

MIKROFALE I ICH ZASTOSOWANIE W TECHNOLOGII ŻYWNOSCI

WSTĘP

W ostatnich latach obserwuje się tendencję do poszukiwania nowych metod przetwarzania żywności. Współczesny człowiek poświęcający coraz więcej czasu pracy zawodowej pragnie do minimum skrócić czas wymagany do sporządzania posiłków. Nauka i technika starają się zadośćuczynić temu wyzwaniu. Jedną z propozycji usprawnienia obróbki kulinarnej w warunkach domowych stały się powszechnie już dzisiaj stosowane kuchenki mikrofalowe. Znajdują one wszechstronne zastosowanie do gotowania, smażenia, pieczenia, suszenia i rozmrażania. Na skalę przemysłową energię mikrofalową zaczęto stosować niedawno, gdyż wymagało to wprowadzenia niezbędnych do generowania mikrofal *magnetronów* o dużej mocy - urządzeń całkiem nowego typu. Nie znano również dobrze właściwości dielektrycznych żywności i obawiano się wysokich kosztów wytwarzania mikrofal. Dopiero w dobie wzrostu cen paliw tradycyjnych zaczęto dostrzegać zalety tej metody ogrzewania. Wykazano, że stosowanie mikrofal jest bardzo ekonomiczne w przypadku *temperingu* mrożonej żywności. Jest to operacja, która polega na doprowadzeniu głęboko zamrożonego produktu do temperatury ok. -3°C , kiedy daje się on już bez trudu kroić, odkostniać i rozdrabniać. Inne etapy odróbki technologicznej w których w większym lub mniejszym zakresie wykorzystuje się ogrzewanie mikrofalowe to wstępne podgotowywanie, gotowanie, pieczenie, suszenie, pasteryzacja, sterylizacja, blanszowanie i rozmrażanie. Czasami stosuje się układy kombinowane wraz z ogrzewaniem konwencjonalnym, co ma na celu osiągnięcie pożądaných cech organoleptycznych i poprawę jakości mikrobiologicznej.

Pomimo wielu zalet ogrzewanie mikrofalowe nie zawsze spełnia oczekiwania technologów, dlatego ciągle prowadzi się badania nad optymalizacją wykorzystania tej formy energii w przemyśle spożywczym.

WŁAŚCIWOŚCI MIKROFAL

Mikrofałe są formą energii elektromagnetycznej. Rozchodzą się w postaci fal, które w zetknięciu z żywnością wykazują zdolność jej ogrzewania. Dla celów przemysłu spożywczego generuje się mikrofałe tylko o określonych częstotliwościach (zwykle 2450 i 915 MHz) aby wyeliminować możliwość zakłócania innych urządzeń pracujących w tym zakresie widma elektromagnetycznego (urządzenia radiolokacyjne, diatermia mikrofalowa). Źródłem mikrofal jest magnetron - urządzenie przemieniające energię elektryczną o niskich częstotliwościach (50, 60 Hz) w pole elektromagnetyczne o częstotliwości rzędu miliardów Hz. Jest to cylindryczna dioda, w której katodą jest gorący, metalowy walec wytwarzający

dr inż Krzysztof Surówka, Katedra Chłodnictwa i Inżynierii Przemysłu Spożywczego, Akademia Rolnicza w Krakowie

wolne elektrony, umieszczone w pierścieniowej anodzie stanowiącej rezonator wnąkowy. Po przyłożeniu wysokiego napięcia elektrony tracą energię i generują szybko oscylujące pole mikrofalowe, które dalej jest kierowane przez elektromagnesy do kanału wprowadzającego je do komory grzewczej. W celu wyeliminowania nierównomierności w natężeniu mikrofal w komorze stosuje się tzw. mieszadła mikrofal (wirujące anteny) i/lub produkt wprowadza się w ruch na taśmach lub specjalnych obrotowych talerzach. O zachowaniu produktu w polu elektromagnetycznym decyduje jego *przenikalność elektryczna* i ściśle z nią związany *współczynnik strat dielektrycznych*, które zależne są od składu. Po wnikięciu mikrofal do produktu oddziałują one z dipolami wody, co powoduje ich reorientację, rozrywanie wiązań wodorowych między sąsiednimi cząsteczkami i generowanie ciepła poprzez tarcie molekularne. Jony zawarte w żywności np. (Na^+ , Cl^-) również migrują w polu mikrofalowym i przez to dodatkowo przyczyniają się do wytwarzania ciepła. Także i niektóre inne niewodne składniki żywności o budowie jonowej lub dipolowej mogą absorbować mikrofałe, ale znacznie słabiej od wody i dlatego ich efekt ogrzewający w produktach o dużej zawartości wody jest pomijany.

