

Zmiany zachodzące w materiale opakowaniowym i w żywności w trakcie obróbki mikrofalowej

Changes in packaging materials and food during microwave treatment

JOANNA ŁOPACKA, ALEKSANDRA LIPIŃSKA, URSZULA RAFALSKA

Samodzielny Zakład Techniki w Żywieniu, Szkoła Główna Gospodarstwa Wiejskiego w Warszawie

W pracy omówiono rodzaje materiałów stosowanych do obróbki żywności w kuchence mikrofalowej, ryzyko migracji wybranych związków z materiałów opakowaniowych do żywności, oraz potencjalne zagrożenia zdrowotne związane z narażeniem na obecność wybranych migrantów w żywności. Dodatki funkcjonalne stosowane do polimerów w trakcie produkcji tworzyw sztucznych mogą ulegać migracji do żywności w czasie jej przechowywania lub obróbki termicznej. Przekroczenie limitu migracji może stanowić zagrożenie toksykologiczne. Potencjalnymi związkami mogącymi ulegać migracji są m.in. plastyfikatory, antyoksydanty, stabilizatory oraz monomery. Poziom migracji chemicznej zależy od wielu czynników, w tym rodzaju żywności, czasu i temperatury obróbki, rodzaju materiału opakowaniowego oraz cech chemicznych migrantów. Ogrzewanie żywności w opakowaniu z tworzywa sztucznego w kuchence mikrofalowej zwiększa poziom migracji chemicznej do żywności, jednak nie można jednoznacznie stwierdzić czy wzrost ten powodowany jest oddziaływaniem mikrofal czy samym wzrostem temperatury żywności.

Słowa kluczowe: ogrzewanie mikrofalowe, żywność, opakowania, migracja chemiczna

The following review presents types of packaging materials used for microwave treatment of food, risk of migration of material components into food, and potential health risks related to the exposure to selected migrants. Functional additives incorporated into polymers during the plastics production may migrate into the food during storage or thermal treatment. Once these compounds exceed the migration limit they may pose a potential toxicological risk. Possible chemical migrants include plasticizers, antioxidants and monomers. Chemical migration from food packaging is affected by many parameters including the type of food, the treatment time and temperature, the type of packaging material and the chemical properties of the migrants. Microwave treatment of food in packaging may increase chemical migration into food, however it is unclear whether the increase is related only to the microwave effect or to the temperature increase itself.

Key words: microwave treatment, foods, packages, chemical migration

© Probl Hig Epidemiol 2015, 96(1): 77-83

www.phie.pl

Nadesłano: 26.01.2015

Zakwalifikowano do druku: 31.01.2015

Adres do korespondencji / Address for correspondence

mgr inż. Joanna Łopacka
Samodzielny Zakład Techniki w Żywieniu, SGGW w Warszawie
ul. Nowoursynowska 159c, 02-776 Warszawa
tel. 22 59 370 84, e-mail: joanna_lopacka@sggw.pl

Wykaz skrótów

PP – polipropylen
PE – polietylen
LDPE – polietylen niskiej gęstości
EVOH – kopolimer etylenu i alkoholu winylowego
PET – politereftalan etylenu
PVC – polichlorek winylu
DEHA – dietylohydroksyloamina
BPA – bisfenol A

Wprowadzenie

W latach 70. i 80. ubiegłego stulecia używanie kuchenek mikrofalowych było zjawiskiem mało rozpowszechnionym, głównie z powodu przekonania o wpływie promieniowania na jakość i smak żywności.

Dziś uznaje się, że nie jest to już opcjonalny, lecz coraz częściej konieczny sposób szybkiego przygotowania żywności, w szczególności żywności wygodnej (*convenience food*) [1]. Ogrzewanie mikrofalowe polega wytworzeniu ciepła wskutek drgań spolaryzowanych składników żywności, głównie wody, spowodowanych oddziaływaniem promieniowania elektromagnetycznego o odpowiedniej częstotliwości. W przeciwieństwie do ogrzewania konwencjonalnego, żywność nie pochłania ciepła z otoczenia, lecz sama je generuje [2]. Żywność zazwyczaj jest poddawana obróbce mikrofalowej w opakowaniu. Stanowi to podstawę do prowadzenia szeregu badań dotyczących wpływu mikrofal na opakowanie, a w szczególności określenia poziomu migracji dodatków znajdujących się w materiale opakowaniowym do żywności [3].

Materiały stosowane do obróbki żywności z wykorzystaniem mikrofal

Opakowanie w dużym stopniu decyduje o powodzeniu obróbki mikrofalowej, ponieważ rodzaj i skład chemiczny materiału oraz konstrukcja opakowania wpływają znacząco na penetrację i rozkład przestrzenny temperatury. Poza rodzajem materiału opakowaniowego, jednym z głównych czynników wpływających na efektywność ogrzewania mikrofalowego jest kształt opakowania. Najbardziej optymalnym jest kształt okrągły lub owalny. Nie występuje wówczas charakterystyczny dla opakowań prostokątnych efekt brzegowy. Jest on związany z występowaniem krawędzi i naroży, w których temperatura podczas ogrzewania jest wyższa niż na ściankach opakowania [4].

