

SYLWIA PTAK, ARKADIUSZ ŻARSKI, JANUSZ KAPUŚNIAK

## ASPEKTY TECHNOLOGICZNE, EKONOMICZNE I ZDROWOTNE ZASTOSOWANIA PROMIENIOWANIA MIKROFALOWEGO W OBRÓBCE ŻYWNOSCI

### Streszczenie

Właściwe odżywianie jest jednym z głównych czynników, które determinują zdrowie społeczeństwa. Wzrastająca świadomość konsumentów na temat prawidłowych nawyków żywieniowych, a jednocześnie coraz większe tempo życia wymuszają poszukiwanie nowych rozwiązań w zakresie technologii żywności i technologii gastronomicznej. Obróbka żywności za pomocą promieniowania mikrofalowego jest techniką, która umożliwia znaczne skrócenie czasu procesu technologicznego. Energię tego promieniowania wykorzystuje się m.in. do suszenia, ogrzewania oraz sterylizacji produktów spożywczych. Produkt końcowy może charakteryzować się zmienionymi właściwościami, np. obniżonym poziomem istotnych dla zdrowia substancji bioaktywnych zawartych w żywności nieprzetworzonej lub przeciwnie – zachowaniem cech prozdrowotnych żywności w porównaniu z konwencjonalnymi metodami przetwarzania.

Celem pracy była analiza zagrożeń i korzyści zdrowotnych wynikających ze stosowania promieniowania mikrofalowego w gospodarstwach domowych i w przemyśle spożywczym. Dokonano przeglądu literatury dotyczącej wiedzy społeczeństwa na temat bezpieczeństwa korzystania z kuchenek mikrofalowych oraz wpływu obróbki mikrofalowej produktów spożywczych na ich właściwości prozdrowotne. Po przeprowadzeniu analizy problemu można stwierdzić, że wiele badań potwierdziło wyższość obróbki mikrofalowej nad metodami konwencjonalnymi pod względem zdrowotnym (zachowanie substancji bioaktywnych w żywności), wygody stosowania, jak i ekonomicznym (krótszy czas trwania procesu, co obniża koszty obróbki cieplnej produktów).

**Słowa kluczowe:** promieniowanie mikrofalowe, zdrowie publiczne, utrwalanie żywności, suszenie, ogrzewanie, sterylizacja

### Wprowadzenie

Szacuje się, że co roku na całym świecie dochodzi do ok. 600 milionów zachorowań po spożyciu zanieczyszczonej żywności, co powoduje 420 tysięcy zgonów i łącz-

---

*Mgr S. Ptak, mgr A. Żarski, dr hab. J. Kapuśniak, prof. UJD, Katedra Dietetyki i Badań Żywności, Wydz. Nauk Ścisłych, Przyrodniczych i Technicznych, Uniwersytet Humanistyczno-Przyrodniczy im. Jana Długosza w Częstochowie, al. Armii Krajowej 13/15, 42-200 Częstochowa.  
Kontakt: j.kapusniak@ujd.edu.pl*

ną utratę 33 milionów lat życia w zdrowiu (DALY – ang. *disability adjusted life-years*) [55]. Szkodliwe bakterie, wirusy, pasożyty czy substancje chemiczne zawarte w żywności mogą być przyczyną niedożywienia ludności oraz ponad 200 różnych chorób, które dotyczą w szczególności niemowlęta, dzieci, osoby starsze i chore. Jednym z warunków koniecznych do życia w zdrowiu jest dostęp do bezpiecznej żywności. Światowa Organizacja Zdrowia (WHO) wspiera wykrywanie, zapobieganie i reagowanie na zagrożenia zdrowia publicznego związane z żywnością.

Coraz większe zapotrzebowanie konsumentów na nieprzetworzoną, pozbawioną dodatków chemicznych i mikrobiologicznie bezpieczną żywność wymusza opracowywanie nowych technologii i innowacyjnych rozwiązań w przemyśle spożywczym. Dążenie do maksymalnego skrócenia czasu przygotowywania posiłków wywołane pospiesznym stylem życia przyczynia się do zwiększenia częstotliwości ogrzewania objętościowego. Technika wykorzystywaną do tego celu zarówno w gospodarstwach domowych, jak i w przemyśle spożywczym jest promieniowanie mikrofalowe [4].

Mikrofałe to rodzaj promieniowania elektromagnetycznego o długości fali w zakresie  $1 \div 1000$  mm (częstotliwość  $0,3 \div 300$  GHz) [35]. Fale radiowe, promieniowanie mikrofalowe i światło widzialne są rodzajami promieniowania niejonizującego, czyli takiego, które nie ma wystarczającej energii, aby doprowadzić do emisji elektronu z atomu lub cząsteczki. Promieniowaniem jonizującym jest natomiast promieniowanie rentgenowskie, które może być przyczyną uszkodzeń komórek materii organicznej [50]. Zgodnie z postanowieniem Komisji w Genewie w przemyśle spożywczym wykorzystuje się fale o częstotliwościach 2450 MHz (w domowych kuchenkach mikrofalowych) oraz 915 MHz i 896 MHz (w urządzeniach przemysłowych) [35].

Wpływ mikrofal na zdrowie człowieka można rozpatrywać jako wpływ bezpośredni – poprzez oddziaływanie promieniowania wytwarzanego przez urządzenie na organizm człowieka oraz wpływ pośredni – poprzez zmiany zachodzące w żywności podczas jej przygotowywania do spożycia.

Celem pracy była analiza zagrożeń i korzyści zdrowotnych wynikających ze stosowania promieniowania mikrofalowego w gospodarstwach domowych i w przemyśle spożywczym.

### **Kuchenki mikrofalowe w gospodarstwach domowych – wykorzystanie, świadomość konsumenta**

Ze względu na wygodę w przygotowywaniu i podgrzewaniu posiłków kuchenki mikrofalowe stały się w gospodarstwach domowych powszechnie stosowanym urządzeniem. Czarniecka-Skubina i wsp. [11] przeprowadziły analizę częstości stosowania kuchenek mikrofalowych w polskich domach w latach 2015 - 2016 oraz wiedzy na temat bezpieczeństwa korzystania z nich. Spośród 250 respondentów ok. 80 % posiadało kuchenki mikrofalowe, z czego ok. 45 % korzystało z nich codziennie albo kilka

