

MAŁGORZATA NOWACKA, MAGDALENA ŚLEDŹ, ARTUR WIKTOR,
DOROTA WITROWA-RAJCHERT

FIZYCZNE I CHEMICZNE WŁAŚCIWOŚCI PRODUKTÓW SPOŻYWCZYCH SUSZONYCH Z WYKORZYSTANIEM MIKROFAL

Streszczenie

Powszechnie stosowaną metodą suszenia w przemyśle spożywczym jest technika konwekcyjna. Jednak w ostatnich latach jest ona często zastępowana suszeniem z wykorzystaniem mikrofal. Ten sposób usuwania wody, w porównaniu z metodami konwencjonalnymi, pozwala na uzyskanie produktu o wysokiej jakości, głównie w wyniku skrócenia czasu procesu, a więc ograniczenia utleniania materiału, oraz równomiernego ogrzewania surowca. Jednocześnie suszenie mikrofalowe wpływa korzystnie na skurcz, porowatość, właściwości mechaniczne, rekonstytucyjne, zachowanie barwy i aromatu, jak również na zachowanie wielu składników biologicznie aktywnych. Należy jednak mieć na uwadze, że niezbędna jest optymalizacja suszenia wspomaganego promieniowaniem mikrofalowym w celu dobrania takich parametrów procesu, które gwarantują uzyskanie różnych suszonych produktów, spełniających zarówno wysokie wymagania konsumentów, jak i będących wartościowym surowcem dla wielu branż przemysłu spożywczego.

Słowa kluczowe: produkty żywnościowe, suszenie mikrofalowe, jakość suszy

Wprowadzenie

Suszenie jest jedną z najstarszych i najpowszechniejszych metod utrwalania, stosowaną w technologii żywności [15, 30, 68]. Wiele branż wykorzystuje ten proces w określonych, najczęściej końcowych etapach produkcji żywności, co oznacza, że w znacznym stopniu wpływa on na jakość produktu. W trakcie procesu woda jest usuwana z materiału w wyniku odparowania, co wymaga dostarczenia ciepła przemiany fazowej z zewnątrz, na drodze przewodzenia, konwekcji lub promieniowania.

Wynikiem procesu suszenia jest obniżenie aktywności wody, w związku z czym produkt zostaje utrwalony. Jednak odparowanie wody, szczególnie z materiału zawierającego znaczne jej ilości, powoduje najczęściej zniszczenie struktury wewnętrznej

Dr inż. M. Nowacka, mgr inż. M. Śledź, mgr inż. A. Wiktor, prof. dr hab. D. Witrowa-Rajchert, Katedra Inżynierii Żywności i Organizacji Produkcji, Wydz. Nauk o Żywności, Szkoła Główna Gospodarstwa Wiejskiego, ul. Nowoursynowska 159 C, 02-776 Warszawa

tkanki. Dodatkowo, wysoka temperatura oraz długi czas procesu, przede wszystkim w odniesieniu do suszenia konwekcyjnego, przyczyniają się do zmian jakościowych w materiale biologicznym.

Zastosowanie właściwych parametrów suszenia, tj. sposobu dostarczenia ciepła, temperatury procesu oraz szybkości przepływu powietrza suszącego, decyduje nie tylko o zmianach cech strukturalnych, barwy, aromatu czy składników odżywczych, ale również zmniejsza koszty produkcji. Jest to szczególnie ważne, gdyż jedną z podstawowych wad procesu suszenia jest jego wysoka energochłonność [8, 61].

Jednym ze sposobów dostarczenia ciepła do suszonego produktu jest zastosowanie promieniowania mikrofalowego. Specyfika tego sposobu dostarczania ciepła powoduje, że zmiany zachodzące w suszonym materiale są inne niż w produktach otrzymanych metodami konwencjonalnymi. Mikrofałe są falami elektromagnetycznymi o częstotliwości z zakresu 300 MHz - 300 GHz, co jest ściśle związane z długością fali, odpowiednio od 1m do 1mm [48, 51]. Praktycznie w przetwarzaniu żywności najczęściej wykorzystywane są częstotliwości 915 i 2450 MHz [7, 18, 47, 48, 60, 68]. Mikrofałe wywarzane są w generatorze mikrofal (magnetronie), który jest „sercem” każdego urządzenia mikrofalowego [56]. Elektryony oscylują z bardzo wysoką częstotliwością w wyniku jednoczesnego działania pola magnetycznego oraz energii elektrycznej. W związku z tym prąd zmienny o częstotliwości 60 Hz, pobierany z sieci, wzmacniany jest do 2450 MHz [1, 46]. Mikrofałe wytwarzane są w generatorach małej (1 - 6 kW) lub dużej (15, 30, 60, 75 kW) mocy. Sprawność tych pierwszych nie przekracza 60 %, natomiast drugi typ osiąga sprawność nawet 85 % [46].

