

Synergiczne oddziaływanie Pulsacyjnych Pól Elektrycznych (PEF) oraz innych metod na płynne produkty spożywcze

Streszczenie. W światowym przemyśle spożywczym Pulsacyjne Pola Elektryczne (PEF) stają się jedną z najpopularniejszych metod konserwacji płynnych produktów spożywczych. Efektywność stosowania PEF (tj. inaktywacja drobnoustrojów) jest wyższa jeżeli produkty, w ramach tzw. „teorii płotkowej”, poddaje się również oddziaływaniom innych metod takich jak: impulsy światła wysokiej intensywności (HILP), promieniowanie UV, mikrofiltracja membranowa, „średnia temperatura” lub dodatek głównie naturalnych substancji. W naszej pracy przedstawiliśmy przykłady takich „płotkowych metod” z wykorzystaniem PEF w odniesieniu do soku jabłkowego, mleka, płynnej masy jajowej oraz innych płynnych produktów.

Abstract. Pulsed Electric Fields (PEF) become one of the most popular unconventional preservation method in the world food industry. Efficiency of PEF treatment (i.e. inactivation of microorganism) is higher when liquid food is treated also by other methods like high intensity light pulses (HILP), ultraviolet (UV), membrane microfiltration, mild temperature treatment or addition of mainly natural substances (in the framework of so called “hurdle theory”). Examples of such “hurdle methods” combined with PEF on apple juice, milk, liquid whole egg (LWE) and other liquid food products were presented in our paper. **(The synergistic interaction of pulsed electric fields (PEF) and other methods on liquid food).**

Słowa kluczowe: pulsacyjne pola elektryczne, synergia, utrwalanie żywności, płynne produkty spożywcze
Keywords: pulsed electric fields, synergy, food preservation, liquid food products

Wstęp

W ostatnich latach daje się zaobserwować (nie tylko w krajach wysoko rozwiniętych, ale również w Polsce) coraz większe zainteresowanie konsumentów nabywaniem żywności jak najmniej przetworzonej, włączając w to żywność regionalną, tradycyjną, lokalną czy wręcz ekologiczną. Część konsumentów ma zastrzeżenia co do zasadności stosowania dużej ilości sztucznych dodatków używanych zazwyczaj dla poprawienia wydajności produkcyjnej oraz w celu przedłużenia czasu przydatności żywności do spożycia. W tym kontekście daje się zaobserwować trend, że konsumenci bardziej akceptują fizyczne metody utrwalania żywności aniżeli chemiczne.

Jedną z takich metod fizycznego utrwalania płynnych produktów spożywczych jest metoda pulsacyjnych pól elektrycznych (PEF) [1]. Produkt poddany jest oddziaływaniom pola elektrycznego o wysokim natężeniu, różnej ilości impulsów i ich szerokości w celu inaktywacji drobnoustrojów i uzyskania zadowalającej trwałości wyrobu. Płynne produkty poddane takim oddziaływaniom zachowują zazwyczaj dobry smak oraz wysoką zawartość m.in. witamin, których zawartość obniża się po klasycznej obróbce termicznej [2]. Produkt po utrwalaniu pulsacyjnymi polami elektrycznymi najczęściej magazynuje się i sprzedaje w tzw. „ciągu chłodniczym”. Niemniej jednak, aby zapewnić maksymalnie wysokie bezpieczeństwo utrwalanych za pomocą PEF produktów powinno się wziąć pod uwagę możliwość zastosowania równolegle innych metod w ramach tzw. „teorii płotkowej” [3].