razy w tygodniu. Używano ich głównie do podgrzewania żywności, zaś w mniejszym stopniu do rozmrażania czy gotowania. Grupą, która najchętniej korzystała z kuchenek mikrofalowych były osoby w wieku 26 - 40 lat. Zdecydowana większość osób spośród wszystkich badanych (ponad 70 %) twierdziła, że stosowanie kuchenek jest bezpieczne dla zdrowia i podobna liczba uważała jakość posiłków za dobrą. W większości były to osoby o wyższym statusie ekonomicznym. Zdecydowany wzrost liczby kuchenek mikrofalowych w polskich domach na przestrzeni lat 1994 (3,4 %) - 2015 (58,9 %) był związany m.in. z ponad dwukrotnym obniżeniem ich cen (1999 r. ~650 zł, 2013 r. ~300 zł) [11, 26, 39]. Korzeniowska-Ginter i Tkacz [22] przebadaly 206 respondentów (spośród których 50 % posiadało kuchenki mikrofalowe) i wykazały, że zdecydowana większość osób (ponad 80 %) posiadających własne urządzenie korzystała z niego przynajmniej 2 razy w tygodniu. W badaniu ankietowym sprawdzono również wiedzę na temat bezpieczeństwa stosowania ogrzewania mikrofalowego oraz jego wpływu na żywność i zdrowie człowieka. Większość respondentów wykazała się brakiem takiej wiedzy. Analogiczne wyniki otrzymali New i wsp. [32] z Malezji, którzy przeprowadzili ankietę wśród 329 respondentów. Wykonali oni badania dotyczące świadomości konsumentów na temat bezpieczeństwa żywności ogrzewanej w kuchenkach mikrofalowych. Malezyjczycy wykazali się niewielką wiedzą o samych urządzeniach, jak i o bezpiecznej praktyce korzystania z nich.

### **Wpływ promieniowania mikrofalowego na zdrowie człowieka**

Promieniowanie mikrofalowe może ogrzewać tkanki organizmu człowieka [50]. Szczególnie narażone są dwa organy – jądra i oczy. Ekspozycja na wysoki poziom promieniowania mikrofalowego może powodować oparzenia lub zaćmę. Przeprowadzono wiele badań, w których myszy lub szczury poddano działaniu pola elektromagnetycznego o częstotliwości 2450 MHz, czyli takiej, jaka jest wykorzystywana w kuchenkach mikrofalowych. Trudno jest jednak sformułować jednoznaczne wnioski, ponieważ analizy wykonywane były w różnych warunkach (modulacji, gęstości mocy oraz czasu) i nie są porównywalne [62].

Kumar i wsp. [23] przeprowadzili miesięczne badania na myszach. Stwierdzili, że codzienna 2-godzinna ekspozycja na niemodulowane promieniowanie mikrofalowe (gęstość mocy – 0,033 mW/cm<sup>2</sup>; współczynnik absorpcji swoistej – 0,023 W/kg) może przyczynić się do zmian biochemicznych (wyższy poziom wewnątrzkomórkowego wapnia i tlenu azotu) i behawioralnych (wzmoczony niepokój, depresja) w mózgu. Dla porównania, modulowane promieniowanie mikrofalowe (gęstość mocy – 0,029 mW/cm<sup>2</sup>; współczynnik absorpcji swoistej – 0,019 W/kg; modulacja sinusoidalna – 400 Hz) nie powodowało takich zmian. Cosquer i wsp. [10] dowiedli, że ekspozycja na pulsacyjne promieniowanie mikrofalowe o częstotliwości 2450 MHz i uśrednionej wartości współczynnika absorpcji swoistej dla całego ciała równej 0,6 W/kg nie

powodowała zmian lękowych u szczurów. Podobne badania przeprowadzono na myszach, które poddano działaniu promieniowania o intensywności mocy 100 mW przez 7, 30, 60, 90 oraz 120 dni (60 min dziennie). Wykazano, że pulsacyjne promieniowanie mikrofalowe o częstotliwości 2450 MHz nie przyczyniło się do zmian obsesyjno-kompulsyjnych, depresji czy niepokoju [41]. Z kolei Zhao i wsp. [61] zaobserwowali zwyrodnienie neuronów i powiększenie przestrzeni okołonaczyniowych w hipokampie u grup szczurów, które poddano działaniu mikrofal o gęstości mocy 2,5, 5 i 10 mW/cm<sup>2</sup> przez 7, 14 i 30 dni (6 min dziennie). We wszystkich narażonych na promieniowanie mikrofalowe grupach nastąpiło zmniejszenie zdolności zapamiętywania i uczenia się.

W innym eksperymencie badano wpływ krótkoterminowego (15 dni) i długoterminowego (30 i 60 dni) narażenia myszy na promieniowanie mikrofalowe o częstotliwości 2450 MHz (fala ciągła, gęstość mocy – 0,0248 mW/cm<sup>2</sup>, współczynnik absorpcji swoistej – 0,0146 W/kg) przez 2 h dziennie na wystąpienie zaburzeń neurobehawioralnych. Stres oksydacyjny i nitrozacyjny, który potencjalnie prowadził do utraty pamięci przestrzennej i zdolności uczenia się, wystąpił we wszystkich badanych grupach niezależnie od czasu narażenia [44]. Uszkodzenie DNA oraz stres oksydacyjny wystąpiły również przy dwumiesięcznym (2 h dziennie przez 5 dni w tygodniu) narażeniu szczurów na promieniowanie o częstotliwości 2450 MHz i współczynniku absorpcji swoistej – 0,66 mW/kg [29].

Wyniki badań wskazują, że nie ma jednoznacznej odpowiedzi na pytanie, czy promieniowanie mikrofalowe o analizowanej częstotliwości (2450 MHz), stosowanej w kuchenkach mikrofalowych, ma szkodliwy wpływ na zdrowie i są one zależne od warunków, w jakich przeprowadzono ekspozycję.

Standardy bezpieczeństwa dotyczące promieniowania mikrofalowego wyznacza oraz egzekwuje Amerykańska Agencja Żywności i Leków (FDA – *Food and Drug Administration*), która od roku 1971 nadzoruje produkcję kuchenek mikrofalowych i zobowiązuje producentów do ich certyfikacji. Celem działania FDA jest ochrona zdrowia publicznego na terenie Stanów Zjednoczonych. Uwzględniając aktualną wiedzę na temat promieniowania mikrofalowego, FDA uważa, że korzystanie z kuchenek mikrofalowych spełniających wyznaczone standardy, zgodnie z instrukcją obsługi, jest bezpieczne dla zdrowia [50].

Zgodnie ze standardem Kodeksu Przepisów Federalnych (21 CFR 1030.10) maksymalna ilość mikrofal, która może wydostawać się z urządzenia, to 50 W/m<sup>2</sup> w odległości ok. 5 cm od jego powierzchni. Wartość ta nie przekracza ilości bezpiecznej dla zdrowia człowieka. Ponadto w odległości ok. 50 cm wartość energii promieniowania spada stukrotnie. Najwięcej zagrożeń i wypadków związanych z korzystaniem z kuchenek mikrofalowych wynika z niestosowania się do zaleceń producenta i są to głównie poparzenia spowodowane gorącymi naczyniami, posiłkami czy eksplodującymi

płynami. Obrażenia, których przyczyną może być promieniowanie mikrofalowe, są spowodowane nieprawidłowo działającym sprzętem, np. uszkodzoną uszczelką czy zawiasem drzwi kuchenki [50].