Reorientacje dipoli wody są opóźnione w stosunku do fazy padającego na nie promieniowania mikrofalowego o tzw. *czas relaksacji*, wynoszący zwykle ułamki mikrosekund. Czas ten zależy od stanu skupienia i lepkości, a więc pośrednio także od temperatury i w sposób istotny wpływa na właściwości dielektryczne produktu. Na przykład przemianie wody w lód towarzyszy zmniejszanie się współczynnika strat dielektrycznych. Podobny efekt ma miejsce przy ogrzewaniu wody.

Umowna głębokość wnikania mikrofal do produktu wyraża się wzorem:

$$X = \frac{\lambda}{2\pi\sqrt{\epsilon''}}$$

gdzie: X - umowna głębokość wnikania mikrofal, [m]; λ - długość fali, [m]; ϵ'' - współczynnik strat dielektrycznych.

Tak więc lód, dla którego ϵ'' jest mniejszy niż dla wody jest bardziej "przezroczysty" dla mikrofal i żywność mrożona przepuszcza je głębiej od niemrożonej. Znaczna część promieniowania mikrofalowego jest jednak absorbowana i zamieniana na ciepło. Dlatego natężenie mikrofal maleje w miarę penetracji przez nie produktu i dla warstw położonych głębiej niż umowna głębokość X jest praktycznie zaniedbywalne.

Ilość zaabsorbowanej energii także zależy od współczynnika strat dielektrycznych i wyraża się wzorem:

$$P = 55,61 \cdot 10^{-12} f E^2 \epsilon''$$

gdzie: P - moc absorbowana przez jednostkę objętości, [Wm^{-3}]; f - częstotliwość mikrofal, [Hz]; E - natężenie pola elektrycznego, [Vm^{-1}]; ϵ'' - współczynnik strat dielektrycznych.

Produkty żywnościowe o dużej zawartości wody mają duży współczynnik ϵ'' , dlatego absorbują one łatwo mikrofałe i w miejscu ich pochłaniania ogrzewają się szybko. Z kolei szkło, porcelana i większość innych tworzyw opakowaniowych mają niewielką wartość tego współczynnika (są przezroczyste dla mikrofal) i dlatego nie ogrzewają się. Metale odbijają mikrofałe.

Głębsze wnikanie mikrofal do produktów, a więc i bardziej równomierne jego ogrzewanie ma miejsce w przypadku użycia mikrofal o większej długości fali (mniejsza częstotliwość) oraz gdy produkt jest małych rozmiarów i ma mniejszy współczynnik strat dielektrycznych. Tak więc wnikanie mikrofal o częstości 915 MHz jest kilkukrotnie głębsze niż o $f = 2450$ MHz i umownie przyjmuje się, że dla większości produktów wynosi 15 - 30 cm. Ogólnie grubość produktu powinna być dobrana do możliwości penetrowania go przez mikrofałe. Gdy jest on zbyt gruby, to na skutek absorpcji przez warstwy zewnętrzne mikrofałe praktycznie nie osiągają jego środka.

Wytworzone w wyniku działania mikrofal ciepło rozchodzi się dalej na drodze przewodnictwa. Odbywa się to tym szybciej im większa jest dyfuzyjność cieplna, czyli im większe jest przewodnictwo a mniejsza pojemność cieplna i gęstość produktu. Żywność o niskiej zawartości wilgoci charakteryzuje się właśnie takimi parametrami i dlatego ogrzewa się ona bardziej równomiernie od żywności bogatej w wodę. Ponadto w tym ostatnim przypadku na skutek bardziej intensywnego parowania wody następują ubytki ciepła na powierzchni.