Materiały opakowaniowe przeznaczone do mikrofalowania można podzielić ze względu na sposób oddziaływania mikrofal z materiałem na przepuszczające (pasywne), absorbujące lub odbijające promieniowanie. Do grupy opakowań pasywnych należą opakowania z tworzyw sztucznych, szkła i papieru, a ich cechą charakterystyczną jest całkowita przepuszczalność dla mikrofal, energia jest absorbowana i przekształcana w ciepło tylko w wyniku procesów zachodzących w żywności. Częściową lub całkowitą absorpcję promieniowania wykazują aktywne materiały zwane receptorami lub susceptorami. Są one złożone z warstwy tworzywa sztucznego pokrytego cienką warstwą aluminium. Susceptory posiadają zdolność przechwytywania części promieniowania i zamieniania go na ciepło. Zdolność tę uzyskuje się poprzez wprowadzenie do materiału pasywnego dodatków modyfikujących pole mikrofalowe, zmieniając stopień odbicia, absorpcji i transmisji mikrofal. Ich funkcją jest umożliwienie procesu brązowienia i uzyskania chrupiącej skórki na przygotowywanych produktach dzięki interakcji z promieniowaniem mikrofalowym i osiągnięciu temperatur w zakresie 177-232°C [5]. Umożliwia to osiągnięcie wyższej temperatury powierzchni (np. chrupiąca, zarumieniona pizza), równomiernego rozkładu temperatury, a także kontrolę nad elementami produktu, które mogą ulec przegrzaniu, np. w przypadku dań obiadowych, poprzez wykorzystanie efektu ekranowania, czyli zacieniania np. folią aluminiową fragmentów zawierających surowce w większym stopniu pochłaniające mikrofały [2, 6].

Najczęściej stosowanymi materiałami w tego typu opakowaniach są laminaty PET/EVOH/PP, PE czy susceptory. Uniwersalnym materiałem, który może być wykorzystany w obróbce mikrofalowej jest tektura. Jest wykorzystywana do pakowania żywności chłodzonej i mrożonej oraz charakteryzuje się wysoką przepuszczalnością dla mikrofal. Najczęściej stosuje się powlekanie tektury tworzywami sztucznymi od

strony kontaktującej się z produktem, co zwiększa barierowość względem tłuszczu, wilgoci oraz zapachów, a także zwiększa odporność termiczną i mechaniczną. Tektura powlekana PET jest odporna na temperatury w szerokim zakresie od -40°C do 220°C przez czas ok. 35 minut. Powłoki z LDPE (polietylenu niskiej gęstości) oraz PP posiadają nieduże zastosowanie do produkcji opakowań przeznaczonych do mikrofalowania ze względu na stosunkowo niską odporność termiczną [4].

Aluminium jest stosowane w postaci laminatów z PET i PP; posiada zdolność do odbijania promieniowania mikrofalowego dlatego opakowania z jego użyciem powinny posiadać np. wieczka z materiałów przepuszczalnych dla mikrofal lub powinny być otwarte. Natomiast szkło jest materiałem przepuszczalnym dla mikrofal, stabilnym termicznie; wadą jest wysoka przewodność cieplna, dlatego szkło przeznaczone do kuchenek mikrofalowych jest powlekanie izolatorem z materiału piankowego [2].

Wpływ mikrofal na żywność wygodną – migracja

Wszelkie kwestie bezpieczeństwa związane z zagrożeniami podczas przetwarzania żywności dotyczą przede wszystkim szkodliwości dodatków, zarówno tych stosowanych świadomie przez producentów w celu uzyskania pożądanych właściwości przetworzonych lub odpowiednio wysokiej trwałości, jak również substancji, które nie pojawiają się w żywności celowo, lecz na skutek kontaktu z urządzeniami i materiałami opakowaniowymi [7]. Niekontrolowana migracja substancji z opakowań do żywności może powodować niekorzystne zmiany smakowo-zapachowe, jak również powodować wystąpienie toksyczności spożywanej żywności. Migracja z opakowań do żywności często jest określana poziomem migracji globalnej, która – zgodnie z Rozporządzeniem Komisji (WE) nr 10/2011 z dnia 14 stycznia 2011 r. w sprawie materiałów i wyrobów z tworzyw sztucznych przeznaczonych do kontaktu z żywnością – oznacza „maksymalną dozwoloną ilość substancji nielotnych, które uwolniły się z materiału lub wyrobu do płynu modelowego imitującego żywność”, oraz nie może przekroczyć poziomu 60 mg/kg. Limity migracji specyficznej, czyli „maksymalnej dozwolonej ilości danej substancji, która uwolniła się z materiału lub wyrobu do żywności lub płynu modelowego imitującego żywność”, są ustalane indywidualnie dla substancji, zgodnie z Załącznikiem I do Rozporządzenia [8].

