA).
16. EDI. 2020. Decree of the Swiss Federal Department of Home Affairs on food of animal origin (Verordnung des EDI über Lebensmittel tierischer Herkunft). Swiss Federal Food Safety and Veterinary Office FSVO. www.blv.admin.ch
17. Martin, D., Linxweiler, W., Tanzer, D., Vormbrock, R., Olt, R., Kiesner, C., & Meisel, H. 2005. Use of the Reflectoquant (R) rapid tests for determination of thermal inactivation of the indigenous milk enzymes lipase, alkaline phosphatase and lactoperoxidase. *Deutsche Lebensmittel-Rundschau*, 101, 281-286.
18. Pires, A. F. A., Patterson, L., & Maier, G. 2021. *Coxiella burnetii* implications for food safety. In *The Encyclopedia of Bacteriology Research Developments* (Vol. 11, pp. 1955-1964): Nova Science Publishers, Inc.
19. CFR, Code of Federal Regulations 2022a. Title 21, Subchapter B, Part 131 – Milk and cream. National Archives (USA).
20. Eberhard, P., & Gallmann, P. U. 1989. Shelf-life and quality of pasteurised milk (Haltbarkeit und Qualität von pasteurisierter Milch). *DMZ - Deutsche Molkerei-Zeitung* 110, 1445-1450.
21. Martin, N. H., Ranieri, M. L., Wiedmann, M., & Boor, K. J. 2012. Reduction of pasteurization temperature leads to lower bacterial outgrowth in pasteurized fluid milk during refrigerated storage: A case study. *Journal of Dairy Science*, 95, 471-475.
22. Hanson, M. L., Wendorff, W. L., & Houck, K. B. 2005. Effect of heat treatment of milk on activation of *Bacillus* spores. *Journal of Food Protection*, 68, 1484-1486.

23. Liu, Y., & Ream, A. 2009. Sporulation and germination gene expression analysis of bacillus anthracis Sterne spores in skim milk under heat and different intervention techniques. *Journal of Food Science*, 74, M120-M124.
24. EDI 2021. Decree of the Swiss Federal Department of Home Affairs on hygiene in the handling of foodstuffs (Verordnung des EDI über die Hygiene beim Umgang mit Lebensmitteln). Swiss Federal Food Safety and Veterinary Office FSVO. www.blv.admin.ch.
25. Harwood, W. S., Carter, B. G., Cadwallader, D. C., & Drake, M. A. 2020. The role of heat treatment in light oxidation of fluid milk. *Journal of Dairy Science*, 103, 11244-11256.
26. Mayer, H.K., Raba, B., Meier, J. & Schmid, A. 2010. RP-HPLC analysis of furosine and acid-soluble β -lactoglobulin to assess the heat load of extended shelf-life milk samples in Austria. *Dairy Science and Technology* 90, 413–428.
27. ISO 11816-1|IDF 155-1. 2013. Milk and milk products - Determination of alkaline phosphatase activity - Part 1: Fluorimetric method for milk and milk-based drinks. International Standardisation Organisation, Geneva, Switzerland and International Dairy Federation, Brussels, Belgium.
28. ISO 22160|IDF 209. 2007 Milk and milk-based drinks — Determination of alkaline phosphatase activity — Enzymatic photo-activated system (EPAS) method.
29. Clawin-Rädecker, I., De Block, J., Egger, L., Willis, C., Da Silva Felicio, M. T., Messens, W., & Authority, E. F. S. 2021. The use of alkaline phosphatase and possible alternative testing to verify pasteurisation of raw milk, colostrum, dairy and colostrum-based products. *EFSA journal*, 19, e06576.
30. Tetra Pak 2020. Personal communication.
31. Rouzeau-Szynalski, K., Stollewerk, K., Messelhäusser, U., & Ehling-Schulz, M. 2020. Why be serious about emetic *Bacillus cereus*: Cereulide production and industrial challenges. *Food Microbiol.* 85, 103279.
32. Codex Alimentarius Commission 2011. Code of hygienic practice for low and acidified low acid canned foods, Last amendment 2011. CAC/RCP 23-1979. FAO/WHO, Rome.
33. European Union 2021. Regulation (EC) no. 853/2004 of the European parliament and of the council of 29 April 2004 laying down specific rules for food of animal origin. Last amendment 8.10.2021.
34. IDF 2000. *Bacillus sporothermodurans* – a *Bacillus* forming highly heat-resistant spores. Bulletin 357, pp. 1–27, International Dairy Federation, Brussels.