Stałe składniki żywności prawie nie absorbują energii mikrofalowej w produktach o dużej i średniej zawartości wilgoci, jednakowoż w żywności suchej jest inaczej, co może nawet doprowadzić do zapalenia się jej. Sposób transformacji energii mikrofalowej w cieplną nie jest jeszcze w tych przypadkach dobrze poznany.

Reasumując, szybkość i równomierność ogrzewania produktu zależy od jego składu, temperatury, kształtu, struktury, rozmiarów oraz mocy i częstotliwości padających mikrofal.

WPŁYW MIKROFAL NA DROBNOUSTROJE

Uważa się powszechnie, że energia mikrofal niszczy drobnoustroje jedynie na skutek wywołanego przez nią wzrostu temperatury. Zostało to stwierdzone w oparciu o badania przeżywalności komórek vegetatywnych i spor poddawanych działaniu mikrofal i ogrzewaniu konwencjonalnemu w tym samym zakresie temperatur. Najnowsze badania wskazują jednak na możliwość istnienia pewnych efektów atermicznych. Przedmiotem obserwacji były vegetatywne komórki *Staphylococcus aureus*, *Escherichia coli*, spory *Bacillus stearothermophilus* a także kolonie *Aspergillus niger*. Odnotowano większe uszkodzenia komórek poddawanych działaniu mikrofal, wyższy poziom białek w uwalnianych płynach wewnątrzkomórkowych, stwierdzono także wpływ mikrofal na aktywność enzymów. Zmian tych nie udało się wyjaśnić jedynie efektem działania temperatury. Z drugiej strony istnieją publikacje dokumentujące wyższą przeżywalność drobnoustrojów na powierzchni produktów ogrzewano mikrofalowo w porównaniu z ogrzewaniem konwencjonalnym. Na nieopakowanym mięsie wieprzowym ogrzewanym mikrofalami do osiągnięcia temperatury 77°C w środku termicznym stwierdzono przeżywanie włośni (*Trichinella spiralis*), podczas gdy już po 2-minutowym tradycyjnym ogrzewaniu do 60°C były one niszczone. Przypuszcza się, że zjawisko to spowodowane było obniżeniem temperatury powierzchni na skutek pobierania z niej ciepła parowania. Natomiast przy ogrzewaniu konwencjonalnym, gdzie ciepło w głąb produktu transportowane jest przez powierzchnię, jej temperatura przez cały czas pozostaje wysoka. Proces ogrzewania mikrofalowego trwa zwykle krócej niż przy wykorzystaniu metod tradycyjnych, a w domowych kuchenkach mikrofalowych często wykorzystywany jest do odgrzewania potraw. Aby wyeliminować możliwość niedogrzenia powierzchni na skutek pobierania z niej ciepła parowania, wskazane jest prowadzenie procesu nieco dłużej, ogrzewanie produktów w opakowaniach lub równoczesne stosowanie ogrzewania konwencjonalnego.

BEZPIECZEŃSTWO MIKROFAL DLA CZŁOWIEKA

Pomimo istniejących doniesień biologów o tym, że mikrofałe, podobnie jak promieniowanie jonizujące wywoływać mogą efekty atermiczne takie jak interakcje z DNA i białkami powszechnie uważa się, że oddziałują one na organizmy wyższe jedynie poprzez efekt temperaturowy. Energia kwantowa mikrofal jest bowiem znacznie mniejsza od energii wymaganej do rozrywania kowalencyjnych wiązań chemicznych. Stąd możliwość zachodzenia wywoływanych przez mikrofałe reakcji, które mogłyby prowadzić do tworzenia się w żywności produktów toksycznych jest bardzo mało prawdopodobna.