Istnieje niewiele informacji na temat negatywnego wpływu konsumpcji żywności poddanej obróbce mikrofalowej. El Ghazaly i wsp. [18] przeprowadzili badania, których celem była ocena skutków spożywania posiłków ogrzewanych w kuchence mikrofalowej. Dokonano oceny wpływu żywności podgrzanej za pomocą mikrofal na krew i narządy miesięcznych (wiek przedporodowy) i trzymiesięcznych (wiek poporodowy) szwajcarskich myszy albinosów. Wykazano obniżenie poziomu peroksydazy glutationowej i dysmutazy ponadtlenkowej, a także wzrost stężenia dialdehydu malonowego, co jest związane ze stresem oksydacyjnym, który prowadzi do zaburzeń fizjologicznych. Wyniki opisanego badania wskazują, że spożywanie żywności poddanej działaniu promieniowania mikrofalowego ma niekorzystny wpływ na funkcje wątroby i prowadzi do jej histologicznych i fizjologicznych zmian. Podobne badania, mające na celu sprawdzenie, czy ciągłe spożywanie żywności narażonej na działanie mikrofal ma wpływ na peroksydację lipidów, enzymy antyoksydacyjne, fragmentację DNA i profil lipidowy w wątrobie szczurów albinosów, wykonali Hassani i wsp. [20]. Szczury karmiono stałą ilością pokarmu poddanego działaniu promieniowania mikrofalowego przez 10 min w 320 MHz. Próbkę krwi i tkanek pobierano po 3, 6, 9, 12 i 15 tygodniach. Stwierdzono znaczne obniżenie poziomu glutationu w całym okresie eksperymentalnym i zwiększoną peroksydację lipidów po 6, 12 i 15 tygodniach, co świadczy o pojawieniu się stresu oksydacyjnego. Po 9 tygodniach nastąpił znaczny wzrost fragmentacji DNA. Ponadto zaobserwowano istotny wzrost poziomu cholesterolu całkowitego i lipoprotein LDL (niskiej gęstości) oraz obniżenie poziomu HDL (lipoproteiny wysokiej gęstości). Karmienie szczurów pokarmem po obróbce w kuchence mikrofalowej powodowało zatem hepatotoksyczność poprzez wzrost peroksydacji lipidów oraz zmiany w metabolizmie lipidów i lipoprotein. Mathur i wsp. [28] przez 2, 3 i 4 tygodnie badali samce myszy albinosów, które karmiono pożywieniem wyłącznie ogrzewanym w kuchence mikrofalowej, a przez kolejne 4 tygodnie podawano pokarm niepoddany obróbce mikrofalowej. Grupa eksperymentalna wykazywała oznaki stresu oksydacyjnego, które po 4 tygodniach „zdrowego” odżywiania cofały się. Wyniki badań wskazują zatem, że po odpowiednio długim czasie spożywania pokarmu niepoddanego obróbce mikrofalowej można niemal całkowicie wrócić do zdrowia i cofnąć zmiany spowodowane przyjmowaniem posiłków ogrzewanych w kuchence mikrofalowej.

## Zastosowanie promieniowania mikrofalowego w technologii żywności

### Suszenie

Suszenie jest jedną z metod utrwalania żywności mającą na celu zmniejszenie aktywności wody w materiale. W wyniku dostarczonego ciepła wewnątrz produktu następuje przemiana fazowa, a powstająca para jest transportowana na zewnątrz surowca. Usunięcie wody z materiału w wyniku suszenia może prowadzić do zniszczenia jego struktury wewnętrznej. Szczególnie niekorzystnie wpływa na produkt wysoka temperatura oraz wydłużony czas procesu [33]. Jedną z technologii suszenia jest suszenie mikrofalowe. Metoda ta w porównaniu z suszeniem konwekcyjnym charakteryzuje się wieloma zaletami. Mikrofałe umożliwiają równomierne ogrzewanie produktu w całej objętości, co znacznie skraca czas całego procesu i pozwala obniżyć temperaturę [19]. W procesie odwadniania istotną rolę odgrywa efektywny współczynnik dyfuzji wody. W badaniach plasterków jabłek, cebuli oraz sardynek wykazano wzrost tego współczynnika wprost proporcjonalnie do zwiększania mocy wyjściowej mikrofal [12, 15, 59]. Suszenie mikrofalowe może być wspomagane innymi metodami obróbki, do których zalicza się suszenie mikrofalowo-próżniowe, suszenie mikrofalowe w dalekiej podczerwieni, suszenie mikrofalowo-konwekcyjne i suszenie mikrofalowo-liofilizowane [19]. Zastosowanie mikrofal w procesie suszenia żywności wpływa pozytywnie na właściwości mechaniczne, porowatość, zachowanie barwy, aromatu oraz składników aktywnych [33].

Metoda suszenia materiałów ma znaczący wpływ na zmianę kształtu oraz sposób kurczenia się produktu spożywczego. Rząca [40] wykazał, że suszenie konwekcyjne powoduje 76-procentowy skurcz jabłek, a suszenie mikrofalowo-konwekcyjne na poziomie 63 - 72 %. Suszenie mikrofalowe wpływa pozytywnie na porowatość, zmniejszenie gęstości, jednolitość struktury oraz barwę suszonego preparatu. Suszenie mikrofalowo-próżniowe liści mięty pozwala na skrócenie czasu procesu nawet do 90 % w porównaniu z suszeniem konwekcyjnym, zmniejsza się także zakres zmian kształtu materiału [48]. Usunięcie wody wpływa na elastyczność materiału, ponieważ woda jest plastyfikatorem, od którego zależy kruchość produktu końcowego. Materiały suszone mikrofalowo wykazują większą wytrzymałość niż te suszone konwekcyjnie i sublimacyjnie [33]. Zielińska i wsp. [63] dowiedli, że jagody (*Vaccinium corymbosum* L.) poddane suszeniu charakteryzują się większą twardością i gumowatością po suszeniu konwekcyjnym niż po suszeniu mikrofalowym. Podczas cięcia suszy jabłkowych materiał suszony mikrofalowo charakteryzował się jednolitą strukturą, zaś cięcie suszy konwekcyjnych prowadziło do skokowych pęknięć w produkcie, związanych z występowaniem lokalnych utwardzonych struktur [40].

Istotnym aspektem suszenia jest higroskopijność powstającego suszu. Stopień rehydratacji związany jest z poziomem zniszczeń strukturalnych materiału, wynikają-

cych z procesu suszenia. Wysoka higroskopijność suchej masy produktów spożywczych w warunkach przechowywania jest zjawiskiem niepożądanym, zaś dla konsumentów odtwarzalność struktury w wodzie jest pozytywną cechą produktu [33]. Wang i wsp. [53] przeprowadzili analizę higroskopijności plasterów karpia suszonych różnymi metodami i stwierdzili, że susze otrzymanywane metodą mikrofalowo-próżniową wykazują większą zdolność pochłaniania wody niż produkty suszenia konwekcyjnego, co wiąże się z mniejszym skurczem suszu w przypadku pierwszej metody. Moc mikrofal zastosowanych podczas suszenia również odgrywa istotną rolę w stopniu higroskopijności materiałów suszonych. Sarimeseli i wsp. [43] wykazali, że zwiększenie mocy mikrofal obniża pochłanianie wody przez suchą masę liści kolendry. Wyniki tych badań zostały potwierdzone również podczas suszenia owoców granatu [21].