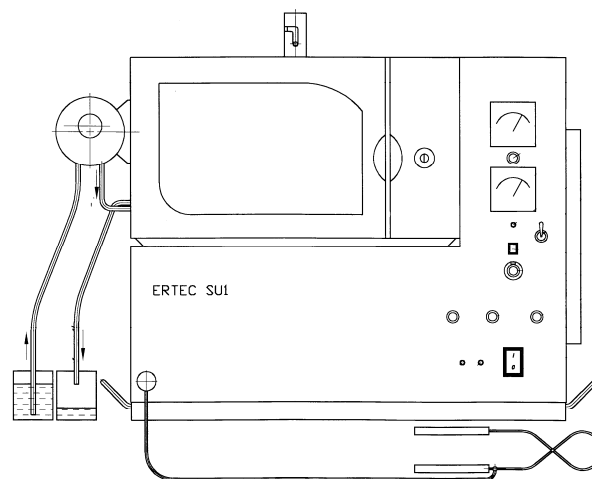
Celem pracy było porównanie skuteczności oddziaływań PEF przy jednoczesnym zastosowaniu dodatkowego czynnika utrwalającego w odniesieniu do wybranych płynnych produktów spożywczych.

Stanowisko laboratoryjne do oddziaływań PEF

Podstawy teoretyczne tej technologii oraz omówienie czynników wpływających na inaktywację drobnoustrojów podczas oddziaływań PEF można znaleźć m.in. naszym innym artykule [1]. Prowadzenie badań laboratoryjnych przez nasz zespół związanych z technologią PEF możliwe jest dzięki urządzeniu Ertec SU-1, które jest własnością Katedry Technologii Surowców Zwierzęcych i Zarządzania Jakością Wydziału Nauk o Żywności Uniwersytetu

Przyrodniczego we Wrocławiu. Prowadzony obecnie nowy etap badań laboratoryjnych nad technologią PEF przez zespół wrocławsko-krakowski udowadnia, że metoda ta może znaleźć w najbliższym czasie praktyczne zastosowanie również w polskim przemyśle rolno-spożywczym.

Urządzenie nasze umożliwia uzyskanie napięcia do 30 [kV], co przy odległości elektrod wynoszącej 0,73 [cm] daje maksymalne natężenie pola elektrycznego na poziomie 41,10 [kV/cm]. Schemat graficzny urządzenia Ertec SU-1 przedstawiono na Rys. 1 i 2.



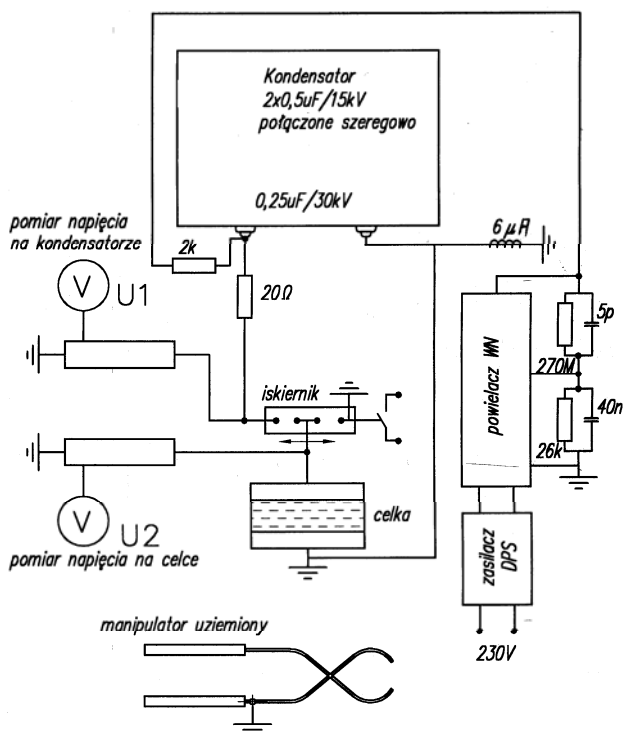
Rys. 1. Schemat graficzny urządzenia do generowania PEF (Ertec SU-1) – widok z przodu

Po modyfikacji przez zespół krakowski oprogramowania sterującego urządzeniem możliwe jest ustawienie warunków procesu na kilkaset impulsów PEF, przy ich szerokości w zakresie 1-400 [μs] i odstępem pomiędzy nimi w zakresie 1-10 [s].

