

ZASTOSOWANIE PULSACYJNEGO ŚWIATŁA W TECHNOLOGII ŻYWNOŚCI: PRZEGLĄD LITERATURY

Artur Wiktor[✉], Jakub Czyżewski, Maria Hankus,
Mariusz Wojnowski, Dorota Witrowa-Rajchert
Szkola Główna Gospodarstwa Wiejskiego w Warszawie

Streszczenie. Celem pracy jest przegląd aktualnego stanu wiedzy oraz przybliżenie technologom żywności możliwości wykorzystania pulsacyjnego światła (PL – ang. *pulsed light*) w przemyśle spożywczym i naukach o żywności. Technika ta zaliczana jest do nowych, nietermicznych metod przetwarzania żywności. Jej zastosowanie związane jest przede wszystkim z dekontaminacją żywności oraz materiałów opakowaniowych, przy czym technika ta wykazuje działanie głównie powierzchniowe. Znane, choć nieliczne, są także przykłady wykorzystania tej metody w celu modyfikacji właściwości chemicznych żywności. Mechanizm wpływu pulsacyjnego światła na komórki organizmów żywych określa się jako efekt fotochemiczny lub fototermiczny. W przypadku mikroorganizmów PL hamuje lub uniemożliwia replikację materiału genetycznego, prowadząc tym samym do inaktywacji drobnoustrojów.

Słowa kluczowe: pulsacyjne światło, utrwalanie, dekontaminacja, żywność

WSTĘP

Konsumenci częściej niż kiedyś zwracają uwagę na pozostałe cechy produktów spożywczych, często stanowiące pewną wartość dodaną, np. pochodzenie produktu czy przyjazność środowisku [Verbeke i in. 2007]. Wiąże się to ściśle z coraz lepszym rozumieniem idei zrównoważonego rozwoju. Warto dodać, że ze wszystkich cech produktu spożywczego najważniejszą jest jego bezpieczeństwo. Powyższe czynniki stymulują naukowców i zachęcają producentów żywności oraz polityków do poszukiwań nowych rozwiązań związanych z bezpieczeństwem żywności. Konwencjonalne, termiczne metody przetwórstwa żywności wiążą się z poddaniem jej działaniu wysokiej temperatury przez czas od kilku sekund do kilkunastu minut. Przez ten czas do produktu dostarczane są

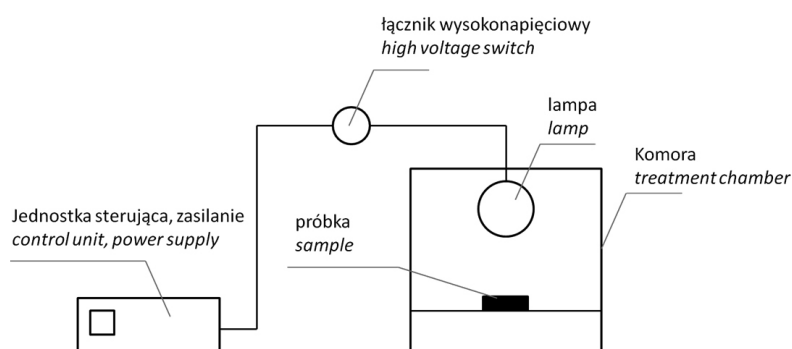
[✉]artur_wiktor@sggw.pl

znaczne ilości energii, które mogą spowodować rozkład pożądaných substancji (witamin, substancji aromatycznych) lub zajście niekorzystnych reakcji (np. nieenzymatycznego brunatnienia). Z kolei nietermiczne przetwórstwo żywności odbywa się w temperaturach niższych niż wykorzystywane w technologiach termicznych, przez co jakość produktu może być wyższa. Techniki wykorzystujące ultradźwięki [Knorr i in. 2004, Nowacka i in. 2012], pulsacyjne pole elektryczne (PEF) [Ade-Omowaye i in. 2003, Shynkaryk i in. 2008, Shin i in. 2010], wysokie ciśnienia hydrostatyczne (HHP) [Pietrzak 2010, Yucel i in. 2010, Marszałek i in. 2011] czy zimną plazmę [Noriega i in. 2011, Misra i in. 2011, Wiktor i in. 2013] są stale rozwijane, a niektóre z nich są już wykorzystywane w skali półtechnicznej i przemysłowej. Do grupy nietermicznych technologii należy zaliczyć także pulsacyjne światło.