Metoda suszenia wpływa również na barwę produktu. Podczas suszenia mikrofalowego uzyskuje się produkt o barwie zbliżonej w większym stopniu do naturalnej produktu niesuszonego niż w przypadku suszenia konwekcyjnego. Zastosowanie mikrofal sprawia, że uzyskany susz jest jaśniejszy [40]. Suszenie mikrofalowe wpływa pozytywnie na aromat i smak suszy. Związki aromatyczne są wrażliwe na działanie wysokiej temperatury, dlatego zastosowanie mikrofal pozwala zachować więcej substancji aromatycznych niż długotrwałe suszenie konwekcyjne w podwyższonej temperaturze [33].

Istotnym aspektem suszenia są zmiany zawartości substancji odżywczych. Wysoka temperatura oraz długi czas suszenia wpływają niekorzystnie na zawartość witamin i przeciwutleniaczy w suszach. Szczególnie narażone na degradację są witaminy rozpuszczalne w wodzie. Mikrofałe ograniczają straty biochemiczne w materiale ze względu na skrócenie czasu i obniżenie temperatury procesu [47]. Suszenie powoduje obniżenie aktywności przeciwutleniającej produktów. Nowacka i wsp. [33] wykazali, że suszenie jabłek metodą konwekcyjną spowodowało obniżenie zdolności wygaszania wolnych rodników do 42 %, zaś suszenie mikrofalowo-konwekcyjne – do 67 % w stosunku do produktu niesuszonego.

Nawirska-Olszańska i wsp. [31] udowodnili, że zwiększenie mocy promieniowania przy suszeniu mikrofalowym (w zakresie 100 ÷ 250 W) przyczyniło się do zmniejszenia całkowitej zawartości polifenoli, związków bioaktywnych (chlorofilu a i b, karotenoidów) oraz właściwości przeciwutleniających suszonych plasterów dyni. Odwrotne wyniki badań uzyskali Al Juhaimi i wsp. [3], którzy stwierdzili, że całkowita zawartość fenoli oraz właściwości przeciwutleniające plasterów jabłka były wyższe w przypadku produktów suszonych w warunkach wyższej mocy promieniowania (w zakresie 180 ÷ 540 W). Wiśnie suszone mikrofalowo-próżniowo charakteryzowały się większą zawartością związków fenolowych oraz aktywnością przeciwutleniającą w porównaniu z suszonymi konwekcyjnie. Jednocześnie wykazano, że najbardziej korzystne warunki suszenia wiśni występowały przy najwyższej spośród zastosowa-

nych mocy promieniowania mikrofalowego (240, 360 i 480 W) [54]. Podobne wyniki otrzymali Aghilinategh i wsp. [1], którzy potwierdzili, że najwyższa zastosowana moc promieniowania mikrofalowego (200 ÷ 600 W) w najmniejszym stopniu przyczyniała się do obniżenia całkowitej zawartości związków fenolowych.

### Ogrzewanie

Metody obróbki cieplnej żywności mogą mieć wpływ na ilość składników odżywczych i związków fitochemicznych w produktach spożywczych. Jedną z takich metod jest ogrzewanie mikrofalowe [14].

Wpływ ogrzewania mikrofalowego na zawartość substancji bioaktywnych oraz aktywność przeciwutleniającą żywności był przedmiotem wielu badań. Akdas i wsp. [2] stwierdzili, że najlepszą techniką ogrzewania świeżego jarmużu, która praktycznie nie ma wpływu na zawartość związków fitochemicznych o charakterze prozdrowotnym oraz jego właściwości przeciwutleniające, jest gotowanie na parze. Ogrzewanie w kuchence mikrofalowej również nie powodowało dużych zmian pod tym względem, a średnia całkowita zawartość karotenoidów oraz kwasu askorbinowego wynosiła odpowiednio: 99,8 i 89,4 % w stosunku do ilości zawartych w świeżym jarmużu.

Tian i wsp. [49] uważają, że spośród domowych metod ogrzewania posiłków (takich jak: ogrzewanie mikrofalowe, gotowanie, pieczenie, gotowanie na parze, smażenie) obróbka w kuchence mikrofalowej ma, obok gotowania na parze, najmniejszy wpływ na zmniejszenie zawartości związków fitochemicznych oraz obniżenie aktywności przeciwutleniającej ziemniaków truflowych. Autorzy wykazali, że zawartość witaminy C w ziemniakach ugotowanych w kuchence mikrofalowej (ok. 101 mg/100 g s.m.) jest większa niż w ugotowanych na parze (ok. 83 mg/100 g s.m.) i nieznacznie mniejsza niż w ziemniakach surowych (ok. 109 mg/100 g s.m.). Ponadto ilość włókna surowego (część błonnika pokarmowego) w ziemniakach przygotowanych za pomocą promieniowania mikrofalowego jest nieznacznie większa niż w ziemniakach surowych czy w ziemniakach gotowanych na parze. Z uwagi na to, że włókno surowe wpływa na perystaltykę jelit, ogrzewanie mikrofalowe jest najlepszą metodą przygotowywania ziemniaków truflowych, co jest cenne ze względu na właściwości prozdrowotne. Yang i wsp. [57] porównali wpływ różnych metod ogrzewania (gotowanie, pieczenie i ogrzewanie mikrofalowe) bulw ziemniaków na ich właściwości fizyczne i odżywcze. Ogrzewanie mikrofalowe sprzyjało szybkiemu żelowaniu skrobi i charakteryzowało się zwiększoną retencją skrobi odpornej w stosunku do gotowania. Retencję substancji bioaktywnych zaobserwowano przy stosowaniu niższej mocy promieniowania i dłuższego czasu ogrzewania.

Sun i wsp. [46] badali wpływ klasycznego gotowania oraz ogrzewania w kuchence mikrofalowej na zawartość składników odżywczych i przeciwutleniaczy w świeżych i mrożonych pieczarkach brazylijskich (*Agaricus blazei* Murril). Wykazali, że



ogrzewanie mikrofalowe wpłynęło na zmniejszenie zawartości glukozy, galaktozy i mannozy w większym stopniu niż gotowanie. Obie metody ogrzewania miały natomiast porównywalny wpływ na zmniejszenie całkowitej zawartości białek rozpuszczalnych, popiołu, witaminy C oraz całkowitej zawartości fenoli [46]. Perla i wsp. [36] wykazali, że całkowita zawartość fenoli, flawonoidów, flawonoli, luteiny w bulwach ziemniaków maleje podczas obróbki mikrofalowej, ale nie bardziej niż podczas pieczenia. Korzystniejszą metodą ogrzewania ziemniaków pod względem minimalizacji strat tych składników jest jednak gotowanie.