Mikrofałe, podobnie jak każdy inny rodzaj fali elektromagnetycznej, mogą ulegać absorpcji, odbiciu lub rozproszeniu. Tylko pochłonięte przez materiał mikrofałe mogą wytwarzać ciepło, przy czym głębokość wnikania zależy od częstotliwości fali. Przy niższych pasmach penetracja materiału jest większa. Przykładowo, pasmo o częstotliwości 2450 MHz pozwala na wniknięcie mikrofal na głębokość 12,2 cm, natomiast 915 MHz – na około 33 cm [18, 68].

Ogrzewanie żywności w wyniku działania mikrofal wynika z obecności związków polarnych (szczególnie wody i jonów) oraz ich zachowania w polu elektromagnetycznym. Proces absorpcji promieniowania mikrofalowego przebiega najczęściej na skutek przewodnictwa jonowego, które polega na przyspieszaniu jonów (m.in. sodowych, chlorkowych, hydroksylowych) w zmiennym polu elektrycznym i rotacji dipoli, których szczególnym przykładem jest woda [1]. W zmiennym polu elektromagnetycznym dipole oscylują i obracają się. Jony poruszają się równoległe do kierunku jego działania, zderzają się z cząsteczkami wody, przekazując im energię kinetyczną. Te z kolei zderzają się z kolejnymi cząsteczkami wody. W ciągu jednej sekundy dochodzi do wielu milionów takich zderzeń. Jednoczesne występowanie obu tych mechanizmów przyczynia się do powstania tarcia, generującego ciepło [51].

Suszenie z zastosowaniem mikrofal wpływa najczęściej korzystnie na wiele właściwości suszonych produktów, świadczących o ich wysokiej jakości. Związane jest to najczęściej z krótszym czasem procesu, co prowadzi do zmniejszenia degradacji termicznej i ograniczenia procesów utleniania. Wśród zalet suszenia przy wykorzystaniu tego rodzaju promieniowania wymienia się m.in. korzystny wpływ na skurcz, porowatość, właściwości mechaniczne, rekonstytucyjne, zachowanie barwy i aromatu, jak również wielu składników biologicznie aktywnych, przy jednoczesnym skróceniu czasu suszenia.

Skurcz, porowatość i gęstość materiału

Występowanie skurczu materiału jest jednym z podstawowych problemów suszarnictwa żywności. Konsumenci negatywnie odbierają wzrost twardości oraz zmiany kształtu materiału, szczególnie gdy mają one charakter anizotropowy [42]. Zjawisko to wynika ze stopniowego zwiększania koncentracji rozpuszczalnych składników żywności, czemu towarzyszy usztywnienie ścian komórkowych. Gradient wilgoci wewnątrz materiału wzrasta, wskutek czego dochodzi do załamania kapilar oraz skurczu suszarniczego [31, 42]. Pod koniec procesu skurcz materiału jest niewielki ze względu na usztywnienie materiału przez struktury będące w stanie szklistym [29, 42].

Wybór odpowiedniej metody suszenia oraz parametrów procesu mogą wpłynąć na ograniczenie zmian kształtu materiału. Wykorzystanie mikrofal w procesie suszenia prowadzi najczęściej do uzyskania produktów o większej objętości i mniejszym skurczu. Przykładowo, jabłka suszone mikrofalowo-konwekcyjnie charakteryzowały się istotnie mniejszym skurczem, wynoszącym 63 - 72 %, niż susze konwekcyjne (76 %) oraz promiennikowo-konwekcyjne (średnio 69 %) (tab. 1) [53]. Analogiczną zależność zaobserwowali Khraisheh i wsp. [27] w przypadku ziemniaków suszonych mikrofalowo oraz konwekcyjnie. Natomiast według Maskana [41], zastosowanie mikrofal do wspomaganie procesu konwekcyjnego suszenia owoców kiwi korzystnie wpływa na jakość suszu niż sam proces mikrofalowy. Skurcz plasterów wyniósł odpowiednio 76 oraz 85 %. Ponadto, zwiększenie mocy mikrofal przyczynia się do ograniczenia zmian kształtu ze względu na zwiększenie szybkości odparowania wody z materiału [65].