Bezpośrednie działanie na człowieka mikrofal o dużej mocy objawia się hipertermią. Ponieważ absorpcja energii mikrofalowej w środowisku zależy od stałej dielektrycznej i współczynnika strat dielektrycznych, to te tkanki i organy, które zawierają dużo wilgoci i soli ogrzewają się najsilniej i pierwsze ulegają zniszczeniu. Szczególnie jest to widoczne w organach, gdzie ze względu na ich budowę cyrkulacja płynów ustrojowych jest ograniczona (oczy, uszy, jądra). W badaniach na zwierzętach wykazano, że na skutek działania mikrofal najwcześniej następuje denaturacja białek soczewek ocznych, powstawanie katarakty, uszkodzenie słuchu i sterylizacja spermy.

W medycynie, w diatermii mikrofalowej, bez żadnych ubocznych efektów chorobowych rutynowo wykorzystuje się mikrofałe o mocy do 1 W/cm^2 . Ekspozycja całego ciała człowieka w polu mikrofalowym o mocy 10 mW/cm^2 jest bezpieczna przez nieograniczony czas. Jednak wprowadzono dodatkowy margines bezpieczeństwa ograniczając w normach "wyciek" mikrofal w czasie eksploatacji urządzeń domowych i przemysłowych do 5 mW/cm^2 w odległości 5 cm od ich powierzchni. Konstrukcja aparatury mikrofalowej zawiera podwójne zabezpieczenie i w razie niewłaściwej obsługi magnetron wyłącza się.

ZASTOSOWANIE MIKROFAL W TECHNOLOGII ŻYWNOSCI

W ostatnich latach stosowanie urządzeń mikrofalowych w przemyśle staje się bardziej opłacalne, gdyż koszty kapitałowe ulegają zmniejszeniu dzięki coraz większej produkcji magnetronów o budowie modułowej i wysokiej niezawodności. Postępy w konstruowaniu wyposażenia mikrofalowego, trendy w kształtowaniu się cen energii elektrycznej w stosunku do innych jej form, oraz coraz lepsza znajomość właściwości dielektrycznych żywności pozwalają na takie modelowanie procesów mikrofalowych, aby mogły być one zastosowane w przemyśle spożywczym w coraz większym zakresie. Roczny przyrost mocy urządzeń mikrofalowych w świecie pod koniec lat 80-tych wynosił ponad 2,5 MW, z czego większość przypadła na tempering mięsa i ryb, suszenie produktów o niskiej zawartości wilgoci oraz podgotowywanie i gotowanie mięsa. Inne operacje z udziałem mikrofal, takie jak suszenie próżniowe, liofilizacja, pasteryzacja, sterylizacja, pieczenie, blanszowanie, wytapianie tłuszczu są coraz częściej wdrażane, albo też opracowywane jeszcze na poziomie pilotowym. Wiele z powyższych procesów łączy ogrzewanie mikrofalowe z tradycyjnym, w takich przypadkach konwencjonalne źródło ciepła służy do wytwarzania pożądanego czasem zbrązowienia oraz chrupkości powierzchni, a także do szybszego zniszczenia obecnych na niej drobnoustrojów.

Instalacje mikrofalowe z reguły wykorzystują częstotliwość 2450 MHz lub 915 MHz i mają moc od 30 do 120 kW. Niższa z tych częstotliwości penetruje produkty do głębokości ok. 30 cm, podczas gdy wyższa tylko do 10 cm. W zależności od charakteru surowca poddawanego obróbce i jego ilości stosuje się odpowiednią częstotliwość i moc. Ogrzewanie

omawianą tu metodą jest szybkie i nie powoduje przegrzewania się powierzchni, co mogłoby prowadzić do jej uszkodzeń. Instalacje są małe, zwarte i łatwe do montażu, a produkt przez cały czas przebywa w warunkach higienicznych.

Poniżej omówiono krótko najważniejsze aspekty zastosowania mikrofal w niektórych procesach technologicznych.