35. Kelly, A.L., Waldron, D.S. & Datta, N. 2022. Plant, Equipment and Utilities: Heat Exchangers, Pasteurizers and UHT Equipment - Design and Operation. In: Encyclopedia of Dairy Sciences (3rd ed.) (McNamara, J. & McSweeney, P.L.H., eds.).
36. Deeth, H.C. 2020. The effect of UHT processing and storage on milk proteins. In Milk Proteins (3rd ed.) (Boland, M. & Singh, H., eds.), pp. 385-421, Academic Press-Elsevier.
37. Neves, L. N. d. O., & de Oliveira, M. A. L. 2020. Determination of lactose and lactulose isomers in UHT milk by CZE-UV. LWT, 118, 108766.
38. Raynes, J. K., Vincent, D., Zawadzki, J. L., Savin, K., Mertens, D., Logan, A., & Williams, R. P. W. 2018. Investigation of Age Gelation in UHT Milk. Beverages, 4, 95.
39. D'Incecco, P., Rosi, V., Cabassi, G., Hogenboom, J. A., & Pellegrino, L. 2018. Microfiltration and ultra-high-pressure homogenization for extending the shelf-storage stability of UHT milk. Food Research International, 107, 477-485.
40. Hinrichs, J. & Atamer, Z. 2011. Sterilisation of milk and other products. In: Encyclopedia of Dairy Sciences (2nd ed.) vol. 2 (eds. J.W. Fuquay, P.F. Fox & P.L.H. McSweeney, eds.), pp. 714–724. Academic Press. San Diego.
41. Li, S. & Singh, H. 2021. Heat Treatment of Milk: Heat Stability of Milk. In Encyclopedia of Dairy Sciences (3rd ed.) (McNamara, J. & McSweeney, P.L.H., eds.).
42. Kracmarová, M., Stiborová, H., Horácková, Š., & Demnerová, K. 2018. Rapid detection of microbial contamination in UHT milk: Practical application in dairy industry. Czech Journal of Food Sciences, 36, 357-364.
43. Tetra Pak 2015. Dairy Processing Handbook. Tetra Pak Processing Systems, Lund, Sweden.

FURTHER READING

- Blake, M.R., Weimer, B.C., McMahan, D.J. & Savello, P.A. 1995. Sensory and microbial quality of milk processed for extended shelf life by direct steam injection. Journal of Food Protection 58, 1007–1013.
- Burton, H. 1988. Ultra-High Temperature Processing of Milk and Milk Products. Elsevier Applied Science, London.
- Datta, N. & Deeth, H.C. 2005 UHT and aseptic processing of milk. In: Advances in Thermal and Non-thermal Processing. (Tewari, G. & Juneja, V., eds.), pp. 63–90. Blackwell Publishing, Ames.

- Datta, N., Elliott, A.J., Perkins, M.L. & Deeth, H.C. 2002. Ultra-High Temperature (UHT) treatment of milk: Comparison of direct and indirect modes of heating. *Australian Journal of Dairy Technology* 57, 211–227.
- de Jong, P. 2008. Thermal processing of milk. In *Advanced Dairy Science and Technology*. (Britz, T. J. & Robinson, R.K., eds.) pp. 1–34. Blackwell Publishers Ltd: Oxford.
- Deeth, H.C. & Lewis, M.J. 2015. Protein stability in sterilised milk and milk products. In: *Advanced Dairy Chemistry. Volume 2. Proteins*. (eds. P.L.H. McSweeney & J.A. O'Mahony) pp. 247–286, Springer, New York.
- IDF 2014. *Mycobacterium Avium* Subspecies *Paratuberculosis* – Relevance to the Dairy Sector. IDF Factsheet. International Dairy Federation, Brussels.
- Juffs, H. & Deeth, H.C. 2007. *Scientific Evaluation of Pasteurisation for Pathogen Reduction in Milk and Milk Products*. FSANZ, Canberra (ISBN 978-0-642-34555-4).
- Kelly, A., Datta, N. & Deeth, H.C. 2012. Thermal processing of dairy products. In: *Thermal Food Processing: New Technologies and Quality Issues 2nd edn* (ed. D. W. Sun) pp. 273–307. CRC Press, Taylor & Francis Group, Boca Raton, FL.
- Kessler, H.G. 1989. Effect of thermal processing on milk. In: *Developments in Food Preservation 5*. (Thorne, S., ed.), pp. 91–130. Elsevier Applied Science, London.
- Kessler, H.G. 2002. *Food and bioprocess engineering – Dairy technology*. 5th revised and extended edition, 679 pages. Publishing house A. Kessler, Munich.
- Lewis, M.J. & Heppell, N.J. 2000. *Continuous Thermal Processing of Foods: Pasteurization and UHT Sterilization*. Aspen Publishers, Gaithersburg, MD.
- Mayer, H.K., Raba, B., Meier, J. & Schmid, A. 2009. Extended shelf life (ESL) milk - milk with excessive heat load? *European Dairy Magazine* 7, 18–22.
- Ranieri, M.L. & Boor, K.J. 2009. Short communication: bacterial ecology of high-temperature, short-time pasteurized milk processed in the United States. *Journal of Dairy Science* 92, 4833–4840.
- Rysstad, G. & Kolstad, J. 2006. Extended shelf-life milk – advances in technology. *International Dairy Journal* 59, 85–96.
- Strahm, W. & Eberhard, P. 2010. *Trinkmilchtechnologien (Drinking milk technologies)*. 2nd revised edition. ALP forum no. 79. Agroscope, 3003 Bern-Liebefeld, Switzerland. 35 pages. ISSN 1661–0814 (available at www.agroscope.ch > publications).

INTERNATIONAL DAIRY FEDERATION / FEDERATION INTERNATIONALE DU LAIT
Boulevard Auguste Reyers, 70/B - 1030 Brussels (Belgium) - <http://www.fil-idf.org>