Skurcz materiału jest silnie skorelowany z jego porowatością i gęstością, przy czym im mniejszy skurcz tkanki, tym większa jest jej porowatość oraz mniejsza gęstość [53, 65]. Porowatość surowca najczęściej zwiększa się w trakcie suszenia, jednak stopień tych zmian uzależniony jest w dużej mierze od metody usuwania wody. Suszenie mikrofalowe pozwala na uzyskanie materiału o większej porowatości oraz mniejszej gęstości niż susz konwekcyjny [6, 53, 65]. Suszona mikrofalowo-konwekcyjnie marchew charakteryzowała się porowatością na poziomie 61 %, natomiast porowatość suszy otrzymanych metodami konwekcyjną i fluidalną wyniosła 59 %. Jedynie liofilizaty cechowały się większą porowatością (70 %), co wynikało z najmniejszego skur-

czu tkanki [39]. Zależności te potwierdzono także na przykładzie jabłek, których porowatość po procesie suszenia mikrofalowo-konwekcyjnego i konwekcyjnego wyniosła odpowiednio 81 i 72 %, co w sposób istotny różnicowało susze [53]. Z kolei gęstość jabłek potraktowanych mikrofalami o mocy 20 W/g przed suszeniem konwekcyjnym była nawet o połowę mniejsza niż gęstość materiału niepoddanego takiej obróbce [20].

Tabela 1

Skurcz tkanki jabłka suszonego konwekcyjnie, mikrofalowo-konwekcyjnie i promiennikowo-konwekcyjnie. Shrinkage of convective, microwave-convective and infrared-convective dried apple tissue.

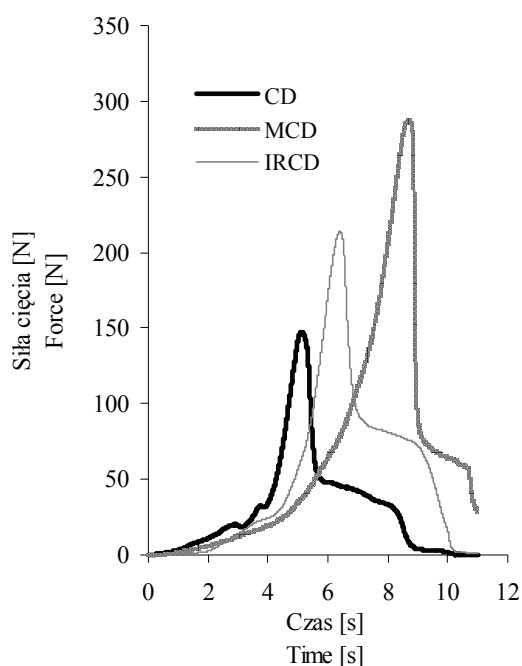
Metoda suszenia Drying method	Parametry suszenia Drying parameters	Skurcz [%] Shrinkage [%]	
		\bar{x}	s / SD
Konwekcyjna Convective	70 °C; 2,0 m·s ⁻¹	76,0 ^c	2,9
Mikrofalowo-konwekcyjna Microwave-convective	300 W; 40 °C	63,3 ^a	1,2
	300 W; 30 °C	68,0 ^b	1,6
	300 W; 20 °C	69,6 ^b	0,8
	150 W; 40 °C	71,6 ^b	1,1
	150 W; 30 °C	70,1 ^b	0,9
	150 W; 20 °C	71,4 ^b	1,8
Promiennikowo-konwekcyjna Infrared-convective	20 cm; 0,5 m·s ⁻¹	70,4 ^b	1,7
	20 cm; 1,2 m·s ⁻¹	68,9 ^b	1,7
	20 cm; 2,0 m·s ⁻¹	69,1 ^b	1,0