CHARAKTERYSTYKA PULSACYJNEGO ŚWIATŁA PL

Technologia pulsacyjnego światła (PL – ang. *pulsed light*) polega na wykorzystaniu bardzo krótkich impulsów światła ($1 \mu\text{s}$ – $0,1 \text{ s}$) o szerokim spektrum (od ultrafioletu do bliskiej podczerwieni, 100–1100 nm). Urządzenie (rys.) wytwarzające pulsacyjne światło składa się z jednej lub kilku ksenonowych lamp, zasilacza oraz systemu umożliwiającego przesył wysokoprądowych impulsów. Stosunkowo długotrwały czas magazynowania energii elektromagnetycznej w kondensatorze, a następnie jej gwałtowne, szybkie uwolnienie w formie światła skutkuje zwielokrotnieniem mocy uzyskanego impulsu [Gomez i in. 2012a] i umożliwia dekontaminację np. produktu spożywczego lub opakowania. Liczba impulsów stosowana w technologii żywności waha się od 1 do 20 na sekundę w zależności od charakterystyki urządzenia [Oms-Oliu i in. 2010].

Pierwsze wzmianki o zastosowaniu światła w celu inaktywacji mikroorganizmów pojawiły się w latach trzydziestych ubiegłego wieku. Stwierdzono wówczas, że promienie UV-C wykazują działanie letalne w stosunku do drobnoustrojów [Artes i Allende 2005].



Rys. Schemat przykładowej instalacji służącej do aplikacji pulsacyjnego światła. Opracowanie własne na podstawie Rowan i in. [1999] oraz Barbosa-Canovas i in. [2011]

Fig. Schematic presentation of facility for pulsed light application. The authors own study based on Rowan et al. [1999] and Barbosa-Canovas et al. [2011]

System, który wówczas zastosowano, polegał na ciągłym działaniu lamp emitujących promieniowanie nadfioletowe. Z kolei pierwsze prace nad wykorzystaniem PL do dezynfekcji sięgają lat siedemdziesiątych XX wieku [Gomez-Lopez i in. 2007].

MECHANIZM ODDZIAŁYWANIA PL NA ORGANIZMY ŻYWE

Istnieją różne teorie tłumaczące letalne oddziaływanie pulsacyjnego światła. Większość autorów wskazuje na efekt fotochemiczny/lub fototermiczny. Ekspozycja organizmów żywych na działanie pulsacyjnego światła wiąże się z powstawaniem dimerów pirymidyny (najczęściej tyminy). Związki te, łącząc się kowalencyjnie, uniemożliwiają powstawanie nowych nici DNA, co hamuje replikację i w konsekwencji prowadzi do inaktywacji mikroorganizmów i dekontaminacji naświetlanej powierzchni [Oms-Oliu i in. 2010]. Naświetlanie przetrwalników również związane jest z powstawaniem pochodnych pirymidyny oraz prowadzi do uszkodzenia obu lub jednej nici DNA. Teoria ta powstała na bazie mechanizmu fotochemicznego, który tłumaczy letalny efekt działania CW UV (CW – ang. *continuous wave*) – a zatem fali świetlnej ciągłej o stałej amplitudzie oraz częstotliwości [Gomez-Lopez i in. 2007]. Efekt fototermiczny polega z kolei na indukowanym energią świetlną wzroście temperatury, który w dużym stopniu zależy od widzialnej oraz podczerwonej części spektrum pulsacyjnego światła [Takeshita i in. 2003]. Uważa się także, że oba efekty mogą występować równolegle, a inaktywacja drobnoustrojów wiąże się zarówno z utratą zdolności do replikacji (efekt fotochemiczny), jak i z dezintegracją komórek na skutek działania wysokiej temperatury (efekt fototermiczny) [Oms-Oliu i in. 2010].

ZASTOSOWANIE PL W UTRWALANIU ŻYWNOSCI

Przykładowe możliwości zastosowania PL w celu utrwalenia żywności zostały pokazane w tabeli i szczegółowo omówione w dalszej części artykułu.