Tempering

Tempering mrożonej żywności stosowany jest często w warunkach przemysłowych zamiast całkowitego rozmrażania. W urządzeniu mikrofalowym przystosowanym do tego celu może być wykonany w czasie od kilku do kilkudziesięciu minut w porównaniu z wieloma godzinami jakie wymagane są do rozmrażania dużych elementów w tradycyjnej rozmrażalni. Proces ten można prowadzić bez usuwania opakowania, z tego względu oraz z uwagi na krótki czas trwania mniejsze są możliwości rozwoju drobnoustrojów na powierzchni, podczas gdy konwencjonalne odtażanie utrzymuje ten region w temperaturach powyżej 0°C przez dłuższy okres czasu. Do zalet należy zaliczyć także ograniczenie strat wagowych, dużą retencję soków komórkowych, utrzymywanie pH mięsa na właściwym poziomie i większą elastyczność procesu produkcyjnego, co oznacza dziesięciokrotne zmniejszenie potrzebnej powierzchni produkcyjnej oraz umożliwienie dalszego przerobu głęboko zamrożonych produktów w ciągu bardzo krótkiego czasu. Wadą wykorzystania mikrofal do temperingu jest fakt, że w temperaturach bliskich 0°C warstwa zewnętrzna absorbuje znaczną ilość energii i produkt na powierzchni może ulec przegrzaniu. Aby ograniczyć to zjawisko mikrofalowy tempering przeprowadza się czasami wraz z owiewem zimnego powietrza. Najczęściej stosuje się go do mięsa, jego przetworów, masła oraz innych tłuszczów jadalnych. Typowe urządzenia o mocy od 30 do 120 kW umożliwiają przetworzenie w ciągu godziny od 1 do 4 ton mięsa lub od 1,5 do 6 ton masła.

Suszenie

Najlepsze efekty suszenia osiąga się dla produktów o zawartości wilgoci poniżej 20%. Mechanizm suszenia z użyciem mikrofal istotnie różni się od konwencjonalnego ponieważ z łatwością przechodzą one przez warstwy wysuszone, osiągając nieodparowaną wilgoć i tam generują ciepło. Ponadto obserwuje się kilkukrotne zmniejszenie czasu trwania procesu i ok. 30%-owe zmniejszenie zużycia energii m.in. dlatego, że ogrzewaniu ulegają jedynie mokre części produktu, natomiast części suche, powietrze w suszarni i jej wnętrze nie są ogrzewane mikrofalami. Wysuszony produkt charakteryzuje się mniej twardą powierzchnią, gdyż nie styka się ona z gorącym środowiskiem otaczającym go jak ma to miejsce przy metodach tradycyjnych. Najczęściej suszone mikrofalowo asortymenty to makaron, przypraw, koncentrat pomidorowy, ryż, bekon i żywność przekąskowa (snack foods). W niektórych przypadkach stosuje się wspólnie z mikrofalami konwencjonalne źródła ciepła, aby osiągnąć zamierzony cel technologiczny.

W typowym urządzeniu do mikrofalowego dosuszania żywności przemieszcza się ona na perforowanej taśmie w strumieniu powietrza wytwarzanym przez wentylator. Mikrofałe padają na produkt od góry generując w nim ciepło i zwiększając prężność pary wodnej, która opuszcza urządzenie specjalnym otworem. Produkt wysuszony odbierany jest z taśmy perforowanej na końcu urządzenia. Szczególnie istotne jest zapewnienie szczelności instalacji aby mikrofałe nie wydostawały się na zewnątrz i nie stwarzały zagrożenia dla zdrowia obsługi.

Gotowanie

Mikrofale stosuje się z dobrym skutkiem do wstępnego gotowania bekonu, mięsa i części drobiu z przeznaczeniem na rynek detaliczny i dla żywienia zbiorowego. Zaletami tego procesu jest duża wydajność, krótki okres przygotowywania, mała pracochłonność oraz wysoka jakość produktów. Moc i czas gotowania mikrofalowego należy dobierać stosownie do asortymentu. Większe i grubsze elementy wymagają więcej energii niż małe i cienkie. Podobnie jak w przypadku mikrofalowego suszenia czasem dodatkowo stosuje się jednocześnie ogrzewanie konwencjonalne.