Źródło: / Source: [53]

Właściwości mechaniczne suszy

Struktura materiału zmienia się wraz ze zmniejszeniem zawartości wody w materiale, co wpływa na odczuwaną teksturę żywności. Zmienia się jej jędrność i twardość, czemu towarzyszy wzrost kruchości oraz wytrzymałości mechanicznej tkanki. Woda w żywności pełni rolę plastyfikatora, zatem przy większej jej zawartości surowiec jest często bardziej gumiasty i potrzeba więcej siły do jego przecięcia [23, 53]. Ponadto szybkość suszenia, warunkowana wyborem metody usuwania wody z materiału, ma wpływ na właściwości mechaniczne ze względu na większe prawdopodobieństwo występowania stanu szklistego w produktach suszonych z większą intensywnością. Test ściskania suszy marchwiowych wykazał, że większą wytrzymałością charakteryzowała się marchew suszona mikrofalowo niż susze konwekcyjny oraz sublimacyjny, co wynikało z dużo krótszego czasu suszenia promieniowaniem mikrofalowym. Siła ściskania wyniosła odpowiednio 254, 125 i 149 N [39]. Podobną zależność potwierdzili także Jakubczyk i Lewicki [22] w przypadku testu ściskania suszonych mikrofalowo i kon-

wekcyjnie jabłek. Natomiast praca cięcia jabłek suszonych mikrofalowo-konwekcyjnie była wyższa o 19 i 43 % w porównaniu z suszami odpowiednio promiennikowo-konwekcyjnym oraz konwekcyjnym [53]. Ponadto przebieg testu cięcia wskazywał, że w tkance jabłek suszonych konwekcyjnie dochodzi do skokowych pęknięć materiału (rys. 1). Takie zależności tłumaczone są większym skurczem materiału w trakcie suszenia konwekcyjnego oraz występowaniem utwardzonych struktur wewnątrz tkanki [11], czego nie obserwuje się w suszach otrzymanych przy wykorzystaniu mikrofal [11, 53].



Rys. 1. Krzywe cięcia jabłek suszonych różnymi metodami: konwekcyjną (CD), mikrofalowo-konwekcyjną (MCD) i promiennikowo-konwekcyjną (IRCD).

Fig. 1. Cutting curves of apples dried using different methods: convective (CD), microwave-convective (MCD), and infrared-convective (IRCD).

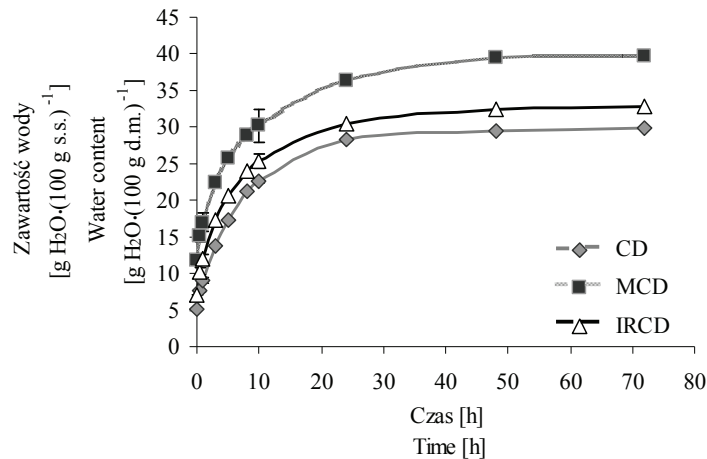
Źródło: / Source: [53]

Cui i wsp. [13], przeprowadzając test cięcia ząbków czosnku suszonych dwustopniowo, mikrofalowo-podciśnieniowo w połączeniu z dosuszaniem konwekcyjnym, stwierdzili, że susze te mają zbliżoną teksturę do suszy sublimacyjnych i zdecydowanie lepsze właściwości mechaniczne niż susze konwekcyjne. Dodatkowo stwierdzono, że susz mikrofalowy charakteryzował się wysoką porowatością w stosunku do suszu konwekcyjnego, jednak w końcowym etapie dochodziło do załamania struktury, co w konsekwencji wpłynęło na jego właściwości mechaniczne.