Urządzenie (Fot. 1) pracować może w dwóch trybach, tj. stacjonarnym i ciągłym do czego służą specjalnie skonstruowane celki (Fot. 2) oraz pompa perystaltyczna dla procesu ciągłego. Generator oddziaływań PEF Ertec SU-1

wyposażony jest w 16 zabezpieczeń przed porażeniem prądem co czyni pracę z tym urządzeniem maksymalnie bezpieczną.

Ośrodek wrocławski jest również w posiadaniu innego urządzenia do niekonwencjonalnych oddziaływań przeznaczonych do generowania tzw. skoncentrowanego pola mikrofalowego (concentrated microwave field CMF), dzięki czemu możliwe jest badanie synergicznego wpływu technologii PEF i CMF na określone płynne produkty spożywcze w kontekście „teorii błotkowej”.



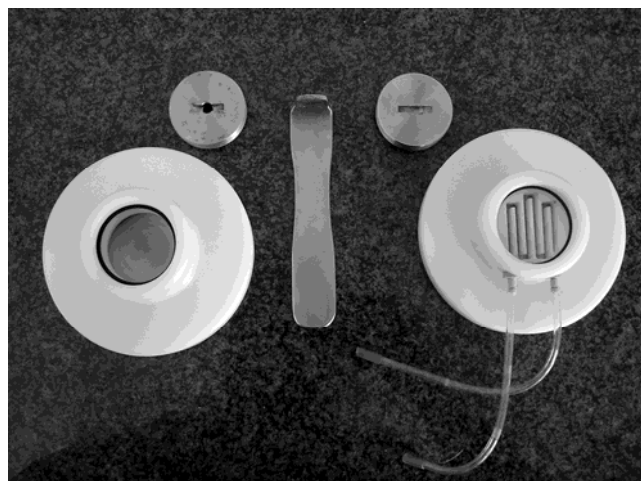
Rys. 2. Schemat ideowy urządzenia do generowania PEF (Ertec SU-1)



Fot. 1. Urządzenie do generowania PEF (Ertec SU-1)

Posiadając odpowiednią wiedzę oraz urządzenia do niekonwencjonalnego utrwalania produktów spożywczych (głównie płynnych, choć nie tylko) zespół nasz dokonał analizy skuteczności synergicznych oddziaływań PEF oraz innych wybranych i stosowanych razem technologii w celu zwiększenia bezpieczeństwa utrwalanych płynnych produktów spożywczych, co może mieć w najbliższym czasie przełożenie na wdrożenie tych technologii w polskim przemyśle rolno-spożywczym. Zagadnienia optymalizacji

zarówno samych parametrów PEF jak również i stosowanych równolegle innych czynników utrwalających (fizycznych i/lub chemicznych), powinny być dedykowane z myślą o ich praktycznym wdrożeniu.



Fot. 2. Celki urządzenia do generowania PEF (Ertec SU-1) służące do badań stacjonarnych (po lewej) i w przepływie (po prawej)

Sok jabłkowy

Wspólny efekt PEF (proces ciągły, 100 impulsów o szerokości 1 [μs], częstotliwości 15 [Hz] i natężeniu pola elektrycznego 40 [kV/cm]) oraz promieniowania UV (lampa 30 [W], odległość 30 [cm], czas ekspozycji 30 [min.]) jest lepszy w utrwalaniu świeżych soków jabłkowych, aniżeli zastosowanie tych czynników osobno. Kolejność stosowania promieniowania UV oraz oddziaływań PEF jest również czynnikiem wpływającym na skuteczność redukcji drobnoustrojów z wyjściowego poziomu 10^9 [jtk/ml] o 6,2 cykli logarytmicznych (PEF+UV) lub o 7,1 (UV+PEF). Zastosowanie wyłącznie technologii PEF daje redukcję o 5,4 cykli logarytmicznych, zaś samo oddziaływanie promieniowaniem UV zaledwie o 2,2 cykli log. Porównanie skuteczności wspólnego efektu UV i PEF jest więc na wysokim poziomie - porównywalnym z klasycznym oddziaływaniem termicznym na sok jabłkowy przez 26 sekund w temperaturze 72°C (redukcja o 6,0 cykli log.) oraz w 94°C (redukcja o 6,7 cykli log.) [4].