Trwałość soków warzywnych i owocowych niepoddanych utrwalaniu termicznemu jest bardzo ważna z punktu widzenia bezpieczeństwa konsumenta. Pomimo faktu, że większość mikroorganizmów patogennych nie rozwija się w produktach tego typu, to zdarzają się przypadki, w których drobnoustroje (np. *E. coli* O157:H7, niektóre serotypy *Salmonella*, *Listeria monocytogenes*) potrafią zwiększyć swoją tolerancję na niekorzystne warunki i nawet doprowadzić do poważnych zatruc pokarmowych [Char i in. 2009, Mazzotta 2001]. Pataro i inni [2011] analizowali wpływ pulsacyjnego światła aplikowanego w czasie przepływu na jakość mikrobiologiczną regenerowanego soku jabłkowego oraz pomarańczowego zawierającego komórki bakteryjne (*L. innocua* lub *E. coli*). Aparat służący do obróbki pulsacyjnym światłem zawierał ksenonową lampę błyskową i generował trzy impulsy na sekundę polichromatycznego światła o długości fali od 100 do 1100 nm. Energia dostarczona do produktu wynosiła od 1,8 do 5,5 J·cm⁻², a impulsy aplikowane były z częstotliwością 3 Hz. Wykazano, że obróbka pulsacyjnym światłem soku zarówno jabłkowego, jak i pomarańczowego powoduje istotny spadek liczby badanych mikroorganizmów patogennych.

Tabela. Wartości redukcji liczby drobnoustrojów w wybranych produktach poprzez aplikację PL
 Table. Values of reduction of microorganisms population in selected food products by PL application

Produkt Product	Energia Energy	Redukcja liczby drobnoustrojów (log) Reduction of microorganisms population (log)	Źródło Source
Biała kapusta White cabbage	7 J	0,64	Gomez-Lopez et al. [2005]
Czarny pieprz Black pepper	1,95 J·cm ⁻²	2,93	Fine, Gervais [2004]
Filety łososia Salmon fillets	5,6 J·cm ⁻²	max. 0,91	Ozer, Demirci [2004]
Truskawki Strawberries	64,8 J	3,3	Bialka, Demirci [2008]
Maliny Raspberries	59,4 J	3,9	

W przypadku *E. coli* redukcja wahała się od 15,5 do 50%, a dla *L. innocua* – od 48 do 67%. Stwierdzono, że efekt sterylizacyjny był wprost proporcjonalny do wielkości dostarczonej dawki energii. Wskazano także zróżnicowaną wrażliwość poszczególnych gatunków bakterii na czynnik destrukcyjny. Autorzy badania zwrócili uwagę na konieczność uwzględnienia systemu chłodzącego instalację podczas naświetlania, ze względu na wzrost temperatury wynikającej z absorpcji energii świetlnej i ciepła wytwarzanego podczas pracy lampy. Zbyt wysoka temperatura może przyczynić się do powstania niekorzystnych zmian jakości produktu, np. utraty cennych składników [Popek 2014]. Gomez-Lopez i inni [2005] podają, że naświetlanie trwające dłużej niż 45 s, przy wybranych przez nich parametrach, może prowadzić do bardzo intensywnego nagrzewania produktu. Do podobnych wniosków doszli Jun i inni [2003] podczas badania możliwości stosowania tej techniki do dekontaminacji kaszy kukurydzianej, przy czym autorzy stwierdzili, że zastosowanie instalacji chłodniczej w ich doświadczeniu okazało się nieefektywne. Interwałowy charakter techniki PL umożliwia takie zaprojektowanie procesu obróbki materiału aby ograniczyć wzrost jego temperatury, co jest niemożliwe w przypadku stosowania efektywnych systemów ciągłych [Krishnamurthy i in. 2004]. W tym celu należy jednak stosować się do następujących zaleceń: lampa powinna być włączana/wyłączana możliwie szybko w trakcie sterylizacji, a pomiędzy kolejnymi impulsami powinna być odpowiednio dobrana przerwa, aplikowane impulsy powinny być krótkie i o wysokiej mocy szczytowej, światło powinno zawierać niewielką część spektrum podczerwieni [Elmnasser i in. 2007].

Ramos-Villarroel i inni [2015] badali możliwość wykorzystania techniki pulsacyjnego światła, dodatku kwasu jabłkowego oraz kombinacji tych czynników do inaktywacji bakterii *L. innocua* i *E. coli* w świeżym awokado, arbuzie i pieczarce. Surowiec po rozdrobnieniu przy użyciu odkażonych narzędzi zanurzany był w 2-procentowym roztworze kwasu jabłkowego przez 2 min. W kolejnym etapie dokonano aplikacji PL, wykorzystując lampę wypełnioną ksenonem, która emitowała światło w zakresie od 180 do 1100 nm, przy czym 15–20% energii zawierało się w spektrum UV. Czas trwania impulsu wynosił 0,3 ms, a całkowita energia dostarczona była równa 12 J·cm⁻². Odległość między surowcem a emitorem światła wyniosła 8,5 cm. Po zakończonej operacji materiał był mieszany z po-

żywką i homogenizowany przez 1 min, po czym całość inkubowano przez 24–48 h w 35–37°C. Tak przygotowaną próbkę przechowywano w warunkach chłodniczych przez czas do 15 dni i analizowano co 3 dni. Gdy poszczególne zabiegi prowadzone były niezależnie, udało się zmniejszyć populację patogenów od 11,4 do 13,75% dla PL i od 24 do 37,1% przy zastosowaniu kwasu jabłkowego. Kombinacja obu czynników dała ponad 62% redukcję liczby drobnoustrojów.