Właściwości rekonstrycyjne i higroskopijne suszy

Rehydracja to jeden z ważniejszych wyróżników jakości suszonej żywności. Ogólnie przyjmuje się, że stopień ponownego uwodnienia zależy od stopnia zniszczenia struktury materiału [50], dzięki czemu parametr ten może stanowić podstawę do wnioskowania o wpływie suszenia na zmiany cech fizycznych i strukturalnych produktów spożywczych [69]. Wysoki stopień odtwarzalności produktów suszonych w wodzie lub innym medium jest często oczekiwany przez konsumentów. Niemniej jednak, suszona żywność, dążąc do stanu uzyskania równowagi termodynamicznej z otoczeniem, chłonie parę wodną, co jest zjawiskiem niepożądanym, szczególnie podczas przechowywania tego typu produktów.

W trakcie procesu suszenia zmienia się struktura materiału, w wyniku m.in. zmiany porowatości, załamania struktury oraz występowania skurczu. Większy skurcz tkanki jest jednoznaczny z mniejszą porowatością suszu, co z kolei najczęściej wpływa na mniejszy stopień ponownego uwodnienia. Na właściwości rekonstrycyjne oraz higroskopijne wpływ ma zatem metoda suszenia. Susze konwekcyjno-mikrofalowe charakteryzują się nie tylko mniejszym skurczem, ale i lepszą odtwarzalnością [40]. W związku z wydłużonym czasem działania podwyższonej temperatury w trakcie suszenia konwekcyjnego susze otrzymane tą metodą najczęściej chłoną mniej wody [54]. Natomiast suszone z wykorzystaniem mikrofal: grzyby [66], marchew [49, 62], banany [40], kiwi [41], jabłka [20] czy bazylię [70] wykazały lepsze właściwości rekonstrycyjne niż susze konwekcyjne. Również obniżenie ciśnienia w instalacji suszarniczej poprawia właściwości rekonstrycyjne suszu. Stopień rehydracji pietruszki korzeniowej suszonej metodą mikrofalowo-podciśnieniową był dwukrotnie wyższy niż cząstek wysuszonych konwekcyjnie [63]. Podobna zależność dotyczyła plasterów marchwi suszonych metodą podciśnieniową z zastosowaniem mikrofal [34]. Również lepszymi właściwościami rekonstrycyjnymi cechował się susz uzyskany przy równoczesnym zastosowaniu promieniowania mikrofalowego i podczerwonego w trakcie suszenia marchwi [62]. Badania jabłek suszonych różnymi metodami wykazały, że największą zdolnością adsorpcji pary wodnej, jako miary właściwości higroskopijnych, charakteryzowały się susze mikrofalowo-konwekcyjne. Po 72 h przetrzymywania nad roztworem NaCl osiągnęły one zawartość wody równą $39,7 \text{ g H}_2\text{O} \cdot 100 \text{ g s.s.}^{-1}$, w porównaniu z suszami otrzymanymi metodą konwekcyjną oraz promiennikowo-konwekcyjną, w przypadku których równowagowa zawartość wody wyniosła odpowiednio 29,8 oraz $32,7 \text{ g H}_2\text{O} \cdot 100 \text{ g s.s.}^{-1}$. Były to wartości różnicujące susze w sposób statystycznie istotny. Największa ilość zaadsorbowanej pary wodnej jednoznacznie wiązała się z najmniejszym skurczem suszy (rys. 2) [45].



Rys. 2. Kinetyka adsorpcji pary wodnej przez jabłka suszone różnymi metodami: konwekcyjną (CD), mikrofalowo-konwekcyjną (MCD) i promiennikowo-konwekcyjną (IRCD).

Fig. 2. Kinetics of water adsorption by apples dried using different methods of drying: convective (CD), microwave-convective (MCD) and infrared-convective (IRCD).