Wyniki badań przeprowadzonych przez Xu i wsp. [56] wskazują, że ogrzewanie mikrofalowe powoduje nieznaczne zmniejszenie całkowitej zawartości fenoli oraz witaminy C, podczas gdy smażenie i gotowanie przyczynia się do znacznego zmniejszenia zawartości tych substancji w czerwonej kapuście. Ogrzewanie mikrofalowe ma niewielki wpływ na zawartość substancji bioaktywnych w warzywach. Znacznie bardziej niekorzystne wyniki otrzymali Dolinsky i wsp. [16], którzy ogrzewali wybrane warzywa (jarmuż, pomidory, fasolkę szparagową) w kuchence mikrofalowej w naczyniu z wodą. Tak przeprowadzony proces wpływał na zmniejszenie zawartości polifenoli o ponad 20 %. Podobne wyniki otrzymano w przypadku manioku ogrzewanego w naczyniu z wodą w kuchence mikrofalowej. W próbkach zaobserwowano znaczne zmniejszenie zawartości polifenoli oraz aktywności przeciwutleniającej w porównaniu do gotowania na parze [14].

Sharma i Gujral [45] badali aktywność przeciwutleniającą ziarna jęczmienia poddanego działaniu promieniowania mikrofalowego. Stwierdzili obniżenie tej aktywności oraz zmniejszenie zawartości fenoli i flawonoidów w porównaniu z ziarnem jęczmienia prażonego w piasku.

Chang i wsp. [7] określili wpływ temperatury na zmiany struktur omięsnej wewnętrznej i śródmięsnej oraz na denaturację i kurczenie się kolagenu, a także udowodnili, że wysoka temperatura i długi czas ogrzewania mięśnia półścięgnistego (*m. semitendinosus*) tylnej ćwierćtuszy wołowej przyczynia się do zwiększenia zawartości nierozpuszczalnego kolagenu. Uznali oni, że użycie łaźni wodnej jest bardziej korzystne niż ogrzewanie w kuchence mikrofalowej ze względu na wyższą jakość mięsa i równomierne ogrzewanie. Musto i wsp. [30] badali oddziaływanie ogrzewania mikrofalowego na wołowy mięsień nadgrzebieniowy (łopatkę). Wykazali zmiany właściwości fizykochemicznych analizowanego mięśnia (m.in. ubytek masy spowodowany utratą wody) oraz znaczny wpływ tego ogrzewania na integralność izolowanego DNA [30]. Podobnie podczas gotowania mięśnia najdłuższego grzbietu wielbłąda stwierdzono większy ubytek masy przy zastosowaniu ogrzewania mikrofalowego (ok. 43 %) niż pieczenia (ok. 34 %) czy duszenia (ok. 30 %). Wynika to z utraty wody i tłuszczu na skutek denaturacji białka i zmian w budowie mięśnia po podgrzaniu za pomocą mikrofal [58]. Zwiększony ubytek masy podczas ogrzewania mikrofalowego (32,5 %)

w stosunku do trzech innych metod obróbki koniny: pieczenia (26,7 %), smażenia (23,8 %) i grillowania (22,5 %) wykazali również Dominguez i wsp. [17]. Utleniony tłuszcz wpływa na smak koniny poddanej obróbce termicznej. Jednocześnie wraz ze wzrostem stopnia utlenienia lipidów wzrasta ilość produkowanych lotnych związków: heksanal i aldehydów. Ogrzewanie w kuchence mikrofalowej powodowało zwiększone utlenianie tłuszczu w porównaniu z grillowaniem i smażeniem.

Ogrzewanie za pomocą promieniowania mikrofalowego może prowadzić nie tylko do zmian wartości odżywczej, ale również do zmian cech sensorycznych, takich jak tekstura czy barwa [24].

Yarmand i wsp. [58] odnotowali, że siła niezbędna do ściśnięcia próbki mięśnia najdłuższego grzbietu wielbłąda ogrzanej mikrofalowo jest ponad dwukrotnie wyższa w porównaniu z mięśniem surowym poddanym takiemu samemu testowi. Półtorak i wsp. [38] wykazali, że siła ścinająca oraz wskaźnik skurczu wołowego mięśnia pośladkowego średniego były znacznie wyższe w przypadku próbek pieczonych w piecu mikrofalowo-konwekcyjnym niż w piecu konwekcyjnym. Choi i wsp. [9] stwierdzili, że twardość steków z mięsa kurcząt przygotowanych w kuchence mikrofalowej była mniejsza niż gotowanych czy grillowanych. Ponadto obróbka mikrofalowa została zaproponowana jako metoda ogrzewania pozwalająca na zachowanie naturalnej barwy produktów spożywczych. Wykazali to w swoich badaniach Pellegrini i wsp. [34] oraz Akdas i wsp. [2], którzy porównywali gotowanie w kuchence mikrofalowej z gotowaniem w wodzie oraz na parze świeżych i mrożonych warzyw kapustnych (jak brokuł, brukselka, kalafior) [34] oraz jarmużu [2].

### *Sterylizacja*

Promieniowanie mikrofalowe znajduje również zastosowanie w zapobieganiu rozwojowi mikroorganizmów w żywności poprzez sterylizację. Zwiększenie mocy promieniowania oraz temperatury albo wydłużenie czasu sterylizacji może zwiększyć skuteczność procesu i ułatwić ograniczenie liczby kolonii drobnoustrojów w żywności [52]. Przeprowadzono wiele badań, w których testowano skuteczność tego procesu na różnych drobnoustrojach i różnych produktach żywnościowych, takich jak: omlety ziemniaczane (*Salmonella enteritidis*) [52], papryka jalapeno i liście kolendry (*Salmonella typhimurium*) [13], pomidory winogronowe (*Salmonella enterica*) [25], przecier z kiwi (*Listeria monocytogenes*) [6], łosoś i dorsz (*Escherichia coli*, *Salmonella enteritidis* i *Enterococcus* spp., endospory *Clostridium sporogenes*) [5] czy mięso drobiowe (*Listeria monocytogenes*) [60].