Inne publikacje naukowe potwierdzają skuteczne działanie pulsacyjnego światła jako pojedynczego czynnika bądź w połączeniu z innymi, gdzie zwiększone zostaje bezpieczeństwo mikrobiologiczne [Gomez i in. 2012b, Charles i in. 2013, Duarte-Molina i in. 2016].

Konsumenci coraz chętniej sięgają po produkty z kategorii tzw. żywności wygodnej [Adamczyk 2010]. Przykładowym wyrobem może być ser w plastrach w postaci ready-to-eat czy półprodukty mięsne do dalszej obróbki cieplnej. Czynione są starania aby zagwarantować bezpieczeństwo zarówno poprzez zapewnienie trwałości produktu, jak też ograniczenie do minimum ryzyka zakażenia krzyżowego na jednym z etapów produkcji. Fernandez i inni [2016] badali możliwość wykorzystania pulsacyjnego światła do dezintegracji komórek *Listeria* sp. na powierzchni sera typu gouda i manchego. Źródłem światła była ksenonowa lampa generująca impuls świetlny trwający 300 μ s. Plastry sera o grubości od 1,5 do 2 mm wycięto z całego bloku, używając wysterylizowanego ostrza. Następnie zostały one zakażone patogenem w ilości odpowiadającej 10^4 – 10^5 jtk \cdot cm $^{-2}$, osuszone i zapakowane próżniowo w torbę plastikową PE/PA. Tak przygotowane próbki poddano zróżnicowanej dawce pulsacyjnego światła: 0,9; 2,1; 4,2 oraz 8,4 J \cdot cm $^{-2}$. W przypadku sera typu gouda obróbka PL była efektywniejsza w porównaniu z serem typu manchego. W pierwszym przypadku udało się zmniejszyć liczbę komórek patogenów o 67%, wykorzystując dawkę 0,9 J \cdot cm $^{-2}$, nie stwierdzając przy tym zmian w cechach sensorycznych sera. W drugim przypadku ograniczono o 22% populację komórek *Listeria* sp.

ZASTOSOWANIE PL W DEKONTAMINACJI POWIERZCHNI MAJĄCYCH KONTAKT Z ŻYWNOCIĄ ORAZ OPAKOWAŃ ŻYWNOCI

Przedmiotem badań było również zastosowanie pulsacyjnego światła w celu minimalizacji ryzyka zakażeń krzyżowych. Rajkovic i inni [2010] analizowali możliwość dekontaminacji powierzchni kontaktujących się z mięsem na przykładzie stalowych noży tnących, a przez to ograniczenie możliwości zakażenia produktu przez *L. monocytogenes* i *E. coli* O157:H7. W badaniu wykorzystano ostrze o średnicy 6,5 cm, które zostało wysterylizowane, a następnie zanurzone w 5-procentowym ekstrakcie mięsny lub wykorzystane w krojeniu różnych rodzajów mięs. W ostatnim etapie na powierzchni ostrza zaszczepiono kulturę *L. monocytogenes* lub *E. coli* O157:H. Obróbkę PL prowadzono, stosując od 1 do 5 rozbłysków co 2 s. Otrzymane wyniki zależały zarówno od rodzaju produktu, z jakim kontakt miała powierzchnia ostrza przed zaszczepieniem, jak i od czasu, który upłynął pomiędzy naniesieniem mikroflory a aplikacją impulsu. Największą efektywność PL zaobserwowano, gdy ostrza miały styczność z surowcem o najmniejszej zawartości białka i tłuszczu oraz aplikację pulsacyjnym światłem rozpoczęto niezwłocznie po zaszczepieniu (1 min). Osiągnięto wówczas całkowite zniszczenie badanej mikroflory.