W innych badaniach [5] analizowano wpływ oddziaływań PEF oraz impulsów światła wysokiej intensywności (HILP) na stopień redukcji zaszczipionych wcześniej do poziomu 10^7 [jtk/ml] bakterii *Escherichia coli* (K12 DSM 1607) w soku jabłkowym odtworzonym z koncentratu. Parametry PEF ustawione były na dwóch poziomach intensywności procesu ciągłego, gdzie w obu zastosowano po 89 impulsów o szerokości 1 [μs]: tj. „niższym” (częstotliwość impulsów 15 [Hz], przepływ 17 [ml/min], natężenie pola elektrycznego 24 [kV/cm]) oraz „wyższym” (12 [Hz], 13,4 [ml/min], 34 [kV/cm]). Całkowita ilość energii dostarczona do układu w przeliczeniu na 1 [ml] soku jabłkowego wynosiła odpowiednio 130 [J/ml] oraz 261,9 [J/ml]. Adekwatnie ilość energii przy „niższym” oddziaływaniu HILP była na poziomie 51,5 [J/ml], zaś przy „wyższym” - 65,4 [J/ml]. Samodzielna skuteczność redukcji *E.coli* wyniosła dla „niższego” i „wyższego” poziomu oddziaływań odpowiednio: dla PEF 1,8 i 3,45 oraz dla HILP 3,30 i 3,90 cykli logarytmicznych. Wspólny efekt „kombinowany” był lepszy dla wszystkich 4 wariantów (PEF/HILP) gdyż najmniejsza redukcja była na poziomie 4,47 cykli logarytmicznych, zaś największa inaktywacja *E.coli* polegała na całkowitej redukcji drobnoustrojów (czyli o ok. 7 cykli log.) przy zastosowaniu zarówno HILP jak i PEF o „wyższych” parametrach oddziaływania.

Oprócz oddziaływań fizycznych towarzyszących metodzie PEF stosuje się także różnego rodzaju dodatki, w tym głównie naturalne. W badaniach tego typu [6] oprócz oddziaływań PEF (proces ciągły 90 [ml/min], częstotliwość impulsów 180 [Hz], szerokość impulsu 4 [μs], 394 impulsy, natężenie pola elektrycznego 35 [kV/cm]) zastosowano dodatek kwasu cytrynowego (1,5%) lub oleju z kory cynamonowca (0,1%). Badano m.in. okres przydatności do spożycia soków jabłkowych pod kątem badań mikrobiologicznych (osobno dla bakterii mezofilnych, psychrofilnych oraz pleśni i drożdży). Stwierdzono, że oddziaływanie tylko pulsacyjnymi polami elektrycznymi powoduje, iż czas przydatności do spożycia soku jabłkowego wynosi ok. 40 dni i jest dłuższy w porównaniu do „kontroli” nie poddanej żadnym oddziaływaniom (czas ten w tym przypadku wynosił ok. 12 dni w odniesieniu do bakterii mezofilnych i psychrofilnych oraz ok. 21 dni dla pleśni i drożdży). W przypadku „kombinowanej” metody przy zastosowaniu PEF i dodatku kw. cytrynowego, jak również PEF i oleju z kory cynamonowca, okres przydatności do spożycia wynosił ponad 91 dni, tak jak to miało miejsce dla soku jabłkowego utrwalanego wyłącznie termicznie (w temp. 90°C przez 1 minutę).

Mleko

Celem obniżenia temperatury utrwalania płynnego mleka przy jednoczesnym zachowaniu jego pełnego bezpieczeństwa mikrobiologicznego można zastosować kombinację: „średnia temperatura utrwalania” (65 [°C], 10 [s], uzyskana również z wykorzystaniem efektu termicznego PEF) oraz oddziaływanie PEF (5 impulsów o szerokości 2,3 [μs] i natężeniu pola elektrycznego 35 [kV/cm]). W badaniach tego typu [7] ustalono, że okres przydatności do spożycia takiego mleka wynosił do 24 dni, a więc tyle samo co mleka utrwalanego wyłącznie termicznie, tak jak to głównie ma miejsce w przemyśle spożywczym.