Wypiek pieczywa

Wypiek pieczywa przeprowadza się najczęściej tradycyjnymi metodami, niemniej jednak istnieją linie technologiczne wykorzystujące do tego celu także ogrzewanie mikrofalowe. Już sam etap rośnięcia ciasta można przyspieszyć dzięki właściwemu zastosowaniu mikrofal. W trakcie wypieku natomiast mikrofałe mogą działać równocześnie z ogrzewaniem konwencjonalnym lub poprzedzać go. Pozwala to na skrócenie czasu wypieku nawet o 60% i istotne zaoszczędzenie energii. Pieczywo także jest bardziej wyrośnięte a jego wartość odżywcza jest większa niż produkowanego tradycyjnie, ze względu na ograniczenie zachodzenia reakcji Mailarda i strat lizyny. Dobre efekty osiąga się przy ciągłej produkcji pieczywa cukierniczego typu biskwitów. Mikrofałe, które wykorzystuje się tu dopiero w ostatniej fazie wypieku powodują dopieczenie i usunięcie nadmiaru wilgoci bez dalszych zmian koloru powierzchni.

Obok opisanych wyżej procesów, także blanszowanie, liofilizacja, wytapianie tłuszczów, prażenie, pasteryzacja i sterylizacja mogą przebiegać z udziałem mikrofal. Niektóre z tych procesów zaczyna się już wprowadzać do przemysłu, a pozostałe nie wyszły jeszcze poza obszar badań pilotowych.

Blanszowanie mikrofalowe znalazło zastosowanie w ograniczonym stopniu, gdyż nie uzyskuje się tą metodą lepszych jakościowo produktów niż przy blanszowaniu tradycyjnym. Spodziewany jest natomiast rozwój liofilizatorów z ogrzewaniem mikrofalowym, konstrukcja taka bowiem pozwala na szybszy i bardziej ekonomiczny przebieg suszenia tą metodą co w dobie coraz większego zapotrzebowania na produkty liofilizowane stwarza duże możliwości rozwoju. Obserwacja kilku instalacji mikrofalowych do pasteryzacji pieczywa i soków owocowych jakie pracują w przemyśle pozwala na prognozowanie szerszego ich zastosowania w przyszłości. Wysokiej jakości smalec i łój wytapia się w prototypowym urządzeniu zainstalowanym w jednym z zakładów mięsnych w USA. W pilotowych urządzeniach praży się kawę i kakao uzyskując po 5 - 10 minutach produkt z większą wydajnością i wyższej jakości niż przy prażeniu tradycyjnym. W oparciu o badania w skali pilotowej z powodzeniem wdrażane są instalacje mikrofalowe do pasteryzacji i sterylizacji mleka i różnych półstałych produktów bezpośrednio w opakowaniach z tworzywa sztucznego. W przemyśle mięsnym z powodzeniem stosuje się prototypowe mikrofalowe urządzenia do produkcji parówek bezosłonkowych uzyskując znaczne skrócenie czasu i oszczędności energii.

DOMOWE KUCHENKI MIKROFALOWE

Duże zainteresowanie kuchenkami mikrofalowymi na świecie sprawiło, że produkuje się je obecnie w ogromnych ilościach i dużej różnorodności. W U.S.A., gdzie nasycenie gospo-

darstw domowych nimi jest największe, posiada je ponad 90% gospodarstw, podczas gdy w Polsce jedynie ok. 3%. Ich pojemność waha się najczęściej od 10 do 40 l, a moc od 400 do 1000 W. Badania wykazały, że stosowanie kuchenek mikrofalowych pozwala średnio zaoszczędzić 63% energii w porównaniu z ogrzewaniem tradycyjnymi metodami, niemniej jednak istnieją potrawy, których przyrządzanie metodami tradycyjnymi jest mniej energochłonne.

W ślad za wzrostem zainteresowania kuchenkami mikrofalowymi, technolodzy ukierunkowali swoją produkcję na wytwarzanie żywności nadającej się do wygodnego i szybkiego przyrządzania z ich wykorzystaniem (*microwavable foods*). Obecnie już na szeroką skalę produkuje się chłodzone, mrożone i suszone dania obiadowe, zupy, zakąski i desery pakowane oddzielnie, na specjalnych tackach.

