

Oddziaływanie prądu elektrycznego na drobnoustroje

Kazimierz Kornacki¹
Lucyna Kłębukowska¹
Ryszard Żywica²
Janusz Budny²

¹Zakład Mikrobiologii Przemysłowej Żywności

²Katedra Inżynierii, Aparatury i Gospodarki Energią
Akademia Rolniczo-Techniczna
Olsztyn

1. Wstęp

Przedłużenie trwałości, a w konsekwencji, poprawa jakości produktów żywnościowych, było i jest wyzwaniem dla technologów i inżynierów przemysłu spożywczego. Jednym z decydujących czynników mającym wpływ na trwałość żywności jest występująca w niej mikroflora.

Drobnoustroje podczas procesów metabolicznych wytwarzają znaczne ilości niepożądanych w żywności toksyn i enzymów. O ile eliminacja drobnoustrojów chorobotwórczych jest warunkiem koniecznym do produkcji bezpiecznej żywności, o tyle enzymy, uwalniane przez mikroorganizmy w trakcie procesu produkcji i przechowywania produktów żywnościowych powodują skrócenie czasu ich przetrzymywania lub eliminują z użycia surowiec.

W produkcji żywności stawia się wysokie wymagania producentom. Są one coraz bardziej zbliżone do obowiązujących w krajach Unii Europejskiej. Wynikiem tych tendencji są prowadzone na całym świecie badania nad opracowaniem nowych metod utrwalania żywności. W trakcie badań jest wiele metod, m.in. ultrawysokie ciśnienie (UHP), ogrzewanie: mikrofalowe, w podczerwieni, promieniowanie: ultrafioletowe, jonizujące, ogrzewanie ekstruzyjne oraz pulsacyjne pole elektryczne.

Obecnie większość żywności jest utrwalana procesami termicznymi, wliczając w to pasteryzację. Procesy te polegają na ogrzewaniu produktów spożywczych w temperaturach poniżej 100°C w czasie potrzebnym do inaktywacji mikroflory chorobotwórczej, a także maksymalnego obniżenia stężenia drobnoustrojów saprofitycznych oraz aktywności obecnych w tych produktach enzymów.

Od lat sześćdziesiątych stosuje się na skalę przemysłową metodę UHT, która polega na ogrzewaniu w temp. 135-150°C przez 2-8 s. Skrócenie czasu ogrzewania znacznie zmniejsza wpływ niekorzystnego oddziaływania temperatury na wartość odżywcza gotowego produktu przy jednoczesnej poprawie jakości mikrobiologicznej gotowego produktu (1).

Prawidłowo przeprowadzone procesy termiczne powinny zniszczyć całkowicie wegetatywne formy drobnoustrojów chorobotwórczych oraz w możliwie najmniejszym stopniu zmienić cechy fizykochemiczne i wartość biologiczną utrwalanego produktu (2).

Mechanizm działania bakteriobójczego w wymienionych metodach jest następujący: podwyższona temperatura powoduje denaturację białka (zniszczenie drugo- i trzeciorzędowej struktury) i DNA komórek bakterii oraz inaktywację enzymów potrzebnych do ich funkcjonowania. Stopień zniszczenia flory bakteryjnej zależy z jednej strony od temperatury i czasu jej działania, a z drugiej od liczebności i jakości mikroflory, a szczególnie od udziału w niej mikroflory ciepłopornej (3,4). Wydłużanie trwałości żywności poprzez zastosowanie wyższych temperatur nie wymaga tylko większych nakładów energetycznych, ale ma także wpływ na smak, zapach, składniki chemiczne i wartość żywieniową utrwalanej żywności (1).

Przykładem ujemnego wpływu obróbki termicznej na mleko może być stu-procentowa utrata witamin: D, E, biotyny i kwasu pantotenowego i znaczne straty innych witamin pod wpływem ogrzewania w temp. 72-75°C przez 15 s (2). Poza tym pasteryzacja ma także wpływ na inne cechy i składniki mleka. W procesie tym ulegają denaturacji przede wszystkim białka serwatkowe. W temp. 90-95°C bez przetrzymywania denaturacja obejmuje: 71% — albuminy serum, 46% — immunoglobulin, 35% β -laktoglobuliny i 13% α -laktoalbuminy (2).