Podobne badania wykorzystujące oprócz oddziaływania PEF również tzw. „średnią temperaturę” wykorzystano w innych wielowariantowych badaniach [8], gdzie zastosowano od 1 do 30 impulsów PEF (30 lub 40 [kV/cm]) oraz różną temperaturę (czas oddziaływania: mniej niż 10 [s]). W odniesieniu do *Listeria innocua* stwierdzono w wielu wariantach jej redukcję na poziomie 4,3 cykła logarytmicznego, np. dla stałej wartości natężenia pola elektrycznego wynoszącego 30 [kV/cm] i zmiennej „ilości impulsów PEF” oraz „temperatury początkowej procesu” m.in. dla parametrów „10 impulsów i 43°C”, „20 impulsów i 23°C” oraz „25 impulsów i 13°C”. Przy stałej wartości natężenia pola elektrycznego 40 [kV/cm] taka sama redukcja *Listeria innocua* (tj. 4,3 cykła) występowała m.in. dla „3 impulsów i 53°C”, „10 impulsów i 33°C”, „15 impulsów i 15°C” oraz „20 impulsów i 3°C”. W badaniach tych [8] zwrócono również uwagę na koszty zużycia energii przy różnych wariantach badawczych. Stwierdzono, że najlepszy efekt związany ze skutecznością procesu (tj. inaktywacją drobnoustrojów) i kosztami zużycia energii uzyskuje się przy zastosowaniu natężenia pola elektrycznego na poziomie 40 [kV/cm] oraz niewielkiej ilości impulsów przy jednoczesnym ogrzaniu mleka do 55°C. Obliczono, że wydatek energetyczny wynosi wówczas 244 [J/ml], aczkolwiek możliwe jest obniżenie tej wartości do 44 [J/ml] przy wykorzystaniu systemu wymienników ciepła w procesie termicznym. Przykład ten pokazuje, że w przypadku badań wdrożeniowych nad synergicznym oddziaływaniem PEF i innych czynników należy mieć na uwadze takie zaplanowanie doświadczeń, aby można było oszacować koszty wykorzystywanej energii, co jest niezbędne w prawidłowym przygotowaniu biznes planu.

Oddziaływania PEF połączyć można również z zastosowaniem procesu mikrofiltracji membranowej o odpowiedniej wielkości porów, np. 1,4 [μm]. W wielowariantowych badaniach tego typu [3] zastosowano kilka wartości PEF o różnej ilości energii dostarczonej do utrwalanego odtłuszczonego mleka, tj. 407, 632, 668 i 815 [J/ml], co odpowiadało następującym parom parametrów PEF „natężenie pola elektrycznego [kV/cm] – całkowity czas oddziaływania PEF [μs]”: 16/2105, 20/1454, 30/983 i 42/612. Stwierdzono, że jednoczesne zastosowanie wyższych parametrów PEF oraz mikrofiltracji prowadzi do większej inaktywacji drobnoustrojów (przy podobnym okresie przydatności do spożycia) w porównaniu do produktów utrwalanych wyłącznie w sposób termiczny.

Masa jajowa

Głównym zagrożeniem bakteriologicznym w odniesieniu do masy jajowej (LWE) może być m.in. *Salmonella spp.* oraz *Listeria monocytogenes*. W badaniach [9, 10] nad inaktywacją *Salmonella spp.* w masie jajowej stwierdzono m.in. korzystny efekt synergii oddziaływań PEF (25 [kV/cm] przy 200 [J/g] energii dostarczonej do LWE), „średniej temperatury” MT (55°C przez 2 [min]) oraz 2% dodatku cytrynianu trietylu (TC) co łącznie skutkowało redukcją *Salmonella Enteritidis* o ponad 8 cykli logarytmicznych. Podobne parametry w synergicznym oddziaływaniu TC-PEF-MT wpływały również korzystnie na właściwości emulsyjne, pianotwórcze i barwę masy jajowej [11].