Sterylizacja mikrofalowa może mieć wpływ na jakość żywności i zmieniać jej cechy, takie jak: zawartość substancji bioaktywnych, aktywność przeciwutleniająca, aktywność enzymatyczna, tekstura czy barwa [19]. Lu i wsp. [25] przeprowadzili analizę wpływu pasteryzacji mikrofalowej na zawartość kwasu askorbinowego oraz likopenu

w pomidorach winogronowych. Wyniki przed i po przeprowadzeniu procesu nie różniły się znacząco, co świadczy o tym, że promieniowanie mikrofalowe jest dobrą techniką usuwania drobnoustrojów z warzyw. Piasek i wsp. [37] porównali wpływ dwóch metod sterylizacji – termicznej oraz mikrofalowej (za pomocą pasteryzatora przepływowego EnbioJet, wykorzystującego zjawisko ogrzewania cieczy w zakresie mikrofalowym promieniowania elektromagnetycznego) na ilość związków fitochemicznych w sokach z aronii i wiciokrzewu siniego – owoców, które są bogatym źródłem antocyjanów. W sokach poddanych sterylizacji mikrofalowej wykazano mniejszy spadek zawartości antocyjanów i innych polifenoli oraz całkowitej aktywności przeciwutleniającej. Podobne wyniki otrzymali Marszałek i wsp. [27] w badaniach przecieru truskawkowego. Pasteryzacja mikrofalowa okazała się skuteczniejszą metodą od konwencjonalnej obróbki termicznej zarówno pod względem zachowania jakości przecieru (naturalna barwa i najmniejsza strata substancji bioaktywnych), jak i skuteczności w obniżaniu liczby drobnoustrojów. Niewielki wpływ na zmiany jakości żywności był spowodowany znacznie krótszym czasem ekspozycji na promieniowanie mikrofalowe (liczone w sekundach) niż na konwencjonalne ogrzewanie (liczone w minutach) [27, 37].

Pasteryzacja mikrofalowa przyczyniała się także do inaktywacji oksydoreduktaz (peroksydazy i oksydazy polifenolowej), co również skutkuje zachowaniem dobrej jakości żywności [27]. Umudee i wsp. [51] stwierdzili, że sterylizacja mikrofalowa jest skuteczną metodą zatrzymania enzymatycznej reakcji lipolizy w owocach palmy olejowej. Wzrastająca liczba wolnych kwasów tłuszczowych podczas przechowywania tych owoców jest istotnym problemem przemysłu olejarskiego.

Skuteczność sterylizacji mikrofalowej w ochronie oleju palmowego przed aktywnością lipaz potwierdzili również Sarah i wsp. [42], którzy dodatkowo wykazali, że proces ten, o ile nie wpływa na zawartość witaminy E, obniża jednak zawartość karotenoidów w oleju.

W przeprowadzonych badaniach porównawczych między ogrzewaniem konwencjonalnym a sterylizacją mikrofalową na stopień zahamowania aktywności lipazy z kielków pszenicy wykazano, że współczynnik inaktywacji enzymu po użyciu promieniowania mikrofalowego był o ok. 10 % większy niż w przypadku wykorzystania konwencjonalnej metody z efektem termicznym [8].

## **Podsumowanie**

Ze względu na oszczędność czasu oraz wygodę w przygotowywaniu posiłków wykorzystywanie kuchenek mikrofalowych w gospodarstwach domowych jest coraz powszechniejsze. Również w przemyśle promieniowanie mikrofalowe znajduje wiele zastosowań do obróbki żywności. Jest ono wykorzystywane m.in. do suszenia, ogrzewania czy sterylizacji produktów spożywczych. Przeprowadzono wiele analiz, które

potwierdziły wyższość obróbki mikrofalowej nad konwencjonalnymi metodami zarówno pod względem zdrowotnym (zachowanie substancji bioaktywnych w żywności), jak i ekonomicznym (krótszy czas trwania procesu).

*Praca została sfinansowana ze środków Subwencji B+R Katedry Dietetyki i Badań Żywności Uniwersytetu Humanistyczno-Przyrodniczego im. Jana Długosza w Częstochowie (SBR/WNSPT/KDBŻ/17/2019).*

### Literatura

- [1] Aghilinategh N., Rafiee S., Hosseinpur S., Omid M., Mohtasebi S.S.: Optimization of intermittent microwave-convective drying using response surface methodology. *Food Sci. Nutr.*, 2015, 3 (4), 331-341.
- [2] Akdas Z.Z., Bakkalbas E.: Influence of different cooking methods on colour, bioactive compounds, and antioxidant activity of kale. *Int. J. Food Prop.*, 2016, 20 (4), 1-11.
- [3] Al Juhaimi F., Uslu N., Bozkurt D., Ghafoor K., Babiker E.E., Ozcan M.M.: Effects of oven and microwave drying on phenolic contents and antioxidant activities in four apple cultivars. *Qual. Assur. Saf. Crops Foods*, 2016, 8 (1), 51-55.
- [4] Atuonwu J.C., Tassou S.A.: Quality assurance in microwave food processing and the enabling potentials of solid-state power generators: A review. *J. Food Eng.*, 2018, 234, 1-15.
- [5] Bauza-Kaszewska J., Skowron K., Paluszak Z., Dobrzański Z., Śrutek M.: Effect of microwave radiation on microorganisms in fish meals. *Ann. Anim. Sci.*, 2014, 14 (3), 623-636.
- [6] Benlloch-Tinoco M., Pina-Perez M.C., Martínez-Navarrete N., Rodrigo D.: *Listeria monocytogenes* inactivation kinetics under microwave and conventional thermal processing in a kiwifruit puree. *Innov. Food Sci. Emerg.*, 2014, 22, 131-136.
- [7] Chang H.J., Xu X.L., Li C.B., Huang M., Liu D.Y., Zhou G.H.: A comparison of heat-induced changes of intramuscular connective tissue and collagen of beef semitendinosus muscle during water bath and microwave heating. *J. Food Process Eng.*, 2011, 34 (6), 2233-2250.
- [8] Chen Z., Li Y., Wang L., Liu S., Wang K., Sun J., Xu B.: Evaluation of the possible non-thermal effect of microwave radiation on the inactivation of wheat germ lipase. *J. Food Process Eng.*, 40 (4), 2016, 1-11.
- [9] Choi Y.S., Hwang K.E., Jeong T.J., Kim Y.B., Jeon K.H., Kim E.M., Sung J.M., Kim H.W., Kim Ch.J.: Comparative study on the effects of boiling, steaming, grilling, microwaving and superheated steaming on quality characteristics of marinated chicken steak. *Korean J. Food Sci. Ann.*, 2016, 36 (1), 1-7.
- [10] Cosquer B., Galani R., Kuster N., Cassel J.C.: Whole-body exposure to 2.45 GHz electromagnetic fields does not alter anxiety responses in rats: A plus-maze study including test validation. *Behav. Brain. Res.*, 2005, 156, 65-74.
- [11] Czarniecka-Skubina E., Trafiałek J., Kocon D., Pielak M.: Wykorzystanie kuchenek mikrofalowych do przygotowania potraw w polskich gospodarstwach domowych. *Żywność. Nauka. Technologia. Jakość*, 2016, 6 (109), 140-151.
- [12] Darvishi H., Azadbakht M., Rezaeiasl A., Farhang A.: Drying characteristics of sardine fish dried with microwave heating. *J. Saudi Soc. Agric. Sci.*, 2013, 12 (2), 121-127.