Możliwość wykorzystania PL w dekontaminacji materiału opakowaniowego zbadali Turtoi i Nicolau [2007]. Analizowano możliwość zniszczenia pleśni, które zaszczerpiono na polietylenowej powierzchni materiału PE-LD/PAP. Udało się uzyskać redukcję liczebności patogenów aż o 90%. Wykazano również zróżnicowaną wrażliwość sporów poszczególnych gatunków na pulsacyjne światło, a także wskazano możliwy wpływ barwy zarodników na rezystancję wobec dostarczonego światła.

Jest wiele potencjalnych możliwości wykorzystania pulsacyjnego światła. Zaletami tej techniki są szybkość dekontaminacji i przyjazność środowisku [Gomez-Lopez i in. 2007]. Technika PL może być aplikowana samodzielnie lub w połączeniu z inną metodą w celu maksymalizacji efektu [Marqueine i in. 2003, Gomez i in. 2012b, Ramos-Villarroel i in. 2015, Duarte-Molina i in. 2016]. Pozwala również, oprócz wydłużenia trwałości, na modyfikację pewnych cech produktu [Hierro i in. 2012, Charles i in. 2013]. Pulsacyjne światło może być stosowane w celu odkażania narzędzi w zakładach produkcyjnych [Rajkovic i in. 2010] lub produktów wcześniej zapakowanych w materiał przepuszczający światło [Fernández i in. 2009, Ramos-Villarroel i in. 2015]. Skutecznie zabezpiecza produkt przed rozwojem niekorzystnej flory mikrobiologicznej powstałej w wyniku zakażeń wtórnych [Ganan i in. 2013]. Technika ta z powodzeniem może być wykorzystywana do artykułów specjalnego przeznaczenia, takich jak żywność dla dzieci [Choi i in. 2010].

INNE ZASTOSOWANIA PL W TECHNOLOGII ŻYWNOSCI

Pulsacyjne światło może znaleźć także zastosowanie do celów innych niż dekontaminacja powierzchni. Rodov i inni [2012] wykorzystali tę technikę w celu stymulowania zmian właściwości fizykochemicznych owoców figi w trakcie ich przechowywania. Autorzy stwierdzili, że ekspozycja fig na działanie pulsacyjnego światła przez 10–90 s, pozwala zmodyfikować zarówno zawartość związków polifenolowych, jak i barwę owoców. Przykładowo obróbka pulsacyjnym trwająca 30 s skutkowała zmianą parametru a^* , który informuje o udziale barwy zielonej i czerwonej, z wartości ujemnej (związanej z barwą zieloną) na wartość dodatnią (związanej z barwą czerwoną) w ciągu 5 dni przechowywania. Podobnego efektu nie stwierdzono w przypadku owoców niepoddanych naświetlaniu pulsacyjnym. Zawartość polifenoli ogółem po pięciu dniach przechowywania w przypadku fig poddanych działaniu impulsów pulsacyjnego światła o łącznym czasie 300 s była 20-krotnie większa niż w przypadku owoców niepoddanych obróbce światłem. Można zatem stwierdzić, że zastosowanie pulsacyjnego światła może kompensować czas ekspozycji owoców na światło słoneczne.

Z kolei ekspozycja pieczarek na działanie pulsacyjnego światła skutkowało zwiększeniem zawartości witaminy D_2 [Koyyalamudi i in. 2011]. Przykładowo zawartość tej witaminy w pieczarkach potraktowanych 3 impulsami światła na 1 s wynosiła $9,4 \mu\text{g} \cdot \text{g} \cdot \text{s}^{-1}$, a w materiale poddanym działaniu dziewięciu impulsów na sekundę zawartość ta wynosiła $18,0 \mu\text{g} \cdot \text{g} \cdot \text{s}^{-1}$. Co istotne, badacze nie zaobserwowali żadnego wpływu badanej techniki na barwę przetwarzanego surowca, w przeciwieństwie do doniesień dotyczących wykorzystania ciągłego światła UV w celu stymulowania produkcji witaminy D_2 przez pieczarki [Sundar i in. 2009].

PODSUMOWANIE

Pulsacyjne światło należy do najbardziej obiecujących technik pozwalających na dekontaminację powierzchni żywności. Jedną z najważniejszych właściwości tej techniki jest jej nietermiczny charakter, co korzystnie wpływa na wartość odżywczą produktów spożywczych. Niemniej jednak należy pamiętać, że nieodpowiednio dobrane parametry PL mogą doprowadzić do nadmiernego wzrostu temperatury i powodować nieodwracalne zmiany jego właściwości (np. barwy [Oms-Oliu i in. 2010]), a tym samym obniżyć jego jakość. Istotnym kryterium decydującym o wyborze parametrów PL jest także barwa materiału poddawanego obróbce światłem – materiały o czarnej barwie absorbują więcej światła niż białe, dlatego zmiany właściwości tych materiałów mogą być wyraźniejsze [Fine i Gervais 2004].