Inne płynne produkty spożywcze

W odniesieniu do innych płynnych produktów spożywczych, których surowce pozyskać można na terenie Polski warto zwrócić uwagę m.in. na sok pomidorowy, który utrwalano kombinowaną metodą PEF (20 impulsów przy natężeniu pola elektrycznego 80 [kV/cm]) z dodatkiem nizyny (100 biologicznych jednostek aktywności na mililitr [IU/ml]), gdzie w stosunku do mikroflory natywnej uzyskano redukcję na poziomie 4,4 cykli logarytmicznych [12]. Wśród niektórych konsumentów wątpliwości może budzić dodatek nizyny (wytworzonej przez bakterie kwasu mlekowego), która oficjalnie jest zaklasyfikowana jako konserwant E234 i jako bakteriocyna może powodować u części ludzi wzrost odporności na antybiotyki stosowane w medycynie. Z tego względu należałoby w odniesieniu do soku pomidorowego zbadać inne czynniki synergiczne do oddziaływań PEF.

Zastosowanie kwasu cytrynowego (E330), głównie jako regulatora kwasowości czy dodatku aromatycznego do żywności budzi mniejsze wątpliwości konsumentów. Jest on stosunkowo często używany również jako czynnik synergiczny do oddziaływań PEF. Przy zastosowaniu 2% dodatku kwasu cytrynowego oraz oddziaływań PEF (gdzie łączny czas oddziaływania wynosi 1700 [μs] i zaś natężenie pola elektrycznego było na poziomie 35 [kV/cm]) stwierdzono redukcję *E. Coli* o ponad 6 cykli logarytmicznych w soku gruszkowym i truskawkowym [13].

W przypadku badań ukierunkowanych na skuteczność inaktywacji *S. enteritidis* w sokach owocowych przy zastosowaniu identycznych jak powyżej parametrów PEF (tj. 1700 [μs] i 35 [kV/cm]) oraz 0,1% dodatku oleju z kory cynamonowca udowodniono skuteczność tej metody na poziomie 5 cykli logarytmicznych w przypadku soku gruszkowego oraz ponad 6 cykli w odniesieniu do soku truskawkowego [13].

W Polsce coraz większą popularnością cieszą się napoje o stosunkowo niskiej zawartości alkoholu, takie jak cydr (przefermentowany sok z dojrzałych jabłek, niedoprawiany cukrem, o zawartości alkoholu 1,2-8,5%). Skuteczność technologii PEF zastosowanej równocześnie wraz z innymi metodami utrwalania cydru była przedmiotem

badania kilku zespołów. W eksperymencie gdzie oprócz oddziaływań PEF (tryb ciągły, 27 [kV/cm] i przeliczeniowo 17,6 impulsów) na 100 [ml] cydru dodawano 5 [ml] oleju goździkowego stwierdzono redukcję naturalnej mikroflory o 3,1 cykli logarytmicznych [14]. W innych badaniach zastosowano 2% (w/v) dodatek kory cynamonowca do cydru z jednoczesnym użyciem 10 impulsów PEF (80 [kV/cm]) co skutkowało redukcją *Escherichia coli* O157:H7 o 1 cykl logarytmiczny [15]. Oddziaływania PEF w trybie ciągłym (27 [kV/cm] i przeliczeniowo 17,6 impulsów) w połączeniu z dodatkami nizyny (27,5 [IU/ml]) oraz lizozymu (występującego m.in. w części białkowej jaja kurzego, w ilości 690 [IU/ml]) skutkowało w redukcji naturalnej mikroflory w cydrze o 1,8 cykla logarytmicznego [14]. Oprócz dodatków do cydru podczas stosowania oddziaływań PEF w innych badaniach koncentrowano się na wspomagającym wpływie „średniej temperatury”. Wraz z oddziaływaniem 10 impulsów PEF (90 [kV/cm]) zastosowano jako czynnik synergiczny temperaturę 42°C co spowodowało redukcję *Escherichia coli* O157:H7 o 5,9 cykli logarytmicznych [15].