- [13] De la Vega-Miranda B., Santiesteban-López N.A., López-Malo A., Sosa-Morales M.E.: Inactivation of *Salmonella* Typhimurium in fresh vegetables using water-assisted microwave heating. *Food Control*, 2012, 26 (1), 19-22.
- [14] De Lima A.C.S., da Rocha Viana J.D., de Sousa Sabino L.B., da Silva L.M.R., da Silva N.K.V., de Sousa P.H.M.: Processing of three different cooking methods of cassava: Effects on *in vitro* bioaccessibility of phenolic compounds and antioxidant activity. *LWT - Food Sci. Technol.*, 2017, 76, 253-258.
- [15] Demiray E., Seker A., Tulek Y.: Drying kinetics of onion (*Allium cepa* L.) slices with convective and microwave drying. *Heat Mass Transfer*, 2016, 1-11.
- [16] Dolinsky M., Agostinho C., Ribeiro D., Rocha G.D.S., Barroso S.G., Ferreira D., Polinati R., Ciarelli G., Fialho E.: Effect of different cooking methods on the polyphenol concentration and antioxidant capacity of selected vegetables. *J. Culin. Sci. Technol.*, 2015, 14 (1), 1-12.
- [17] Domínguez R., Gomez M., Fonseca S., Lorenzo J.M.: Effect of different cooking methods on lipid oxidation and formation of volatile compounds in foal meat. *Meat Sci.*, 2014, 97 (2), 223-230.
- [18] El Ghazaly N.A., Radwan E.H., El Gawad H.S.A., Kamel K., Barakat A.: Impact of microwave heated food on health. *J. Adv. Biol.*, 2014, 5 (3), 703-720.
- [19] Guo Q., Sun D.W., Cheng J.H., Han Z.: Microwave processing techniques and their recent applications in the food industry. *Trends Food Sci. Technol.*, 2017, 67, 236-247.
- [20] Hassani M., Galal M.K., El-Hindi H.M.A., Abdel-Aziz S.A.: Oxidative stress and lipid profile alterations in albino rat liver fed on microwave exposed food. *AJBAS*, 2014, 8 (9), 412-417.
- [21] Horuz E., Maskan M.: Hot air and microwave drying of pomegranate (*Punica granatum* L.) arils. *J. Food Sci. Technol.*, 2015, 52 (1), 285-293.
- [22] Korzeniowska-Ginter R., Tkacz K.: Wykorzystanie kuchni mikrofalowych w gospodarstwach domowych. *Inż. Ap. Chem.*, 2015, 54 (5), 257-258.
- [23] Kumar M., Singh S.P., Chaturvedi Ch.M.: Chronic nonmodulated microwave radiations in mice produce anxiety-like and depressionlike behaviours and calcium- and NO-related biochemical changes in the brain. *Exp. Neurobiol.*, 2016, 25 (6), 318-327.
- [24] Ling B., Tang J., Kong F., Mitcham E.J., Wang S.: Kinetics of food quality changes during thermal processing: A review. *Food Bioprocess. Technol.*, 2014, 8 (2), 343-358.
- [25] Lu Y., Turley A., Dong X., Wu C.: Reduction of *Salmonella enterica* on grape tomatoes using microwave heating. *Int. J. Food Microbiol.*, 2011, 145 (1), 349-352.
- [26] Mały Rocznik Statystyczny Polski. GUS, Warszawa 2016.
- [27] Marszałek K., Mitek M., Skapska S.: Effect of continuous flow microwave and conventional heating on the bioactive compounds, colour, enzymes activity, microbial and sensory quality of strawberry purée. *Food Bioprocess. Technol.*, 2015, 8 (9), 1864-1876.
- [28] Mathur P., Verma B., Bhatnagar P.: Changes in the levels of LPO and GSH in Swiss albino mice liver after continuous intake of food exposed to microwave radiations. *RJPBCS*, 2013, 4 (1), 273-278.
- [29] Megha K., Deshmukh P.S., Banerjee B.D., Tripathi A.K., Ahmed R., Abegaonkar M.P.: Low intensity microwave radiation induced oxidative stress, inflammatory response and DNA damage in rat brain. *Neurotoxicology*, 2015, 51, 158-165.
- [30] Musto M., Faraone D., Cellini F., Musto E.: Changes of DNA quality and meat physicochemical properties in bovine supraspinatus muscle during microwave heating. *J. Sci. Food Agric.*, 2014, 94 (24), 785-791.
- [31] Nawirska-Olszańska A., Stępień B., Biesiada A.: Effectiveness of the fountain-microwave drying method in some selected pumpkin cultivars. *LWT - Food Sci. Technol.*, 2017, 77, 276-281.
- [32] New C.Y., Thung T.Y., Premarathne J.M.K.J.K., Russly A.R., Abdulkarim S.M., Son R.: Microwave oven safety: A food safety consumer survey in Malaysia. *Food Control*, 2017, 80, 420-427.