W połączeniu z innymi technikami, np. z pulsacyjnym polem elektrycznym lub sonikacją, pulsacyjne światło może posłużyć do wyprodukowania żywności projektowanej. Bardzo ciekawym kierunkiem wykorzystania tej techniki wydaje się także jej skojarzenie z powlekaniami żywności filmami jadalnymi czy też z wywoływaniem reakcji stymulujących tkankę roślinną do produkcji określonych substancji. Praca z PL wydaje się być także bezpieczna, zwłaszcza, że aplikacja PL odbywa się w komorze, która nie powinna mieć bezpośredniego kontaktu z otoczeniem. To wszystko sprawia, że technika ta coraz częściej będzie znajdowała zastosowanie w różnych branżach przemysłu spożywczego. Największą zaletą prezentowanej techniki jest to, że wykazuje działanie powierzchniowe, co ogranicza możliwości jej praktycznego zastosowania. Ważnym elementem wpływającym na powszechność wykorzystania PL w przemyśle spożywczym jest także akceptacja tej techniki przez konsumentów [Cardello 2003]. Warto dodać, że w chwili obecnej istnieją przykłady firm oferujących półtechniczne czy też przemysłowe rozwiązania wykorzystania PL w celu obróbki żywności czy dekontaminacji materiałów mających kontakt z żywnością, np. Claranor czy Polytec.

LITERATURA

- Adamczyk G., 2010. Popularność „żywności wygodnej”. *J. Agribus. Rural Dev.* 4(18), 5–13.
- Ade-Omowaye B.I.O., Rastogi N.K., Angersbach A., Knorr D., 2003. Combined effect of pulsed electric field pre-treatment and partial osmotic dehydration on air drying behaviour of red bell pepper. *J. Food Eng.* 60, 89–98.
- Artes F., Allende A., 2005. Processing lines and alternative preservation techniques to prolong the shelf-life of minimally processed leafy vegetables. *Eur. J. Hortic. Sci.* 70, 231–245.
- Barbosa-Canovas G.V., Schaffner D.W., Pierson M.D., Zhang Q.H., 2000. Pulsed light technology. *J. Food Sci.* 65(8), 82–85.
- Bialka K.L., Demirci A., 2008. Efficacy of pulsed UV-light for the decontamination of *Escherichia coli* O157:H7 and *Salmonella* spp. on raspberries and strawberries. *J. Food Sci.* 73(5), 201–207.
- Cardello A.V., 2003. Consumer concerns and expectations about novel food processing technologies: effects on product liking. *Appetite* 40(3), 217–233.
- Char C., Guerrero S., Alzamora S.M., 2009. Survival of *Listeria* in thermally processed orange juice as affected by vanillin addition. *Food Control.* 20, 67–74.