Istotny jest też wpływ omawianych technik na smak i zapach (posmak gotowania) oraz barwę. Dowiedziono bowiem, że już w temp. 80°C zapoczątkowane zostają reakcje Maillarda, których produkty obniżają wartość odżywcza gotowego produktu (2,5,6).

Kolejnym przykładem ujemnego wpływu obróbki termicznej na przebieg procesu technologicznego, jest pasteryzacja mleka przeznaczonego do produkcji serów. W procesie tym następuje wytrącanie się części jonów wapniowych w postaci $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$, biorących istotny udział w tworzeniu substruktury miceli kazeinowych, a po dodaniu podpuszczki — w tworzeniu odpowiednio silnej sieci wiązań w żelu parakazeinowym. Ponadto przy silniejszym ogrzewaniu mleka następuje interakcja między β -laktoglobuliną a χ -kazeiną oraz dochodzi do osadzania się (agregacji) zdenaturowanych i zaglomerowanych cząsteczek białek serwatkowych na powierzchni miceli kazeinowych. Utrudnia to w sposób oczywisty dostęp podpuszczki do kazeiny, a w konsekwencji, przedłuża okres krzepnięcia mleka (4).

Mimo wielu oczywistych zalet termicznych metod utrwalania żywności, ze względu na ich wymienione ujemne strony, istnieje obecnie duże zapotrzebowanie na nie termiczną metodę inaktywacji mikroorganizmów, która byłaby oszczędna energetycznie, powszechnie akceptowana, a także, która nie

miałyby ujemnego wpływu na wartość żywieniową, teksturę, smak i zapach utrwalanej żywności.

2. Zastosowanie pulsacyjnego pola elektrycznego (PEF) do utrwalania żywności

Idea wykorzystania prądu elektrycznego w celu ograniczenia populacji mikroorganizmów nie jest nowa. W ostatnich latach badano wpływ pulsującego pola elektrycznego (PEF) na inaktywację drobnoustrojów. Opublikowane wyniki dowodzą, że zastosowanie PEF może się stać w przyszłości alternatywną, nietermiczną metodą utrwalania żywności. Nowa technika utrwalania żywności minimalizuje niepożądane zmiany w składnikach wrażliwych na podwyższoną temperaturę (głównie witaminy), jak również zapobiega powstawaniu produktów reakcji Maillarda, które to związki powstają w wyniku podwyższonej temperatury oraz nieprawidłowego przechowywania gotowych produktów (2,3).

Opracowanie nowej metody łączącej w sobie skuteczność procesów termicznych, z jednoczesnym wyeliminowaniem ich wad jest jednym z wyzwań dla technologów żywności i wszystkich tych, którym zależy na ciągłym unowocześnianiu procesów produkcyjnych, ze szczególnym wskazaniem na prawidłową jakość produktów końcowych.

Mechanizm bakteriobójczego i bakteriostatycznego działania pola elektrycznego nie jest jeszcze jednoznacznie wyjaśniony. W istniejącej elektromechanicznej teorii mówi się, że pod wpływem zewnętrznego pola elektrycznego powstaje wewnątrz ściany komórki transmembranowy potencjał (U_t) o natężeniu E , wyrażony jako:

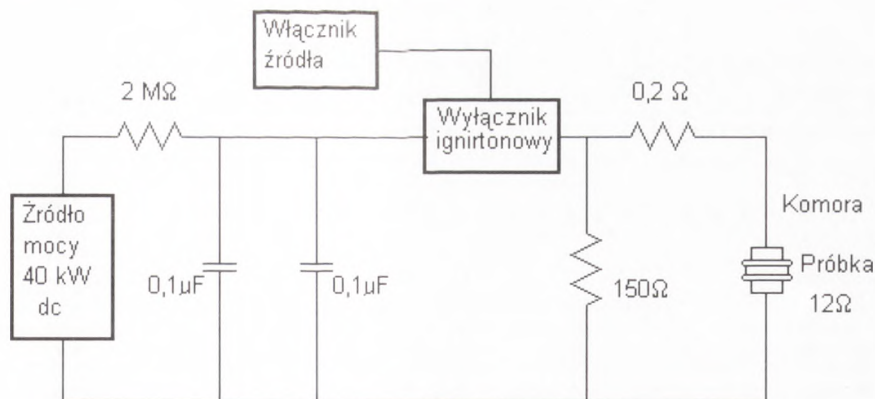
$$U(t) = 3/2 r E \cos\Theta \quad (7)$$

Θ — kąt pomiędzy daną membraną a kierunkiem pola,
 r — promień komórki.