Tworzywa opakowaniowe muszą spełniać ostre wymagania norm dotyczących ewentualnej migracji składników materiału opakowaniowego do żywności. Często stosuje się wprowadzenie do nich ferrytu lub proszku aluminiowego w miejscach, gdzie wymagane jest osłonięcie przed mikrofalami lub zogniskowanie ich w celu bardziej jednorodnego ogrzewania produktu o niejednorodnej zawartości wilgoci (np. pizza). Z uwagi na to, że wiele gospodarstw domowych w Europie Zachodniej i Ameryce wyposażonych jest już w skomputeryzowane kuchenki mikrofalowe, producenci często podają na opakowaniach swoich wyrobów parametry jakie należy wprowadzić do wejścia mikroprocesora, aby uzyskać produkt gotowy do spożycia o najwyższej jakości.

Użytkownik kuchenki mikrofalowej wie, że największą różnicą między ogrzewaniem tradycyjnym a mikrofalowym jest to, że to drugie nie daje zbżowania i kruchości produktu. Różnica ta wynika z faktu, że powietrze wewnątrz kuchenki mikrofalowej nie jest ogrzewane przez mikrofałe, podczas gdy w metodach tradycyjnych jest gorące, ponadto na skutek odparowywania wilgoci z powierzchni dodatkowo obniża się jej temperatura.

Czasami przeprowadzane w warunkach domowych rozmrażanie, ogrzewanie lub gotowanie przebiega niewłaściwie, jest to najczęściej spowodowane jednym z poniższych efektów.

a) *Efekt powierzchniowy* - wiąże się z tym, że większość mikrofal jest absorbowana i przekształcana w ciepło przy powierzchni. Zatem w niektórych przypadkach, szczególnie przy częstotliwości 2450 MHz obserwuje się mocniejsze ogrzewanie warstw zewnętrznych w porównaniu z warstwami głębszymi.

b) *Efekt ostrego rogu* - polega na nadmiernym ogrzewaniu części wystających (np. skrzydełko kurczaka), które wyeksponowane są na działanie mikrofal ze wszystkich stron, podczas gdy na resztę produktu mikrofałe padają tylko z jednego kierunku. Efekt ten można osłabić przez ekranowanie (np. folią Al) fragmentów narażonych na nadmiar mikrofal.

c) *Efekt różnicowy* - obserwuje się go w żywności posiadającej obszary o różnej aktywności dielektrycznej. Jeden region absorbuje mniej lub więcej energii niż inny i w konsekwencji ogrzewają się one z różną szybkością. Przykładem na to może być mikrofalowe ogrzewanie pizzy. Aby ograniczyć wpływ tego efektu stosuje się dodatki do materiału opakowaniowego, które poprzez osłonięcie wybranych fragmentów przed mikrofalami, lub ich zogniskowanie doprowadzają do równomiernego ogrzewania.

d) *Efekt kosztny* - dotyczy ogrzewania mięsa i polega na nierównomiernej dystrybucji ciepła wynikającej z nadmiernego nagrzewania się kości.

Mrożona żywność poddawana ogrzewaniu mikrofalowemu może wykazywać specyficzne

dla niej zachowanie wynikające z różnicy w penetracji i absorpcji mikrofal przez wodę i lód oraz roztwory wodne. Mikrofałe penetrują głębiej lód niż wodę, a ich absorpcja przez wodę jest znacznie większa. Dlatego obszary, które rozpoczęły się już rozmrażać absorbują więcej energii niż nierozmrożone a zatem ulegają przegrzewaniu, podczas gdy fragmenty lodu pozostają niedogrzone. Ponadto, jeśli w czasie składowania zamrażalniczego występowały wahania temperatury, to na skutek procesu rekrytalizacji lodu powstać mogły obszary o zwiększonym stężeniu soli. Obszary takie podczas rozmrażania mikrofalowego topnieją pierwsze i w ich okolicach występuje nadmierne przegrzewanie produktu. Aby ograniczyć występowanie powyższych zjawisk rozmrażanie należy przeprowadzać powoli przy niewielkiej mocy mikrofal lub stosować przerwy w celu wyrównywania temperatury przez przewodzenie. Kuchenki mikrofalowe mają najczęściej podany zakres mocy przy jakiej należy rozmrażać żywność, lub są tak zaprogramowane, że proces ten przebiega z przerwami.