- Charles F., Vidal V., Olive F., Filgueiras H., Sallanon H., 2013. Pulsed light treatment as new method to maintain physical and nutritional quality of fresh-cut mangoes. *Innov. Food Sci. Emerg.* 18, 190–195.
- Choi M., Cheigh C., Jeong E., Shin J., Chung M., 2010. Nonthermal sterilization of *Listeria monocytogenes* in infant foods by intense pulsed-light treatment. *J. Food Eng.* 97, 504–509.
- Duarte-Molina F., Gomez P.L., Agueda Castro M., Alzamora S.M., 2016. Storage quality of strawberry fruit treated by pulsed light: Fungal decay, water loss and mechanical properties. *Innov. Food Sci. Emerg.* 34, 267–274.
- Elmnasser N., Guillou S., Leroi F., Orange N., Bakhrouf A., Federighi M., 2007. Pulsed-light system as a novel food decontamination technology: a review. *Can. J. Microbiol.* 53(7), 813–821.
- Fernández M., Hospital X.F., Arias K., Hierro E., 2016. Application of pulsed light to sliced cheese: Effect on *Listeria* inactivation, sensory quality and volatile profile. *Food Bioprocess Tech.* DOI 10.1007/s11947-016-1721-2 [w druku].
- Fernández M., Manzano S., De la Hoz L., Ordóñez J.A., Hierro E., 2009. Pulsed light inactivation of *Listeria monocytogenes* through different plastic films. *Foodborne Pathog. Dis.* 6, 1265–1267.
- Fine F., Gervais P., 2004. Efficiency of pulsed UV light for microbial decontamination of food powders. *J. Food Prot.* 67(4), 787–792.
- Ganan M., Hierro E., Hospital X.F., Barroso E., Fernández M., 2013. Use of pulsed light to increase the safety of ready-to-eat cured meat products. *Food Control* 32, 512–517.
- Gomez P.L., García-Loredo A., Nieto A., Salvatori D. M., Guerrero S., Alzamora S.M., 2012b. Effect of pulsed light combined with an antibrowning pretreatment on quality of fresh cut apple. *Innov. Food Sci. Emerg.* 16, 102–112.
- Gomez P.L., Salvatori D.M., Garcia-Loredo A., Alzamora S.M., 2012a. Pulsed light treatment of cut apple: dose effect on color, structure, and microbiological stability. *Food Bioprocess Tech.* 5, 2311–2322.
- Gomez-Lopez V.M., Devlieghere F., Bonduelle V., Debevere J., 2005. Intense light pulses decontamination of minimally processed vegetables and their shelf-life. *Int. J. Food Microbiol.* 103(1), 79–89.
- Gomez-Lopez V.M., Ragaert P., Debevere J., Devlieghere F., 2007. Pulsed light for food decontamination: a review. *Trends Food Sci. Tech.* 18, 464–473.
- Hierro E., Ganan M., Barroso E., Fernández M., 2012. Pulsed light treatment for the inactivation of selected pathogens and the shelf-life extension of beef and tuna carpaccio. *Int. J. Food Microbiol.* 158, 42–48.
- Jun S., Irudayaraj J., Demirci A., Geiser D., 2003. Pulsed UV-light treatment of corn meal for inactivation of *Aspergillus niger* spores. *Int. J. Food Sci. Technol.* 38, 883–888.
- Knorr D., Zenker M., Heinz V., Lee D., 2004. Applications and potential of ultrasonics in food processing. *Trends Food Sci. Tech.* 15, 261–266.
- Krishnamurthy K., Demirci A., Irudayaraj J., 2004. Inactivation of *Staphylococcus aureus* by pulsed UV-light sterilization. *J. Food Protect.* 67(5), 1027–1030.
- Marquenie D., Geeraerd A.H., Lammertyn J., Soontjens C., Van Impe J.F., Michiels C.W., Nicolaÿ B.M., 2003. Combinations of pulsed white light and UV-C or mild heat treatment to inactivate conidia of *Botrytis cinerea* and *Monilia fructigena*. *Int. J. Food Microbiol.* 85, 185–196.
- Mazzotta A.S., 2001. Thermal inactivation of stationary-phase and acid-adapted *Escherichia coli* O157:H7, *Salmonella* and *Listeria monocytogenes* in fruit juices. *J. Food Protect.* 64, 315–320.