- [33] Nowacka M., Śledź M., Wiktor A., Witrowa-Rajchert D.: Fizyczne i chemiczne właściwości produktów spożywczych suszonych z wykorzystaniem mikrofal. *Żywność. Nauka. Technologia. Jakość*, 2012, 6 (85), 5-20.
- [34] Pellegrini N., Chiavaro E., Gardana C., Mazzeo T., Contino D., Gallo M., Riso P., Fogliano V., Porrini M.: Effect of different cooking methods on color, phytochemical concentration, and antioxidant capacity of raw and frozen brassica vegetables. *J. Agr. Food Chem*, 2010, 58(7), 4310-4321.
- [35] Perek A., Dolata W.: Zastosowanie mikrofal do obróbki cieplnej żywności. *Post. Techn. Przetw. Spoż.*, 2009, 2, 103-108.
- [36] Perla V., Holm D.G., Jayanty S.S.: Effects of cooking methods on polyphenols, pigments and antioxidant activity in potato tubers. *LWT - Food Sci. Technol.*, 2012, 45 (2), 161-171.
- [37] Piasek A., Kusznierevicz B., Grzybowska I., Malinowska-Panczyk E., Piekarska A., Azqueta A., Collins A.R., Namieśnik J., Bartoszek A.: The influence of sterilization with EnbioJet® Microwave Flow Pasteurizer on composition and bioactivity of aronia and blueberried honeysuckle juices. *J. Food Compos. Anal.*, 2011, 24 (6), 880-888.
- [38] Póltorak A., Wyrwisz J., Moczowska M., Marcinkowska-Lesiak M., Stelmasiak A., Rafalska U., Wierzbicka A., Da-Wen Sun: Microwave vs. convection heating of bovine gluteus medius muscle: Impact on selected physical properties of final product and cooking yield. *Int. J. Food Sci. Technol.*, 2015, 50 (4), 958-965.
- [39] Roczniki Statystyczne RP 1994 - 2015. GUS, Warszawa 1995 - 2015.
- [40] Rząca M.: Studia nad wykorzystaniem promieniowania podczerwonego i mikrofalowego do suszenia jabłek. Praca doktorska, SGGW, Warszawa 2009.
- [41] Salunke B.P., Umathe S.N., Chavan J.G.: Behavioral ineffectiveness of high frequency electromagnetic field in mice. *Physiol. Behav.*, 2015, 140, 32-37.
- [42] Sarah M., Rozainee Taib M.: Microwave sterilization of oil palm fruits: Effect of power, temperature and *D*-value on oil quality. *JOMB*, 2013, 2 (3), 153-156.
- [43] Sarimeseli A.: Microwave drying characteristics of coriander (*Coriandrum sativum* L.) leaves. *Eng. Convers. Manag.*, 2011, 52, 1449-1453.
- [44] Shahin S., Banerjee S., Singh S.P., Chaturvedi C.M.: 2.45 GHz microwave radiation impairs learning and spatial memory via oxidative/nitrosative stress induced p53-dependent/independent hippocampal apoptosis: Molecular basis and underlying mechanism. *Toxicol. Sci.*, 2015, 148, 1-50.
- [45] Sharma P., Gujral H.S.: Effect of sand roasting and microwave cooking on antioxidant activity of barley. *Food Res. Int.*, 2011, 44, 235-240.
- [46] Sun L.P., Zhuang Y.L., Bai X.: Effects of boiling and microwaving treatments on nutritional characteristics and antioxidant activities of *Agaricus blazei* Murril. *Int. J. Food Sci. Technol.*, 2011, 46, 1209-1215.
- [47] Szarycz M., Kamiński E., Jałoszyński K., Szponarska A.: Analiza mikrofalowego suszenia pietruszki w warunkach obniżonego ciśnienia. Część I. Kinetyka suszenia pietruszki nieblanszowanej i blanszowanej. *Acta Sci. Pol. Technica Agraria*, 2003, 2 (2), 17-27.
- [48] Therdthai N., Zhou W.: Characterization of microwave vacuum drying and hot air drying of mint leaves (*Mentha cordifolia* Opiz ex Fresen). *J. Food Eng.*, 2009, 91, 482-489.
- [49] Tian J., Chen J., Lv F., Chen S., Chen J., Liu D., Ye X.: Domestic cooking methods affect the phytochemical composition and antioxidant activity of purple-fleshed potatoes. *Food Chem.*, 2016, 197, 1264-1270.
- [50] U.S. Food and Drug Administration: Microwave Oven Radiation. [on line]. FDA. Dostęp w Internecie [23.02.2020]: <https://www.fda.gov/radiation-emitting-products/resources-you-radiation-emitting-products/microwave-oven-radiation>
- [51] Umudee I., Chongcheawchamnan M., Kiatweerasakul M., Tongurai C.: Sterilization of oil palm fresh fruit using microwave technique. *Int. J. Chem. Eng. Appl.*, 2013, 4 (3), 111-113.

- [52] Valero A., Cejudo M., García-Gimeno R.M.: Inactivation kinetics for *Salmonella* Enteritidis in potato omelet using microwave heating treatments. *Food Control*, 2014, 43, 175-182.
- [53] Wang Y., Zhang M., Mujumdar, A.S., Mothibe K.J.: Quality changes of dehydrated restructured fish product from silver carp (*Hypophthalmichthys molitrix*) as affected by drying methods. *Food Bioprocess. Technol.*, 2013, 6 (7), 1664-1680.
- [54] Wojdyło A., Figiel A., Lech K., Nowicka P., Oszmiański J.: Effect of convective and vacuum-microwave drying on the bioactive compounds, color, and antioxidant capacity of sour cherries. *Food Bioprocess. Technol.*, 2013, 7 (3), 829-841.
- [55] World Health Organization: Food Safety. [on line]. WHO. Dostęp w Internecie [06.01.2020]: <https://www.who.int/health-topics/food-safety/>
- [56] Xu F., Zheng Y., Yang Z., Cao S., Shao X., Wang H.: Domestic cooking methods affect the nutritional quality of red cabbage. *Food Chem*, 2014, 161, 162-167.
- [57] Yang Y., Achaerandio I., Pujolà M.: Effect of the intensity of cooking methods on the nutritional and physical properties of potato tubers. *Food Chem.*, 2016, 197, 1301-1310.
- [58] Yarmand M.S., Nikmaram P., Emam Djomeh Z., Homayouni A.: Microstructural and mechanical properties of camel *longissimus dorsi muscle* during roasting, braising and microwave heating. *Meat Sci.*, 2013, 95 (2), 419-424.
- [59] Zarein M., Samadi S.H., Ghobadian B.: Investigation of microwave dryer effect on energy efficiency during drying of apple slices. *J. Saudi Soc. Agric. Sci.*, 2015, 14 (1), 41-47.
- [60] Zeinali T., Jamshidi A., Khanzadi S., Azizzadeh M.: The effect of short-time microwave exposures on *Listeria monocytogenes* inoculated onto chicken meat portions. *Veter. Res. Forum*, 2015, 6 (2), 173-176.
- [61] Zhang L., Peng R.Y., Wang S.M., Wang L.F., Gao Y.B., Dong J., Li X., Su Z.T.: Relationship between cognition function and hippocampus structure after long-term microwave exposure. *Biomed. Environ. Sci.*, 2012, 25, 182-188.
- [62] Zhi W.J., Wang L.F., Hu X.J.: Recent advances in the effects of microwave radiation on brains. *Mil. Med. Res.*, 2017, 4 (29), 1-14.
- [63] Zielinska M., Sadowski P., Błaszczak W.: Freezing/thawing and microwave-assisted drying of blueberries (*Vaccinium corymbosum* L.). *LWT - Food Sci. Technol.*, 2015, 62 (1), 555-563.

## TECHNOLOGICAL, ECONOMIC AND HEALTH ASPECTS OF APPLICATION OF MICROWAVE RADIATION IN FOOD PROCESSING

### S u m m a r y

Proper nutrition is one of the main factors to determine population health. The raising consumer awareness of proper eating habits and the increasingly faster pace of life necessitate seeking new solutions for food and gastronomic technology. Food processing with the use of microwave radiation is a technique to enable a significant reduction in the time duration of technological process. The microwave radiation energy has already been used, among other things, in drying, heating and sterilization of food products. The final product can be characterised by some altered properties, e.g. a decreased level of essential for human health bioactive substances present in unprocessed foods or on the contrary – by preserving the health-promoting properties of food compared to conventional processing methods.

The objective of the research study was to analyse the health risks and health benefits resulting from the application of microwave radiation in households and the food industry. The study reviewed the reference literature on the public awareness of the safe use of microwave ovens and the effect of microwave processing on health-promoting features of food products. Based on the analysis of this issue, it can be

concluded that many research studies have confirmed the advantage of the microwave treatment over the conventional methods in terms of health (preservation of bioactive substances in foods), comfort of use and economic aspect (a shorter time of process duration, which means lower costs of food product heat treatment).

**Key words:** microwave radiation, public health, food preservation, drying, heating, sterilization 