Opakowania wykorzystywane do obróbki mikrofalowej żywności wymagają szczególnych badań migracji ze względu na wysokie temperatury osiągane w trakcie obróbki termicznej. Ogrzewanie mikrofalowe powoduje przyspieszenie ruchu cząsteczek oraz obniża energię aktywacji, stąd różnice w poziomie migracji z materia-

łów opakowaniowych do żywności w czasie ogrzewania konwencjonalnego i mikrofalowego [9]. Migracja zależy zarówno od rodzaju tworzywa, z którego wykonane jest opakowanie, jak również od charakteru żywności poddawanej obróbce. Istotnym czynnikiem determinującym wielkość migracji, jest również temperatura i czas obróbki. Danych literaturowych na ten temat nie można bezpośrednio odnieść do wszystkich materiałów stosowanych w opakowaniach, gdyż każdy z producentów stosuje inne technologie i receptury. Opakowania wykorzystane do obróbki żywności w kuchence mikrofalowej są także często myte i wykorzystywane ponownie, co stwarza zagrożenie trudnej do przewidzenia migracji na skutek degradacji polimeru, także na skutek oddziaływania detergentów [10].

Analiza migracji komponentów opakowań do produktów żywnościowych lub produktów i płynów modelowych jest metodą drogą i czasochłonną ze względu na bardzo niskie stężenia analizowanych związków oraz złożoność matryc żywności [7]. Metodami stosowanymi do określenia poziomu migracji są techniki chromatograficzne połączone z technikami ekstrakcyjnymi [11]. Najczęściej wykorzystywane techniki chromatograficzne to chromatografia gazowa lub chromatografia gazowa połączona ze spektrometrią mas (*gas chromatography-mass spectrometry* – GC-MS) [12]. Do przygotowania prób przeznaczonych do analizy chromatograficznej przydatna jest technika mikroekstrakcji do fazy stałej (*solid-phase micro-extraction* – SPME) [13]. Analizę migracji wykonuje się z wykorzystaniem płynów modelowych (tab. I) zdefiniowanych w Rozporządzeniu Ministra Zdrowia z dnia 15 października 2013 r. [14] w sprawie wykazu substancji, których stosowanie jest dozwolone w procesie wytwarzania lub przetwarzania materiałów i wyrobów z tworzyw sztucznych, a także sposobu sprawdzania zgodności tych materiałów i wyrobów z ustalonymi limitami.

Cząsteczki o niewielkiej masie, będące komponentami opakowań z tworzyw sztucznych mogą ulegać migracji do żywności, zwłaszcza w czasie obróbki mikrofalowej lub innego przetwarzania żywności w opakowaniu [10, 15]. Z badań przeprowadzonych

przez Centralny Ośrodek Badawczo-Rozwojowy Opakowań na siedemnastu rodzajach materiałów opakowaniowych oraz gotowych, występujących na rynku opakowaniach przeznaczonych do kuchenek mikrofalowych zawierających produkty spożywcze wynika, że obróbka mikrofalowa powoduje zwiększenie poziomu migracji związków takich jak styren i etylobenzen, jednak w stopniu nie przekraczającym limitów gwarantujących bezpieczeństwo. Promieniowanie mikrofalowe nie wpływa istotnie na przepuszczalność pary wodnej, tlenu i dwutlenku węgla, powoduje natomiast 10-krotny wzrost migracji formaldehydu w opakowaniach gotowych z laminatu papier/PE zawierających produkty spożywcze. Badania te dowiodły także, że obróbka w kuchence mikrofalowej ma wpływ na właściwości wytrzymałościowe materiałów i laminatów, jednak istotny może być tu udział nie tylko promieniowania, ale także temperatury [16]. Tę samą kwestię podniosły badania przeprowadzone przez Jickellsa i wsp. [17], które nie wskazały wzrostu poziomu migracji oligomerów i antyoksydantów po poddaniu polimerów oddziaływaniu mikrofal przez 12 h przy zachowaniu warunku braku wzrostu temperatury. Wskazuje to, iż wzrost migracji w czasie obróbki z wykorzystaniem mikrofal jest powodowany wyłącznie wzrostem temperatury, a co za tym idzie poziom migracji – przy takiej samej temperaturze – jest taki sam jak dla obróbki konwencjonalnej.

Polipropylen jest najczęściej stosowanym materiałem do produkcji pojemników na żywność przeznaczonych do obróbki w kuchence mikrofalowej. Podczas procesu polimeryzacji, do jego struktury mogą być dodawane różnego rodzaju dodatki funkcjonalne, mogące w czasie ogrzewania ulegać migracji do żywności. Wpływ na poziom migracji ma w przeważającym stopniu rodzaj poddawanej obróbce żywności/płynu modelowego [18], jak również sam typ polipropylenu (homopolimer PP, kopolimer polipropylenu i polietylenu, itp.) ze względu na różny stopień skryształizowania [10].