Zachowanie wartości odżywczej przez żywność ogrzewaną mikrofalowo było tematem wielu prac badawczych. Eksperci Instytutu Technologów Żywności (IFT) z USA wydali opinię, że żywność taka zachowuje więcej witamin i termicznie labilnych składników ponieważ ogrzewanie mikrofalowe z reguły trwa krócej niż tradycyjne i nie wywołuje zbrązowienia powierzchni. Istnieją jednak i inne opracowania, które sugerują, że ten korzystny efekt żywieniowy jest niewielki.

Jakkolwiek szybkość jest najbardziej atrakcyjną cechą ogrzewania mikrofalowego, nie należy bezkrytycznie jej wykorzystywać. Rozmrażanie, gotowanie, pieczenie i inne czynności kuchenne są złożonymi procesami fizykochemicznymi wymagającymi zajścia właściwych przemian i reakcji. Powinny one następować w odpowiedniej kolejności i we właściwych relacjach czasowo-temperaturowych. Nadmierne szybkie ogrzewanie może zaburzyć tok przemian, co przejawiać się może pęknięciami produktu, przegrzewaniem oraz występowaniem niekorzystnych cech tekstury. ■

LITERATURA

1. Anon. Microwavable foods-industry's response to consumer demands for convenience. Food Technology (6), 52 - 62, 1987.
2. Anon. Ingredients and packages for microwavable foods. Food Technology (6), 100, 102, 104, 1987.
3. Bögl W., Dehne L.: Influence of microwave heating on the nutritional value of foods of animal origin. Fleischwirtschaft, 63, (7), 1206 - 1211, 1983.
4. Cable D. W., Saaski E.: Fiberoptic pressure measurement of spontaneous bumping splattering of foods during microwaving. Food Technology (6), 120, 1990.
5. Chipley J. R.: Effects of microwave radiation on microorganisms. Advances in applied microbiology, 26, 129 - 145, 1980.
6. Dreyfuss M. S., Chipley J. R.: Comparison of effects of sublethal microwave radiation and conventional heating on the metabolic activity of Staphylococcus aureus. Appl. Environ. Microbiology, (1), 13 - 16, 1980.
7. Fellows P.: Food processing technology. Principles and practice. Ellis Horward Ltd., Chichester and VCH Weinheim, 1988.

8. Janik J. M.: Fizyka chemiczna. Skrypt UJ nr 386, Kraków 1980.
9. Moody W. G., Bedav C., Langlois B. E.: Beef thawing and cookery methods. *J. Food Sci.*, 43. 834 - 838, 1978.
10. Mudgett R. E.: Electrical properties of foods in microwave processing. *Food Technology* (36), 109 - 115, 1982.
11. Mudgett R. E.: Microwave food processing. Scientific status summary. *Food Technology* (1), 117 - 126, 1989.
12. Pedenko A. J., Belitski B. J., Lerina I. V., Makeer Y. V., Kutasher V. N.: Effects of high frequency electromagnetic field on microorganisms. *Pishchevaya Tekhnologia* (5), 54 - 56, 1982.
13. Rosenberg U., Bögl W.: Zastosowanie mikrofal do rozmrażania i kontrolowanego kształtowania temperatury produktów zamrożonych. *Chłodnictwo* (4), 12 - 14, 1987.)Opr. J. Podstolski).
14. Rosenberg U., Bögl W.: Microwave thawing, drying and baking in the food industry. *Food Technology* (6), 85 - 91, 1987.
15. Rosenberg U., Bögl W.: Microwave pasteurization, sterylization and pest control in the food industry. *Food Technology* (6), 92 - 99, 1987.
16. Shukle T. P.: Microwaves from the bacteriological viewpoint. *Ernahrung*, 14, (9), 527 - 530, 1990.