Proces przebijania ściany komórkowej za pomocą wysokiego napięcia nazywany jest elektroperforacją. Polega on na tym, że ze wzrostem natężenia pola elektrycznego E , potencjał transmembranowy wzrasta do krytycznego napięcia o wartości 1V, osiąganego wewnątrz komórki. Na tym etapie zniszczenie komórki następuje poprzez formowanie otworów w ścianie komórkowej. Efekt ten może być odwracalny jeśli nastąpi proces samozasklepienia powstałych otworów (7).

Jeżeli stosowane natężenie pola E przybierze wartość krytyczną E_c lub przekroczy tę wartość ($E > E_c$) to w takich warunkach powstaje duża liczba dziur o znacznych rozmiarach. Efektem tego jest nieodwracalne zmniejszenie powierzchni membrany i mechaniczne zniszczenie komórki (7).

Jayaram i wsp. (7) w swych badaniach obserwowali wpływ PEF na szczep *Lactobacillus brevis*. W tym celu w kuwecie z pleksiglasu umieścili próbkę,



Rys. 1. Schemat jednostkowego obwodu oddziaływania wysokonapięciowym pulsującym polem elektrycznym (8).

w ilości $0,5 \text{ cm}^3$, w której znajdowały się elektrody oddalone od siebie o 0,2 cm. Przepływający prąd pochodził z kondensatora ($0,16 \mu\text{F}$) naładowanego za pomocą prądu stałego o wysokim napięciu. Pożądana temperatura wewnątrz kuwety utrzymywana była przez zanurzenie jej w kąpeli, której temperatura była regulowana przez cyrkulację gorącego oleju silikonowego. Inaktywowane komórki *Lactobacillus brevis* umieszczone były w roztworze buforowym Na_2HPO i NaH_2PO_4 , a stosowane natężenie pola elektrycznego było rzędu 5-40 kV/cm. Skuteczność procesu badano w czterech różnych temperaturach: 24, 45, 60 i 80°C (7).

Zhang i wsp. (8,9) w swej pracy nad wpływem PEF na *Escherichia coli*, *Staphylococcus aureus* i *Saccharomyces cerevisiae* zastosowali natężenie pola o wartości 40 kV/cm, działające na próbki żywności umieszczone pomiędzy elektrodami oddalonymi od siebie o 0,51 cm. Temperatura podczas doświadczenia utrzymywana była na stałym poziomie 15°C . W celu inaktywacji drobnoustrojów autorzy posłużyli się układem aparaturowym przedstawionym na rysunku 1. W wielu innych badaniach poddawano działaniu zarówno próbki płynnej żywności jak też odpowiednio dobrane roztwory buforowe z dodatkiem czystych kultur bakterii (1,7,8,10-12).

Pomimo różnych warunków przebiegu procesów jednoznacznie stwierdzono, że trudniejsza jest inaktywacja mikroorganizmów w materiale żywnościowym niż w roztworach buforowych. Spowodowane jest to tym, że żywność jest bogatsza w różnego rodzaju jony, których obecność ma wpływ na rezytywność. W tabeli 1 przedstawiono rezytywność różnych rodzajów żywności oraz roztworów soli.

TABELA 1
REZYSTYWNOŚĆ RÓŻNYCH MATERIAŁÓW ŻYWNOŚCI (8,10)

Materiał	Rezystywność (Ωcm)	Temperatura ($^{\circ}\text{C}$)
sok jabłkowy	570	15
mleko zbiorowe	310	15
sok pomarańczowy	300	15
mleko surowe	260	15
mleko surowe	230	20
mleko surowe	220	25
jogurt	169	23
białko jaja	155	15
ketchup	42	15
$\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$	165	20
K_2SO_4	165	20
Na_2SO_4	165	20
$\text{Na}_2\text{HPO}_4/\text{KH}_2\text{PO}_4$	165	20