Badaniom poddane zostały również folie wykonane z PVC zawierające plastyfikatory, celem określenia poziomu migracji plastyfikatorów do matryc żywnościowych. Wyniki wskazały ponad 50% spadek zawartości plastyfikatorów w foliach podczas obróbki mikrofalowej, co świadczy o przedostaniu się ich do żywności [19, 20]. Castle i wsp. [21] określili, iż poziom migracji oligomerów z materiałów wykonanych z PET, takich jak rękawy do pieczenia i wkładki susceptorowe, wynosi od 0,02 do 2,73 ppm. Jednocześnie blisko 10-krotnie niższą migrację zaobserwowali w przypadku konwencjonalnego ogrzewania tego samego typu żywności w piekarniku na tacce wykonanej z PET. Wielkość migracji zależała od temperatury osiągniętej w trakcie obróbki, czasu ekspozycji, powierzchni kontaktu z żywnością oraz specyfiki samego produktu spożywczego.

Tabela I. Wykaz płynów modelowych imitujących żywność wraz z przyporządkowaniem do rodzajów żywności [14]

Table I. List of model fluids imitating food with allocation to different kinds of food

Płyn modelowy	Symbol	Rodzaj imitowanej żywności
Woda destylowana	A	żywność o charakterze hydrofilowym o pH powyżej 4,5
Kwas octowy 3%	B	żywność o charakterze hydrofilowym o pH poniżej 4,5
Etanol 10%	C	żywność zawierająca alkohol
Rektyfikowana oliwa z oliwek	D	żywność zawierająca tłuszcz
brak	–	żywność sucha

Badania Galotto i Guardy [22], wskazują, iż poziom migracji globalnej z tworzywa opakowaniowego do płynów modelowych jest kilkukrotnie wyższy po ogrzewaniu mikrofalowym w czasie 3 minut i mocy 800 W, niż po ogrzewaniu konwencjonalnym przez 30 minut i temperaturze 80°C dla PVC i PP. Natomiast w przypadku laminatów, zawierających kilka warstw różnych polimerów, poziom migracji po ogrzewaniu mikrofalowym był znacząco niższy niż po ogrzewaniu konwencjonalnym. Inne badania wykazały, iż poziom migracji globalnej z polipropylenowego opakowania do oliwy wzrosło po ponownym ogrzewaniu za pośrednictwem mikrofal 4-krotnie w porównaniu do pierwszego ogrzewania [23]. Wykazano także, iż obróbka mikrofalowa zwiększa poziom migracji benzofenonu (składnika tuszu do nadruków na opakowaniach z tektury), w zakresie 9-17% zawartości początkowej w susceptorze [24]. W latach 90. ubiegłego wieku prowadzono szereg badań dotyczących poziomu migracji z opakowań PET/susceptor do popcornu w czasie jego przygotowywania w kuchence mikrofalowej. Wykryto wówczas szereg substancji, w tym 1,4-difluorobenzen, benzen, toluen, eter n-butylu, styren, benzaldehyd, dodekan, które jako związki lotne były destylowane z materiału opakowaniowego za pośrednictwem pary wytwarzającej się w czasie obróbki [25, 26].

Ze względu na wciąż rosnące wykorzystanie opakowań do żywności przeznaczonych do mikrofalowania konieczne jest lepsze zrozumienie interakcji pomiędzy żywnością a opakowaniem podczas obróbki mikrofalowej, a także poznanie poziomu degradacji lub migracji składników polimeru do produktu [13, 24]. Prawdopodobnym czynnikiem powodującym zwiększenie poziomu migracji jest także występowanie zmian w strukturze polimeru [27]. Jak dotąd została przeprowadzona niewielka ilość badań dotyczących wpływu mikrofal na integralność i właściwości mechaniczne tworzyw sztucznych [28, 29]. Zaobserwowano,

iż wzrost temperatury podczas obróbki mikrofalowej powoduje zmianę struktury krystalicznej polimerów, oraz powstawanie pęknięć, otworów i kanałów w ich strukturze [28]. Zaobserwowano także wzrost stopnia krystaliczności (masowego udziału fazy krystalicznej) zarówno w strukturze polimerów syntetycznych jak i naturalnych polimerów na bazie skrobi [29, 30].

Udowodniono, iż poziom migracji chemicznej z materiałów opakowaniowych do żywności rośnie wraz ze wzrostem zawartości tłuszczu, czasem przechowywania, temperaturą przechowywania i podczas obróbki w opakowaniu. W celu zminimalizowania procesu migracji należy więc pamiętać o unikaniu przechowywania żywności o wysokiej zawartości tłuszczu w opakowaniach z tworzyw sztucznych oraz unikaniu oddziaływania wysokiej temperatury zarówno podczas obróbki w piekarniku lub kuchence mikrofalowej, jeśli zaś jest to niemożliwe prowadzić obróbkę w czasie możliwie najkrótszym [31].