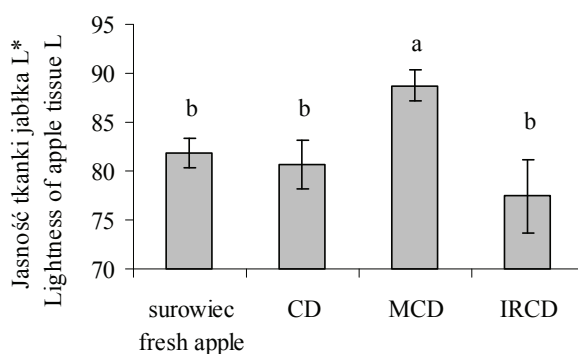
Źródło: / Source: [45]

Stopień odtwarzalności uzależniony jest również od zastosowanych parametrów procesowych [43, 63]. Przykładowo, najlepszą odtwarzalnością charakteryzowały się liście kolendry suszone mikrofalowo przy zastosowaniu mocy 180 W, natomiast gdy moc zwiększono do 900 W ziola w mniejszym stopniu chłonęły wodę [55]. Z kolei, Therdthai i Zhou [65] zaobserwowali odwrotną zależność, jednak badaną przez nich miętę suszono mikrofalowo-podciśnieniowo przy zastosowaniu większej mocy mikrofal, w zakresie 1600 - 2240 W.

Barwa suszonych produktów

Barwa suszonego produktu wpływa na jego pozytywny odbiór przez konsumenta. Badania nad wykorzystaniem mikrofal podczas procesu suszenia wskazują, że również ten wyróżnik jest lepiej oceniany. Podczas suszenia konwekcyjnego z zastosowaniem mikrofal zazwyczaj uzyskuje się produkt o barwie w większym stopniu zbliżonej do surowca nieprzetworzonego niż podczas suszenia konwekcyjnego [40, 67], a zastosowana moc mikrofal w niektórych przypadkach nie różnicuje barwy produktu, np. suszonej pietruszki naciowej [59], kolendry [55] czy owoców longan [67]. W wyniku suszenia mikrofalowo-konwekcyjnego czosnku [58] i jabłek [53] uzyskano jaśniejszy susz, w porównaniu z suszeniem tradycyjnym w temperaturze 70 °C. W przypadku suszu pomarańczy [52], dyni [4], szpinaku [5] i liści pokrzywy [3] również uzyskano lepsze zachowanie współczynników barwy, stosując suszenie konwekcyjne z wykorzystaniem mikrofal. Mniejszą zmianą barwy charakteryzowały się jabłka su-

szone mikrofalowo-konwekcyjnie niż susz uzyskany przy wykorzystaniu metody konwekcyjnej oraz promieniowania podczerwonego (rys. 3) [53]. Marchew suszona mikrofalowo [60] oraz mikrofalowo z wykorzystaniem lamp halogenowych [62] cechowała się lepszym zachowaniem barwy niż suszona konwekcyjnie. Barwa produktu zostaje jeszcze lepiej zachowana, gdy suszenie mikrofalowe odbywa się pod obniżonym ciśnieniem. Suszenie mikrofalowo-podciśnieniowe skutkowało uzyskaniem suszu z marchwi [34] i bananów [17] o barwie, smaku, aromacie i kształcie nie różniącym się od suszu sublimacyjnego.



Rys. 3. Zmiany jasności tkanki jabłka suszonego różnymi metodami: konwekcyjną (CD), mikrofalowo-konwekcyjną (MCD) i promiennikowo-konwekcyjną (IRCD).

Fig. 3. Changes in tissue brightness of apples dried using different methods: convective (CD), microwave-convective (MCD) and infrared-convective (IRCD).

Źródło: / Source: [53]

Zastosowanie mikrofal w sposób impulsowy również wpływa pozytywnie na zachowanie barwy produktów. Krótsze impulsy mikrofal wpływają na szybsze odparowanie wilgoci, natomiast dłuższe – na wzrost temperatury produktu, czego wynikiem jest pogorszenie jakości uzyskanego suszu [12]. Podobnie wykorzystanie podczas suszenia kontrolowanej temperatury, poprzez zastosowanie mikrofal o różnej mocy, pozytywnie wpływa na ogólny wygląd i barwę suszonego jabłka [33].