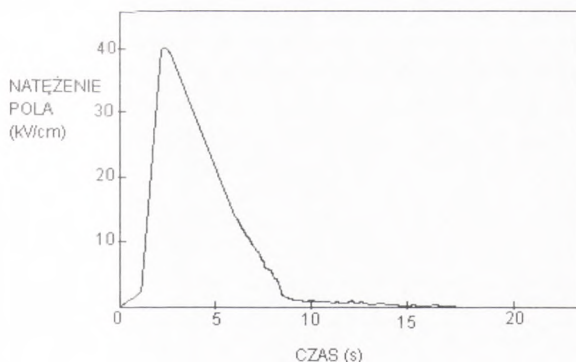
Jayaram i wsp. (7) w swych badaniach nad wpływem pulsacyjnego pola elektrycznego na efekt letalny bakterii *Lactobacillus brevis*, wykazali znaczący wpływ szerokości zastosowanego pulsu. Z prezentowanych w tabeli 2 wartości wynika, że szerokość pulsu jest ściśle związana z temperaturą medium, jednakże przy temperaturach powyżej 60°C nie jest możliwe udowodnienie tego zjawiska, ponieważ przy tych temperaturach inaktywację drobnoustrojów powoduje sam efekt termiczny (7).

Według Sale i Hamiltona (8) temperatura medium na początku działania prądu pulsacyjnego nie ma znaczącego wpływu na zniszczenie komórek bakteryjnych. W miarę przebiegu procesu, przy wzroście temperatury obiektu wzrasta inaktywacja *Escherichia coli* (10,13). Zmiana temperatury powoduje zmianę przewodności i szerokości pulsu. Zależność ta jest przedstawiona w tabeli 2 (7).

TABELA 2
ZMIANA PRZEWODNOŚCI I SZEROKOŚCI IMPULSU W ZALEŻNOŚCI OD TEMPERATURY (7)

Temperatura ($^{\circ}\text{C}$)	Konduktancja ($\mu\text{S}/\text{cm}$)	Szerokość pulsu (μs)
24	160	80
30	168	78
45	205	62
60	272	46
80	414	30

Rys. 2. Typowy impuls pola elektrycznego zastosowanego do PEF (13).



Autorzy, którzy zajmowali się tym problemem uważają, że przetrwanie mikroorganizmów poddanych działaniu PEF jest uzależnione od dwóch głównych i jednocześnie występujących czynników, a mianowicie:

1) od wielkości natężenia pola elektrycznego — $E = U/d$, gdzie: U — napięcie, d — odległość między elektrodami,

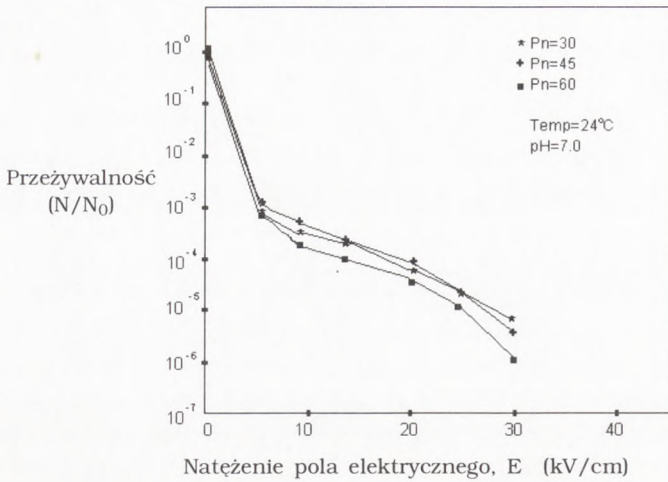
2) od szerokości pulsu — szerokość pulsu jest zdefiniowana jako czas od maksymalnego napięcia V_p do spadku do 50% jego wartości, co przedstawiono na rysunku 2.

Na rysunku 3 przedstawiono przeżywalność komórek *Lactobacillus brevis* jako funkcję natężenia pola elektrycznego w temperaturze pokojowej z zastosowaniem różnej liczby pulsów. Przeżywalność komórek gwałtownie spada przy niskim natężeniu pola elektrycznego, natomiast stopniowo rośnie wraz ze wzrostem natężenia. Przy natężeniu pola równym 5 kV/cm było możliwe zredukowanie liczby komórek od 2 do 3 rzędów wielkości, gdyż natężenie pola elektrycznego było bliskie natężeniu krytycznemu E_c . Oczekiwana wartość (E_c) dla *Lactobacillus brevis* (wielkość komórki $0,85 \times 3,0 \mu\text{m}$) zawierała się pomiędzy 2,2 a 7,6 kV/cm. Przy późniejszym wzroście natężenia pola ($E > E_c$) obumierała większa liczba komórek, jednak tempo inaktywacji stopniowo obniżało się (7).