Wpływ migrantów na zdrowie

Potencjalnymi substancjami mogącymi ulegać migracji do żywności są monomery, oligomery, rozpuszczalniki, jak również dodatki stosowane podczas produkcji materiałów np. antyoksydanty, stabilizatory, plastyfikatory, katalizatory. Część z nich, należąca do substancji zaburzających funkcjonowanie układu hormonalnego lub wykazujących działanie kancerogenne może wywierać szkodliwy efekt na zdrowie ludzi. Wykazano obecność substancji wykazujących takie działanie – ftalanu dioktylu, ftalanu dibutyłu, bisfenolu A – odpowiednio w 77,5%, 67,5% oraz 47,5% opakowań „na wynos”, które często są poddawane dodatkowemu odgrzewaniu w kuchenkach mikrofalowych [cyt za: 31]. Przykładowe badania dotyczące analizy narażenia na związki mogące ulegać migracji z opakowań do żywności przedstawia tab. II.

Tabela II. Narażenie na spożycie wybranych związków mogących ulegać migracji z opakowań do żywności
Table II. Risk of intake of selected compounds that may migrate from food packages

Autor	Nazwa związku	Narażenie z wybranych grup żywności
EFSA [32]	4-metylobenzofenon	Największe stężenie badanego związku obserwuje się w płatkach śniadaniowych. W przypadku dorosłych osób krótkotrwałe narażenie na badaną substancję nie powoduje zagrożenia dla zdrowia. Zakładając większe spożycie płatków śniadaniowych przez dzieci, nie można wykluczyć negatywnych skutków zdrowotnych
Niu i wsp. [33]	Bisfenol A	Wykazano wszechstronne zanieczyszczenie żywności BPA, w szczególności produktów mlecznych i zbożowych. Dla grupy niemowląt poziom TDI został znacznie przekroczony w preparatach do żywienia, co może stanowić zagrożenie dla zdrowia
Soubra i wsp. [34]	Butylowany hydrokstoluen	Badania miały na celu określenie oceny rzeczywistego poboru BHT i innych substancji z pożywienia przez grupę populacji libańskiej. Wykazano przekroczenie wartości ADI przez ułamek populacji, oraz obecność BHT w produktach, w których ta substancja nie jest dozwolona – głównie produktach dla dzieci
EFSA [35]	Bisfenol A	Ocena ryzyka została dokonana oddzielnie dla dorosłych, niemowląt i dzieci. Wykazano, że pobranie BPA z materiałów opakowaniowych dla każdej z grup jest zdecydowanie mniejsze niż ustalona wartość TDI*
EFSA [36]	2-izopropylotioksanton	Badania miały na celu ocenie ryzyka i narażenie na pobranie z diety, w grupie dorosłych, niemowląt i dzieci na podstawie badania poziomów 2-izopropylotioksantonu w zapakowanej żywności. Wykazano, że istnieje potencjalne narażenie niemowląt i małych dzieci, które otrzymują pożywienie gotowe do spożycia w zadrutowanych opakowaniach, na szkodliwe działanie ITX

* wartość TDI na poziomie 50 µg/kg m.c./dzień

Tabela III. Efekty toksyczne wybranych substancji mogących ulegać migracji z opakowań do żywności
Table III. Toxic effects of selected substances that may migrate from food packages

Autor	Nazwa związku	Toksyczność
Rhodes i wsp. [40]	Benzofenon	Wykazano działanie kancerogenne benzofenonu u samiec szczurów. W przypadku myszy stwierdzono częstsze występowanie nowotworów, głównie wątroby. Przeżycie osobników męskich żywionych pożywieniem z dodatkiem benzofenonu było zdecydowanie mniejsze w porównaniu do próby kontrolnej. Badanie wykazało wzrost zachorowalności na gruczolaka kanalików nerkowych oraz nowotworów wątroby wśród osobników męskich. W badaniach nie uzyskano jednoznacznych dowodów rakotwórczego działania benzofenonu w przypadku osobników żeńskich
Nakagawa i wsp. [41]	Benzofenon	Inkubacja hepatocytów z benzofenonem wywołała śmierć komórek oraz utratę wewnątrzkomórkowego ATP. Toksyczność benzofenonu jest uzależniona od stężenia i czasu inkubacji
Reed i wsp. [42]	Butylowany hydrokstoluen	W badaniach analizowano BHT oraz 2 związki pokrewne (I-BHT, E-BHT). Spośród badanych związków największą toksycznością w próbkach z wątroby szczura, charakteryzował się BHT. Związek ten powodował zmniejszenie żywotności komórek o 80 % w okresie 6 godzinnej inkubacji, w porównaniu do innych badanych związków
Hong i wsp. [43]	Ftalany	Badania zostały wykonane z użyciem genów CaBP-9k, które odpowiadają za prawidłowe działanie estrogenów. Oznaczano tempo proliferacji ludzkich komórek raka piersi z wykorzystaniem substancji, które zwiększały tempo proliferacji. Taki sam efekt został uzyskany przy działaniu ftalanów (6 dni) na komórki raka piersi. Kolejnym etapem badań była ocena wpływu ftalanów na ekspresję genu CaBP-9k w macicy płodów badanych szczurów. Wykazano, że ftalany mogą mieć niekorzystny wpływ na organizmy żeńskie poprzez inicjację nowotworów hormonozależnych
Duty i wsp. [44]	Ftalany	Celem badań było wykazanie wpływu ftalanów na gospodarkę hormonalną mężczyzn. Analizowano metabolity ftalanów w moczu z osoczymym stężeniem hormonów przysadkowych oraz płciowych mężczyzn. W przypadku ftalanu mono-butylowego, a stężeniem Inhibiny B i hormonu folikulotropowego wykazano związek. Stężenia pozostałych badanych hormonów nie zmieniały się w oczekiwany sposób, dlatego też nie można jednoznacznie stwierdzić, że ftalany wpływają na stężenia hormonów u mężczyzn
Mariscal-Arcas i wsp. [45]	Bisfenol A	Nie wykazano zależności między spożyciem żywności podgrzewanej mikrofalowo (głównie ryb), a rozwojem płodu u kobiet w ciąży. Nie stwierdzono wpływu BPA na funkcjonowanie narządów rozrodczych badanych kobiet i dalszy rozwój noworodków
Perera i wsp. [46]	Bisfenol A	Wykazano wpływ BPA w moczu matek na problemy emocjonalne i wzrost agresji w przypadku chłopców. Wyższe stężenie BPA w moczu matki było skorelowane z problemami emocjonalnymi i agresywnym zachowaniem u chłopców. W przypadku dziewcząt nie wykazano negatywnego wpływu. Wyniki eksperymentu sugerują, że prenatalna ekspozycja na BPA może mieć wpływ na zachowanie dzieci, jednak inne w przypadku dziewcząt i chłopców