- Misra N.N., Tiwari B.K., Raghavarao K.S.M. S., Cullen P.J., 2011. Nonthermal plasma inactivation of food-borne pathogens. *Food Eng. Rev.*, 3, 159–170.
- Noriega E., Gilbert S., Laca A., Diaz M., Kong M.G., 2011. Cold atmospheric gas plasma disinfection of chicken meat and chicken skin contaminated with *Listeria innocua*. *Food Microbiol.* 28, 1293–1300.
- Nowacka M., Wiktor A., Śledź M., Jurek N., Witrowa-Rajchert D., 2012. Drying of ultrasound pretreated apple and its selected physical properties. *J. Food Eng.*, 113(2), 427–433.
- Oms-Oliu G., Martín-Belloso O., Soliva-Fortuny R., 2010. Pulsed light treatments for food preservation. A review. *Food Bioprocess Tech.* 3, 13–23.
- Ozer N.P., Demirci A., 2006. Inactivation of *Escherichia coli* O157: H7 and *Listeria monocytogenes* inoculated on raw salmon fillets by pulsed UV-light treatment. *Int. J. Food Sci. Tech.* 41(4), 354–360.
- Pataro G., Muñoz A., Palgan I., Noci F., Ferrari G., Lyng J.G., 2011. Bacterial inactivation in fruit juices using a continuous flow Pulsed Light (PL) system. *Food Res. Int.* 44, 1642–1648.
- Pietrzak D., 2010. Perspektywy stosowania wysokich ciśnień w produkcji żywności wygodnej z mięsa drobiowego. *ŻNTJ* 69, 16–28.
- Popek S., 2014. Ocena wpływu procesu utrwalania na determinanty jakości soków owocowych. *Zeszyty Naukowe UEK* 3(927), 33–41.
- Rajkovic A., Tomasevic I., Smigic N., Uyttendaele M., Radovanovic R., Devlieghere F., 2010. Pulsed UV light as an intervention strategy against *Listeria monocytogenes* and *Escherichia coli* O157:H7 on the surface of a meat slicing knife. *J. Food Eng.* 100, 446–451.
- Ramos-Villarreal A.Y., Martín-Belloso O., Soliva-Fortuny R., 2015. Combined effects of malic acid dip and pulsed light treatments on the inactivation of *Listeria innocua* and *Escherichia coli* on fresh-cut produce. *Food Control.* 52, 112–118.
- Rodov V., Vinokur Y., Horev B., 2012. Brief postharvest exposure to pulsed light stimulates coloration and anthocyanin accumulation in fig fruit (*Ficus carica* L.). *Postharvest Biol. Tec.* 68, 43–46.
- Shin J.K., Lee S.J., Cho H.Y., Pyun Y.R., Lee J.H., Chung M.S., 2010. Germination and subsequent inactivation of *Bacillus subtilis* spores by pulsed electric field treatment. *J. Food Process. Pres.* 43, 43–54.
- Shynkaryk M.V., Lebovka N.I., Vorobiev E., 2008. Pulsed electric field and temperature effects on drying and rehydration of red beetroots. *Drying Technol.* 26, 696–704.
- Sundar R.K., Jeong, S.C., Song, C.H., Cho, K.Y., Pang G., 2009. Vitamin D2 formation and bioavailability from *Agaricus bisporus* button mushrooms treated with Ultraviolet Irradiation. *J. Agr. Food Chem.* 57, 3351–3355.
- Takeshita K., Sibato J., Sameshima T., Fukunaga S., Isobe S., Arihara K., Itoh M., 2003. Damage of yeast cells induced by pulsed light irradiation. *Int. J. Food Microbiol.* 85, 151–158.
- Turtoi M., Nicolau A., 2007. Intense light pulse treatment as alternative method for mould spores destruction on paper–polyethylene packaging material. *J. Food Eng.* 83, 47–53.
- Verbeke W., Vanhonacke F., Sioen I., Van Camp J., De Henauw S., 2007. Perceived importance of sustainability and ethics related to fish: a consumer behavior perspective. *Ambio* 36, 580–585.
- Wiktor A., Śledź M., Nowacka M., Witrowa-Rajchert D., 2013. Możliwości zastosowania niskotemperaturowej plazmy w technologii żywności. *ŻNTJ* 20(5), 5–14.
- Yucel U., Alpas H., Bayindirli A., 2010. Evaluation of high pressure treatment for enhancing the drying rates of carrot, apple and green bean. *Postharvest Biol. Tec.* 98, 266–272.

APPLICATIONS OF PULSED LIGHT IN THE FOOD TECHNOLOGY: LITERATURE REVIEW

Summary. The aim of this work is to make a literature review and describe the possible applications of pulsed light in the food processing and food sciences. The paper is addressed to food technologist. The utilization of this method is linked first of all to the decontamination of food and food contact materials including packaging materials. Utilization of this technique is linked to the decontamination and food preservation. However, it should be emphasized that effectiveness of the pulsed light treatment is rather superficial and therefore the number of possible applications is limited. In the literature, there are few examples of non-preservative utilizations of pulsed light, for instance to stimulate the production of bioactive compounds for e.g. vitamin D or polyphenols. Thus, beside of food shelf-life extension, this technique can be used to shape and improve the quality of food. The mechanism of the influence of the pulsed light is described as photochemical or photothermal. In the case of microorganisms it prevents the replication of a DNA and in consequence inhibits the microbial growth. In the case of plant tissue the exposing the material on the PL is linked with photooxidative stress which can modify the production of the secondary metabolites. Increasing growth of both consumer needs and knowledge and modification of their lifestyle prompt the changes on the food market. Moreover, the environmental issues play more and more important role also in the branch of food production. Pulsed light, because of the fact, that it does not require any solvent or chemical to be active fits very well into the sustainable development concept. For the food producers, not without significance is also a fact that pulsed light can be applied in continues processes and the modification of the processing line is not so complicated. However, in the case of PL implementation the economical matter need to be covered before the final decision. Moreover, even if pulsed light acts superficially it can be combined with other emerging techniques or with edible coatings in order to achieve certain technological aims. All of aforementioned indicate that pulsed light can be considered as a valuable tool for food and food contact material processing.

Key words: pulsed light, preservation, decontamination, food