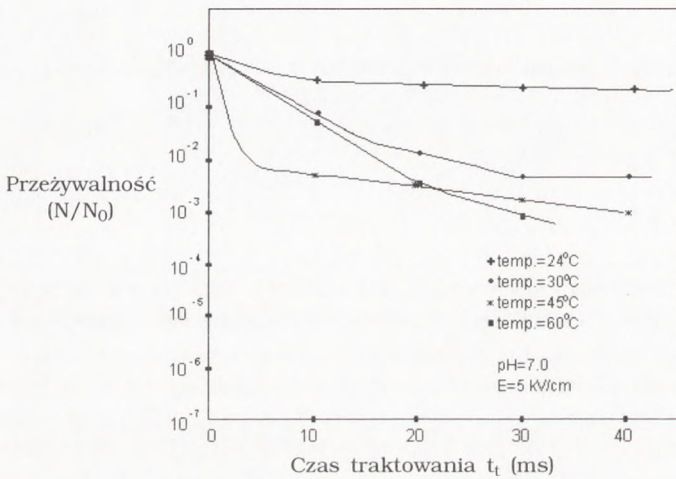
Hülshager i wsp. (10) potwierdzają znaczący wpływ natężenia pola elektrycznego na inaktywację *Escherichia coli*. Również Jacob i wsp. (11) w swojej pracy nad inaktywacją komórek drożdży *Saccharomyces cerevisiae* obserwowali tę samą zależność.

Dominujący efekt natężenia pola elektrycznego zilustrowany jest na rysunkach 4 i 5. Przedstawiają one przeżywalność jako funkcję czasu stosowania pulsów (t_p) oraz temperatury, przy dwóch natężeniach pola (E): 5 i 25 kV/cm.

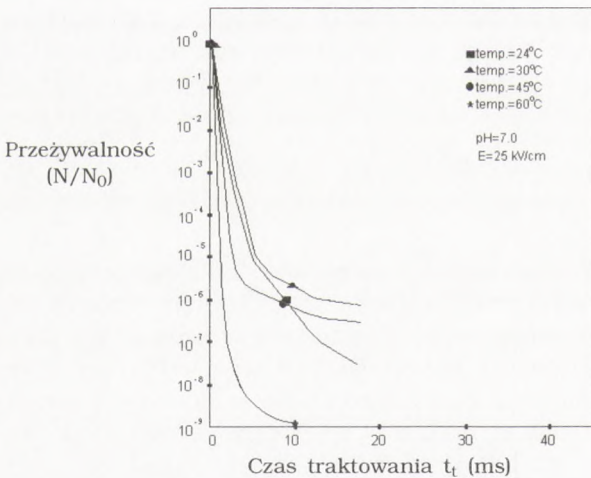
Przy zastosowaniu niskiego natężenia pola elektrycznego, rzędu $E = 5 \text{ kV/cm}$, przeżywalność komórek *Lactobacillus brevis* była zredukowana od 2 do 3 rzędów wielkości, pomimo użycia 600 pulsów, z jednym wyjątkiem, kiedy



Rys. 3. Przeżywalność *Lactobacillus brevis* jako funkcja natężenia pola elektrycznego E z zastosowaniem różnej liczby pulsów (7).



Rys. 4. Przeżywalność *Lactobacillus brevis* jako funkcja czasu stosowania pulsów w różnych temperaturach przy stałym natężeniu pola (7).



Rys. 5. Przeżywalność *Lactobacillus brevis* jako funkcja czasu stosowania pulsów w różnych temperaturach przy stałym natężeniu pola (7).

temperatura medium wynosiła 60°C. Porównując to do pola o natężeniu $E = 25 \text{ kV/cm}$ redukcja liczby komórek (przy różnych temperaturach i przy zastosowaniu tylko kilku pulsów) była znacznie wyższa. Wysoki stopień inaktywacji ($N/N_0 = 10^{-9}$) był stwierdzany przy działaniu na medium pola o natężeniu $E = 25 \text{ kV/cm}$ w czasie 10 ms, przy temperaturze 60°C.