W porównaniu do innych tworzyw, PET nie wymaga stosowania dużej ilości dodatków podczas produkcji, a co za tym idzie ryzyko niekontrolowanej migracji do żywności jest niższe. Należy jednak pamiętać, iż do zapakowanych produktów może przedostawać się toksyczna substancja – dietylohydroksyloamina (DEHA), stanowiąca zagrożenie dla zdrowia, szczególnie dla wątroby. Ważne jest przestrzeganie zasady wykorzystywania PET do jednorazowego użytku [37]. Z opakowań wykonanych z PET może migrować między innymi benzen. Wykazano migrację benzenu z wielu materiałów przeznaczonych do kontaktu z żywnością podczas oddziaływania wysokiej temperatury [7].

Szczególnie duża ilość badań z ostatniej dekady dotyczy poziomu migracji bisfenolu A (BPA) z materiałów opakowaniowych oraz wpływu tego związku na zdrowie człowieka. Bisfenol A jest związkiem stosowanym w produkcji poliwęglanowych tworzyw sztucznych, a także jako wewnętrzna powłoka w puszkach aluminiowych. W 2012 roku EFSA dokonała ponownej oceny ryzyka związanego z ekspozycją na BPA, z uwzględnieniem źródeł pokarmowych i nie-pokarmowych. Skutkiem analizy było obniżenie tolerowanego dziennego pobrania (TDI) z poziomu 50 µg/kg m.c./dzień do poziomu 5 µg/kg m.c./dzień [38]. Ponadto, od 2011 roku stosowanie BPA w butelkach dla dzieci jest zakazane. Przyczyną było m.in. częste wykorzystywanie takich butelek do odgrzewania mleka w kuchence mikrofalowej. Nerin i wsp. [39] wskazali, iż poziom

migracji z butelek dla dzieci może nawet dwukrotnie przekraczać limit migracji specyficznej (0,6 mg/kg, także w odniesieniu do rozporządzenia min zdrowia 2013). Przykładowe efekty toksyczne bisfenolu A oraz innych substancji mogących ulegać migracji z opakowań do żywności przedstawia tab. III.

Podsumowanie

Obróbka mikrofalowa w najbliższych latach będzie nadal coraz bardziej powszechnym sposobem przygotowania żywności ze względu na łatwość i szybkość obróbki, oraz szeroką ofertę żywności wygodnej oferowanej w opakowaniach przeznaczonych do kuchenek mikrofalowych. W związku z tym powstaje konieczność ciągłego opracowywania szybkich i uniwersalnych metod analizy migracji. Badania przeprowadzone do tej pory wskazują, iż poziom migracji chemicznej z opakowań do żywności w czasie obróbki mikrofalowej rośnie, niemożliwe jest jednak jednoznaczne stwierdzenie, czy wzrost ten – dla wszystkich rodzajów tworzyw stosowanych do pakowania żywności wygodnej przeznaczonej do obróbki mikrofalowej w opakowaniu – jest indukowany oddziaływaniem mikrofal, czy wyłącznie wysokiej temperatury. Dodatkową trudnością w analizie zagrożenia związanego z migracją komponentów opakowań do żywności jest duża ilość czynników mogących wpływać na jej poziom. Na zmienność tę wpływają intensywność obróbki, rodzaj materiału, rodzaj i stężenie dodatków do polimerów, a także rodzaj zapakowanej żywności.