Trzeba pamiętać, że stosując synergicznie z oddziaływaniem PEF jakiegokolwiek dodatki należy brać pod uwagę ich możliwy wpływ na końcową ocenę sensoryczną produktu, co może przełożyć się akceptację konsumentką oraz ostatecznie na wyniki sprzedaży. Nie do końca jednoznaczny jest wpływ kolejności stosowania PEF i dodatków na skuteczność inaktywacji drobnoustrojów. Niektórzy autorzy w odniesieniu do konkretnych mikroorganizmów, dodatków oraz produktów nie widzą takiej zależności, inni zaś wskazują, że ona istnieje [16].

Podsumowanie

Pulsacyjne pola elektryczne są rzeczywistą alternatywą dla klasycznych metod pasteryzacji płynnych produktów spożywczych, pod warunkiem zachowania wysokiego bezpieczeństwa mikrobiologicznego utrwalanych płynów, co łatwiej się uzyskuje poprzez zastosowanie technologii PEF z innymi synergicznymi metodami w ramach tzw. „teorii płotkowej”. Jakość utrwalanych w taki sposób produktów jest zazwyczaj lepsza w porównaniu do innych wyrobów pasteryzowanych w sposób konwencjonalny, zarówno w odniesieniu do właściwości sensorycznych jak i składu chemicznego (np. mniejsze straty witamin). Dodatkowym atutem stosowania PEF wraz z innymi synergicznymi metodami jest zazwyczaj lepsza opłacalność ekonomiczna takiego sposobu utrwalania płynnych produktów spożywczych, aczkolwiek zależy to od wielu czynników. Szacuje się, że w ciągu najbliższych 5-10 lat technologia PEF będzie jedną z najchętniej wdrażanych w przemyśle spożywczym (obok metody „wysokich ciśnień” HPP, mikrofalowej, promieniowania UV i tzw. „zimnej plazmy”) - szczególnie w krajach europejskich [17].

Autorzy: dr inż. Maciej OZIEMBLÓWSKI, Uniwersytet Przyrodniczy we Wrocławiu, Wydział Nauk o Żywności, E-mail: Maciej.Oziemblowski@up.wroc.pl, dr inż. Tomasz DRÓZDZ, Uniwersytet Rolniczy w Krakowie, Wydział Inżynierii Produkcji i Energetyki, E-mail: Tomasz.Drozdz@ur.krakow.pl, dr inż. Piotr NAWARA, Uniwersytet Rolniczy w Krakowie, Wydział Inżynierii Produkcji i Energetyki, dr inż. Krzysztof NEĆKA, Uniwersytet Rolniczy w Krakowie, Wydział Inżynierii Produkcji i Energetyki, dr inż. Stanisław LIS, dr hab. inż. Paweł KIEŁBASA, Uniwersytet Rolniczy w Krakowie, Wydział Inżynierii Produkcji i Energetyki, E-mail: Pawel.Kielbasa@ur.krakow.pl, Uniwersytet Rolniczy w Krakowie, Wydział Inżynierii Produkcji i Energetyki, dr inż. Marcin TOMASIK, Uniwersytet Rolniczy w Krakowie, Wydział Inżynierii Produkcji i Energetyki, dr inż. Marek OSTAFIN, Uniwersytet Rolniczy w Krakowie, Katedra Mikrobiologii, E-mail: mostafin@ar.krakow.pl