Całkowity czas, który upłynął podczas testu, wyniósł 3 minuty i 15 sekund i był zdecydowanie krótszy niż tradycyjny czas sterylizacji, który wynosi 40-60 min w temp. 121°C. Tak zatem osiągnięty efekt inaktywacji jest porównywalny z tradycyjną sterylizacją (7).

Na rysunku 5 przedstawiono, że przeżywalność w funkcji czasu gwałtownie spadła na początku procesu, natomiast dalej miała tendencję do wzrostu, osiągając stosunkowo stały poziom. Na podstawie uzyskanych wyników przypuszcza się, że wyższe natężenie pola E jest bardziej efektywne niż dłuższy czas działania pulsu (14).

Do tych samych wniosków doszli Hülshager i wsp. badając wpływ PEF na szczep *Escherichia coli* (10).

3. Zjawiska towarzyszące przepływowi prądu

3.1. Zmiany temperatury

Zhang i wsp. (8) stwierdzili, że podczas stosowania PEF, mimo utrzymywania stałej temperatury elektrod, temperatura medium przejściowo zwiększała się przy każdym pulsie ($E = 40 \text{ kV/cm}$) o 1°C. Również Jayaram i wsp. (7), pomimo stosowania innych warunków doświadczenia, obserwowali wzrost temperatury.

Z przedstawionych danych wynika, że znaczny wpływ na wzrost temperatury ma wielkość natężenia pola E . W tabeli 3 przedstawiono zużycie energii zarówno elektrycznej, jak i termicznej. Przy wyliczeniu energii elektrycznej zsumowano całą energię w kondensatorze, która była przenoszona do cieczy. Stwierdzono, że główna część tej energii (50%) była stracona przy powstawaniu łuku elektrycznego podczas procesu załączania.

3.2. Elektroliza soli

Hülshager i wsp. (10,13), weryfikując bakteriobójczy wpływ PEF, zwrócili uwagę na fakt, że obecność chlorków w roztworze, jak również rodzaj stosowanego materiału z którego były zbudowane elektrody, odgrywają specyficzną rolę pośrednią w efekcie bakteriobójczym (rys. 6 i 7) (13). Przepływ prądu powoduje uwalnianie się jonów Cl^- , które działają jako dodatkowy środek toksyczny. Po przyłożeniu napięcia 10 kV do 17,1 mM roztworu NaCl i wprowadzeniu bakterii *Escherichia coli* (10^5 kom./ml) odnotowano 99% redukcję ich populacji. Na efekt letalny ma również wpływ czas przetrzymania bakterii w tych warunkach (rys. 7).

TABELA 3
WZROST TEMPERATURY W PLYNNYM MEDIUM W RÓŻNYCH WARUNKACH TESTU (7)

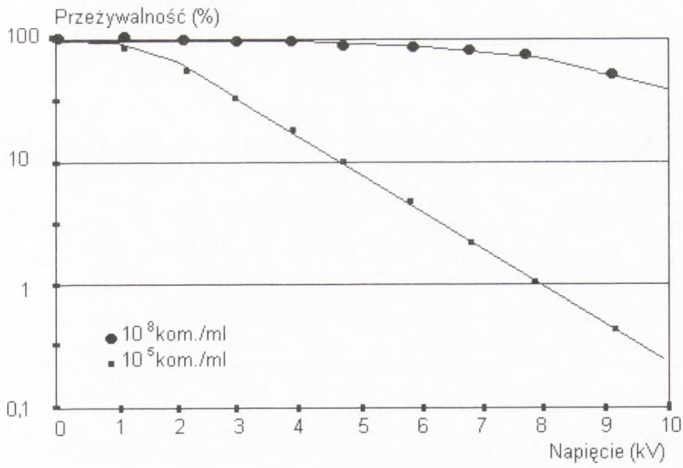
Temperatura medium (°C)	Natężenie pola elektrycznego (kV/cm)	Energia wyjściowa elektryczna i termiczna (W s/cm ³)		Czas traktowania (ms)	Wzrost temperatury (°C)
24	5	96,4	0,0	48,0	1,0
24	25	807	0,0	16,0	10,2
30	5	96,4	12,6	46,0	1,0
30	25	807	12,6	15,6	10,1
45	5	96,4	43,7	37,2	1,8
45	25	807	43,7	12,4	8,5
60	5	96,4	75,2	27,6	3,3
60	25	807	75,2	9,2	9,5

Drugorzędne działanie chlorków stało się mało istotne, gdy krótki czas trwania pulsów zastąpiono polem elektrycznym o wyższym natężeniu. W dalszych badaniach ujawniono, że na działanie bakteriobójcze prądu elektrycznego decydujące znaczenie mają moc zastosowanego pola elektrycznego i czas trwania pulsów (10,13).