Piśmiennictwo / References

1. Barry C. Microwave packages cook up consumer convenience: advances in microwave packaging make life easier in the kitchen for meal preparation and clean up. *Food Drug Packag* 2004, 7: 33-36.
2. Lisińska-Kuśnierz M, Ucherek M. Postęp techniczny w opakowalnictwie. Wyd Akad Ekonomicznej w Krakowie, 2003
3. Ozen BE, Floros JD. Effects of emerging food processing techniques on the packaging materials. *Trends Food Sci Technol* 2001, 12: 60-67.
4. Borowy T, Kubiak S. Opakowania żywności stosowane w technologii mikrofalowej. *Gospod Mięsna* 2010, 6.
5. Risch SJ, Heikkilä K, Williams R. Analysis of Volatiles Produced in Foods and Packages During Microwave Cooking. [in:] *Food and Packaging Interactions II*. Risch SJ, Hotchkiss JH (ed). Am Chem Soc, Washington DC 1991: 1-10.
6. Korzeniowski A, Ankiel-Homa M, Czaja-Jagielska M. Innowacje w opakowalnictwie. Wyd UE w Poznaniu, 2011.
7. Lau O-W, Wong S-K. Contamination in food from packaging material. *J Chromatogr A* 2000, 1-2: 255-270.
8. Rozporządzenie Komisji (WE) nr 10/2011 z dnia 14 stycznia 2011 r. w sprawie materiałów i wyrobów z tworzyw sztucznych przeznaczonych do kontaktu z żywnością. *Dz. Urz. UE L* 12 z 15.01.2011, str. 1, z późn. zm.
9. Vadivambal R, Jayas DS. Non-uniform temperature distribution during microwave heating of food materials – a review. *Food Bioprocess Tech* 2010, 2: 161-171.
10. Alin J, Hakkarainen M. Type of polypropylene material significantly influences the migration of antioxidants from polymer packaging to food simulants during microwave heating. *J Appl Polym Sci* 2010, 2: 1084-93.
11. Hakkarainen M. Solid-Phase Microextraction for Analysis of Polymer Degradation Products and Additives. *Adv Polym Sci* 2008, 211: 23
12. Leks-Stępień J. Metody analityczne – wskaźnikiem przydatności opakowań do kontaktu z produktami spożywczymi. *Prz Pap* 2011, 67: 102-104.
13. Alin J, Hakkarainen M. Migration from polycarbonate packaging to food simulants during microwave heating. *Polym Degrad Stabil* 2012, 97: 1387-1395.
14. Rozporządzenie Ministra Zdrowia z dnia 15 października 2013 r. w sprawie wykazu substancji, których stosowanie jest dozwolone w procesie wytwarzania lub przetwarzania materiałów i wyrobów z tworzyw sztucznych, a także sposobu sprawdzania zgodności tych materiałów i wyrobów z ustalonymi limitami. *Dz.U.* 2013 poz. 1343.
15. Alin J, Hakkarainen M. Microwave heating causes rapid degradation of antioxidants in polypropylene packaging, leading to greatly increased specific migration to food simulants as shown by ESI-MS and GC-MS. *J Agric Food Chem* 2011, 10: 5418-27.
16. Kubera H, Mielwodzka M. Ocena wpływu promieniowania mikrofalowego na niektóre parametry materiałów opakowaniowych z tworzyw sztucznych. *Opakowanie* 2001, 9: 36-38.
17. Jickells SM, Gramshaw JW, Gilbert, J, et al. Migration into food during microwave and conventional oven heating. *ACS Symposium Series* 1991, 473: 11-21.
18. Garde JA, Catalá R, Gavara R. Global and specific migration of antioxidants from polypropylene films into food simulants. *J Food Prot* 1998, 8: 1000-6.
19. Castle L, Jickells SM, Sharman M, et al. Migration of the Plasticizer Acetyltributyl Citrate from Plastic Film Into Foods During Microwave Cooking and Other Domestic Usage. *J Food Prot* 1988, 51: 916-919.
20. Begley TH, Biles JE, Hollifield HC. Migration of Epoxy Adhesive Compound Into a Food Simulating Liquid and Food from Microwave Susceptor Packaging. *J Agric Food Chem* 1991, 39: 1944-1945.
21. Castle L, Mayo A, Crews C, et al. Migration of Polyethylene Terephthalate (PET) Oligomers from PET Plastics Into Foods During Microwave and Conventional Cooking and Into Bottled Beverages. *J Food Prot* 1989, 52: 337-342.
22. Galotto MJ, Guarda A. Migration of antioxidants from polymer packaging. *Packag Technol Sci* 1999, 12: 277.
23. Melski K, Zabielski J, Kubera H. Model study on intensified migration of volatile substances from food contacting plastic materials during repeated microwaving. *Electron J Pol Agric Univ* 2003, 6: 1.
24. Guillard V, Mauricio-Iglesias M, Gontard N. Effect of Novel Food Processing Methods on Packaging: Structure, Composition, and Migration Properties. *Crit Rev Food Sci* 2010, 10: 969-988.
25. Begley TH, Hollifield HC. Migration of Dibenzoate Plasticizers and Polyethylene Terephthalate Cyclic Oligomers from Microwave Susceptor Packaging Into Food Simulating Liquids and Food. *J Food Prot* 1990, 53: 1062-1066.
26. Rose WP. Determining volatile extractives from microwave susceptor food packaging. [in:] *Food Packaging Interactions II*. Risch SJ, and Hotchkiss J (eds). Oxford University Press, New York, 1991.
27. Huang C, Zhu J, Chen L, et al. Structural changes and plasticizer migration of starch-based food packaging material contacting with milk during microwave heating. *Food Control* 2014, 1: 55-62.
28. Zuckerman H, Miltz J. Changes in thin-layer susceptors during microwave heating. *Packag Technol Sci* 1994, 7: 21-26.
29. Siripatrawan U, Burgess G, Harte BR. The effect of repeated microwave heating, fill level and temperature on the impact resistance of a polypropylene syrup bottle. *Packag Technol Sci* 2000, 13: 205-210.
30. Luo Z, He X, Fu X, et al. Effect of microwave radiation on the physicochemical properties of normal maize, waxy maize and amylo maize V starches. *Starch – Starke* 2006, 58: 468-474.
31. Lee KT. Quality and safety aspects of meat products as affected by various physical manipulations of packaging materials. *Meat Sci* 2010, 86: 138-150.
32. EFSA. Statement on the presence of 4-methylbenzophenone found in breakfast cereals. *EFSA J* 2009, RN-243: 1-19.
33. Niu Y, Zhang J, Duan H, et al. Bisphenol A and nonylphenol in foodstuffs: Chinese dietary exposure from the 2007 total diet study and infant health risk from formulas. *Food Chem* 2015, 167: 320-325.
34. Soubra L, Sarkis D, Hilan C, et al. Dietary exposure of children and teenagers to benzoates, sulphites, butylhydroxyanisole (BHA) and butylhydroxytoluen (BHT) in Beirut (Lebanon). *Regul Toxicol Pharm* 2006, 47: 68-77.
35. EFSA. Opinion of the Scientific Panel on food additives, flavoring, processing aids and materials in contact with food (AFC) related to 2,2-bis(4-hydroxyphenyl)propane (Bisphenol A). *EFSA J* 2006, 428: 1-75.