LITERATURA

- [1] Oziemblowski M., Drózd T., Wrona P., Oddziaływania Pulsacyjnych Pól Elektrycznych (PEF) na mikroorganizmy w kontekście technologii żywności, *Przegląd Elektrotechniczny*, 12 (2013), 222-225
- [2] Jaeger H., Knorr D., Szabó E., Hámori J., Bánáti D., Impact of terminology on consumer acceptance of emerging technologies through the example of PEF technology, *Innovative Food Science and Emerging Technologies*, 29 (2015), 87–93
- [3] Walkling-Ribeiro M., Rodríguez-González O., Jayaram S., Griffiths M.W., Microbial inactivation and shelf life comparison of 'cold' hurdle processing with pulsed electric fields and microfiltration, and conventional thermal pasteurisation in skim milk, *International Journal of Food Microbiology*, 144 (2011), 379–386
- [4] Noci F., Riener J., Walkling-Ribeiro M., Cronin D.A., Morgan D.J., Lyng J.G., Ultraviolet irradiation and pulsed electric fields (PEF) in a hurdle strategy for the preservation of fresh apple Juice, *Journal of Food Engineering*, 85 (2008), 141–146
- [5] Caminiti I.M., Palgan I., Noci F., Muñoz A., Whyte P., Cronin D.A., The effect of pulsed electric fields (PEF) in combination with high intensity light pulses (HILP) on *Escherichia coli* inactivation and quality attributes in apple juice, *Innovative Food Science and Emerging Technologies*, 12 (2011), 118–123
- [6] Mosqueda-Melgar J., Raybaudi-Massilia R.M., Martín-Belloso O., Microbiological shelf life and sensory evaluation of fruit juices treated by high-intensity pulsed electric fields and antimicrobials, *Food and Bioprocess Processing*, 90 (2012), 205–214
- [7] Sepulveda D.R., Gongora-Nieto M.M., Guerrero J.A., Barbosa-Canovas G.V., Shelf life of whole milk processed by pulsed electric fields in combination with PEF-generated heat, *LWT - Food Science and Technology*, 42 (2009), 735–739
- [8] Guerrero-Beltran J.A., Sepulveda D.R., Gongora-Nieto M.M., Swanson B., Barbosa-Canovas G.V., Milk thermization by pulsed electric fields (PEF) and electrically induced heat, *Journal of Food Engineering*, 100 (2010), 56-60
- [9] Monfort S., Gayán E., Condón S., Raso J., Álvarez I., Design of a combined process for the inactivation of Salmonella Enteritidis in liquid whole egg at 55 °C, *International Journal of Food Microbiology*, 145 (2011), 476–482
- [10] Monfort S., Saldaña G., Condón S., Raso J., Álvarez I., Inactivation of Salmonella spp. in liquid whole egg using pulsed electric fields, heat, and additives, *Food Microbiology*, 30 (2012), 393-399
- [11] Monfort S., Mañas P., Condón S., Raso J., Álvarez I., Physicochemical and functional properties of liquid whole egg treated by the application of Pulsed Electric Fields followed by heat in the presence of triethyl citrate, *Food Research International*, 48 (2012), 484–490
- [12] Nguyen P., Mittal G.S., Inactivation of naturally occurring microorganisms in tomato juice using pulsed electric field (PEF) with and without antimicrobials, *Chemical Engineering and Processing*, 46 (2007), 360-365.
- [13] Mosqueda-Melgar J., Raybaudi-Massilia R.M., Martín-Belloso O., Non-thermal pasteurization of fruit juices by combining high-intensity pulsed electric fields with natural antimicrobials, *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 9 (2008), 328-340
- [14] Liang Z., Cheng Z., Mittal G.S., Inactivation of spoilage microorganisms in apple cider using a continuous flow pulsed electric field system, *LWT Food Science and Technology*, 39 (2006), 351-357
- [15] Lu J., Mittal G.S., Griffiths M.W., Reduction in levels of *Escherichia coli* O157:H7 in apple cider by pulsed electric fields, *Journal of Food Protection*, 64(7) (2001), 964-969
- [16] Martín-Belloso O., Sobrino-Lopez A., Combination of Pulsed Electric Fields with Other Preservation Techniques, *Food Bioprocess Technol*, 4 (2011), 954-968
- [17] Jermann C., Koutchma T., Margas E., Leadley C., Ros-Polski V., Mapping trends in novel and emerging food processing technologies around the world, *Innovative Food Science and Emerging Technologies*, 31 (2015) 14–27