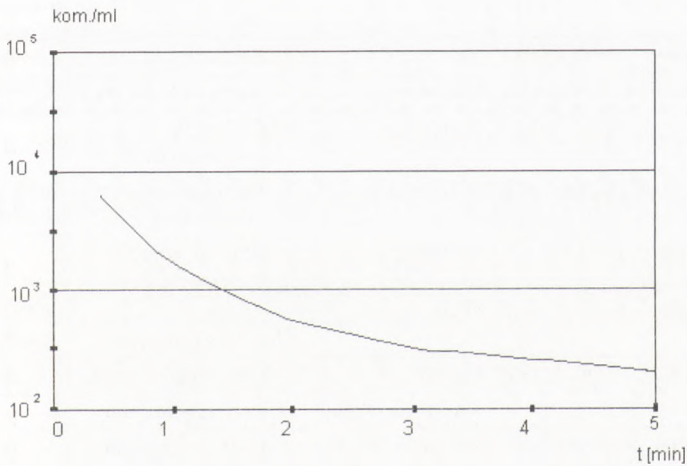
4. Podsumowanie

Mimo dużych różnic w sposobie przeprowadzania eksperymentów wielu autorów wykazało bakteriobójczy wpływ pola elektrycznego na mikroorganizmy (tab. 4) (8). We wszystkich pracach potwierdza się decydujący wpływ natężenia pola elektrycznego E , szerokości pulsu i liczby zastosowanych pulsów na stopień inaktywacji drobnoustrojów. Skuteczność działania wymienionych parametrów jest w pewnym stopniu uzależniona od rodzaju produktu oraz inaktywowanego drobnoustroju. O podatności danego szczepu na PEF decyduje rozmiar komórki i związana z tym krytyczna wartość E_c .

Zaprezentowane wyniki badań wskazują na celowość stosowania prądu elektrycznego niskiej częstotliwości do poprawy jakości mikrobiologicznej i przedłużania trwałości surowców przemysłu spożywczego.



Rys. 6. Toksyczny efekt działania roztworu NaCl na komórki bakteryjne, poddanego wcześniej działaniu napięcia (13).



Rys. 7. Wpływ czasu przetrzymywania bakterii w roztworze NaCl poddanego wcześniej działaniu prądu o napięciu 6 kV (13).

TABELA 4
 PODSUMOWANIE DOTYCZĄCE INAKTYWACJI MIKROORGANIZMÓW
 POD WPLYWEM PULSACYJNEGO POLA ELEKTRYCZNEGO (8)