36. EFSA. Opinion of the Scientific Panel on food additives, flavoring, processing aids and materials in contact with food on the request from the Commission related to 2-isopropyl thioxantone (ITX) and 2-ethylhexyl-4-dimethylaminobenzoate (EHDAB) in food contact materials. *EFSA J* 2005, 293: 1-15.
37. Widén H, Leufvén A, Nielsen T. Migration of model contaminants from PET bottles: influence of temperature, food simulant and functional barrier. *Food Addit Contam* 2004, 10: 993-1006.
38. EFSA. Scientific opinion on the risks to public health related to the presence of bisphenol A (BPA) in foodstuffs. *EFSA J* 2015, 13(1): 3978.
39. Nerin C, Fernandez C, Domeno C, et al. Determination of potential migrants in polycarbonate containers used for microwave ovens by high-performance liquid chromatography with ultraviolet and fluorescence detection. *J Agr Food Chem* 2003, 19: 5647-5653.
40. Rhodes MC, Bucher JR, Peckham JC. Carcinogenesis studies of benzophenone in rats and mice. *Food Chem Toxicol* 2009, 45: 843-851.
41. Nakagawa Y, Suzuki T, Tayama S. Metabolism and toxicity of benzophenone in isolated rat hepatocytes and estrogenic activity of its metabolites in MCF-7 cells. *Toxicol* 2000, 156: 27-36.
42. Reed M, Fujiwara H, Thompson DC. Comparative metabolism, covalent binding and toxicity of BHT congeners in rat liver slices. *Chem-Biol Interact* 2001, 138: 155-170.
43. Hong EJ, Ji YK, Choi KC, Manabe N, Jeung EB. Conflict of estrogenic activity by various phthalates between in vitro and in vivo models related to the expression of Calbindin-D9k. *J Reprod Develop* 2005, 2: 253-263.
44. Duty SM, Calafat AM, Silva MJ, et al. Phthalate exposure and reproductive hormones in adultmen. *Hum Reprod* 2005, 3: 604-610.
45. Mariscal-Arcas M, Rivas A, Granada A, et al. Dietary exposure assessment of pregnant women to bisphenol-A from cans and microwave containers in Southern Spain. *Food Chem Toxicol* 2009, 2: 506-510.
46. Perera F, Vishnevetsky J, Herbstman JB, et al. Prenatal bisphenol a exposure and child behavior in an inner-city cohort. *Environ Health Perspect* 2012, 120: 1190-1194.