Medium	Autorzy	Mikroorganizmy	Log redukcji	Pole elektryczne (kV/cm)
mleko	Dunn i Pearlman	<i>Escherichia coli</i>	3	21
mleko	Dunn i Pearlman	<i>Salmonella dublin</i>	4	18
mleko	Hofman	<i>Streptococcus thermophilus</i>	2,5	25
mleko	Grahl	<i>Lactobacillus brevis</i>	4,5	23
mleko	Grahl	<i>Escherichia coli</i>	3	23
mleko	Gupta i Murray	<i>Pseudomonas fragi</i>	4,5	90
mleko	Grahl	<i>Escherichia coli</i>	3	22
NaCl bufor (6250 Ω cm)	Jayaram	<i>Lactobacillus brevis</i>	6	25
NaCl bufor (1000 Ω cm)	Gupta i Murray	<i>Salmonella typhimurium</i>	5	83
NaCl bufor (0,1 %)	Hamilton i Sale	<i>Staphylococcus aureus</i>	2	27,5
sok pomarańczowy	Hofman	<i>Saccharomyces cerevisiae</i>	3,5	25
sok pomarańczowy	Grahl	<i>Saccharomyces cerevisiae</i>	5	7
bufor fosforanowy (2000 Ω cm)	Matsumoto	<i>Saccharomyces cerevisiae</i>	5	30
bufor fosforanowy (2000 Ω cm)	Matsumoto	<i>Escherichia coli</i>	5	40
bufor fosforanowy (1200 Ω cm)	Hülshager	<i>Escherichia coli</i>	3	20
bufor fosforanowy (600 Ω cm)	Hülshager	<i>Klebsiella pneumoniae</i>	3	20
bufor fosforanowy (600 Ω cm)	Hülshager	<i>Pseudomonas aeruginosa</i>	3,5	20
bufor fosforanowy (600 Ω cm)	Hülshager	<i>Staphylococcus aureus</i>	3	20
bufor fosforanowy (600 Ω cm)	Hülshager	<i>Listeria monocytogenes</i>	2	20
bufor fosforanowy (600 Ω cm)	Hülshager	<i>Candida albicans</i>	4	20
roztwór soli	Hamilton i Sale	<i>Escherichia coli</i>	2	19,5
mleko (symul)	Zhang	<i>Escherichia coli</i>	9	70
jogurt	Dunn i Pearlman	<i>Saccharomyces cerevisiae</i>	3	18
jogurt	Dunn i Pearlman	<i>Lactobacillus brevis</i>	2	18
jogurt	Hofman	<i>Saccharomyces cerevisiae</i>	3	25

Literatura

1. Mittal G. S., Ho S., Crooss J., (1994), *J. Food Physics*, 1, 99-101.
2. Pijanowski E., (1984), *Zarys chemii i technologii mleczarstwa*, t. 1, PWRiL, wyd. 4, Warszawa.
3. Molska I., (1988), *Zarys mikrobiologii mleczarskiej*, PWRiL, Warszawa.
4. Pijanowski E., Gawel J., (1986), *Zarys chemii i technologii mleczarstwa*, t. 3, PWRiL, wyd. 3, Warszawa.
5. Bednarski W., (1991), *Ogólna technologia żywności*, cz. 1, Wyd. ART, Olsztyn.
6. Castro A. J., Barbosa-Cánovas G. V., Swanson G. B., (1993), *J. Food Proces. Preserv.*, 17, 47-73.
7. Jayamar S., Castle G. S. P., Margaritis A., (1992), *Biotechnol. Bioeng.*, 40, 1412-1420.
8. Zhang Q., Chang F.-J., Barbosa-Cánovas G. V., Swanson G. B., (1994), *Food Sci. Technol.*, 6, 538-543.
9. Zhang Q., Chang F.-J., Bai-Lin QIN, Barbosa-Cánovas G. V., Swanson G. B., (1995), *J. Food Proces. Preserv.*, 19, 103-118.
10. Hülshager H., Potel J., Niemann E. G., (1981), *Radiat. Environ. Biophys.*, 20, 53-65.
11. Jacob H. E., Forster W., Berg H., (1981), *Z. Allgem. Microbiol.*, 21, 225-233.
12. Pothakamury U. R., Monsalve-Gonzales A., Barbosa-Cánovas G. V., Swanson G. B., (1995), *Food Res. Internat.*, 2, 167-171.
13. Hülshager H., Niemann E. G., (1980), *Radiat. Environ. Biophys.*, 18, 281-288.
14. Gruss M., Oziemkowski P., Dolata W., (1996), *Przegląd Mleczarski*, 4, 96-101.

Influence of electric current on microorganisms

Summary

The research results of the past few years indicated the possibility of applying electric current to reduce microbial contamination and to prolong shelf-life of food products. Very promising results were obtained using the pulsed electric field (PEF) for the inactivation of microorganisms.

According to the published results, it seems that the use of PEF could be non-thermal and energy-saving method alternative to the traditional heat sterilization used in food preservation. The new method minimizes undesirable changes in thermolabile food compounds and prevents the formation of Maillard reaction products which are produced at high temperatures.

Key words:

pulsed electric fields, lethal effect, electroporation, conductance, resistance, transmembrane potential, critical field intensity.

Adres do korespondencji:

Kazimierz Kornacki, Instytut Biotechnologii Żywności, Akademia Rolniczo-Techniczna, Plac Cieszyński 1, 10-957 Olsztyn-Kortowo.