Wpływ parametrów suszenia mikrofalowego na barwę materiału zależy w dużym stopniu od charakterystyki surowca. Susz uzyskany przy mocy mikrofal 350 W charakteryzował się barwą bardziej zbliżoną do świeżej dyni, w porównaniu z barwą suszu otrzymanego przy mocy 160 W [4]. Natomiast barwa szpinaku suszonego przy mocy 500 - 750 W była najbardziej zbliżona do barwy surowca świeżego, w porównaniu z doświadczeniami prowadzonymi przy mocy mikrofal: 90, 160, 350, 850 i 1000 W [5]. Większe zmiany przy zastosowaniu mniejszej mocy mikrofal można wyjaśnić krótszym czasem procesu, z kolei wyższa moc mikrofal może podwyższać temperaturę materiału niekorzystnie wpływając na barwę otrzymanego suszu.

Aromat i smak

Związki aromatyczne, ze względu na dużą lotność, są szczególnie wrażliwe na działanie podwyższonej temperatury. Degradacja substancji zapachowych jest również związana z dostępem tlenu w trakcie suszenia, a więc utlenianiem związków zapachowych. Suszenie mikrofalowe ogranicza zmiany ilościowe oraz jakościowe aromatu w produkcie ze względu na zmniejszenie czasu ekspozycji na wysoką temperaturę. W przypadku suszenia z zastosowaniem mikrofal utrata składników lotnych jest mniejsza niż podczas tradycyjnego suszenia konwekcyjnego [9]. Np. suszenie mikrofalowe liści laurowych nie różnicowało pod względem statystycznym zawartości związków zapachowych w odniesieniu do świeżych ziół, jak również nie wpłynęło na zmianę składu jakościowego olejku eterycznego, za wyjątkiem borneolu, który nie był obecny w świeżym surowcu, ale powstawał w trakcie suszenia. Oznacza to, że w wyniku działania wysokiej temperatury dochodzi do zmian konformacyjnych niektórych składników olejków eterycznych, prowadzących do powstania nowych związków aromatycznych [57]. W porównaniu z suszeniem konwekcyjnym również smak surowców suszonych przy wykorzystaniu mikrofal jest bardziej akceptowany, co potwierdzono w odniesieniu do czosnku [58] oraz bananów [44].

W trakcie suszenia zmianie ulega skład ilościowy, ale również jakościowy związków zapachowych. Szczególne znaczenia ma dostęp tlenu, który sprzyja utlenianiu związków odpowiedzialnych za aromat produktów, co prowadzi do zmiany charakterystyki zapachowej i powstawanie nienaturalnych, obcych zapachów [16]. Dlatego też w trakcie suszenia mikrofalowego ważne jest również dodatkowe obniżenie ciśnienia, ograniczające procesy utleniania [19, 24, 64]. Jak donoszą Jałoszyński i wsp. [25], w pietruszce naciowej degradacja limonenu wyniosła prawie 50 %, gdy liście suszono metodą konwekcyjną. Natomiast przy suszeniu mikrofalowo-podciśnieniowym limonen ulegał degradacji na poziomie 30 %, co mogło być związane z nagrzewaniem mikrofalowym oraz ograniczonym dostępem tlenu w trakcie procesu.

Dobór optymalnych warunków procesowych także odgrywa istotną rolę w kształtowaniu jakości sensorycznej produktów suszonych mikrofalowo. Jak podają Calín-Sánchez i wsp. [10], w trakcie suszenia mikrofalowo-podciśnieniowego preferowane jest zastosowanie niskiej mocy mikrofal oraz utrzymanie niskiej próżni ze względu na wysoką zachowalność związków aromatycznych oraz wysoką jakość sensoryczną liści rozmarynu. Najlepszą retencją olejków zapachowych charakteryzował się materiał otrzymany przy mocy mikrofal 240 W oraz zachowaniu całkowitej próżni (0 kPa) – zawartość całkowita olejku wyniosła 18,6 g/kg s.s. wobec 27,2 g/kg s.s. w świeżych liściach.

Wysoka retencja aromatu jest jedną z ważnych zalet suszenia mikrofalowego. Jak się okazuje, jeszcze lepsze zachowanie związków zapachowych można osiągnąć, wykorzystując metodę mikrofalowo-podciśnieniową w końcowym etapie suszenia kon-

wekcyjnego (dosuszanie). Bardzo dobre rezultaty, w porównaniu z suszami konwekcyjnym i mikrofalowo-podciśnieniowym, osiągnięto w przypadku oregano [19] oraz rozmarynu [64]. Przykładowo, degradacja olejku rozmarynowego w trakcie suszenia konwekcyjnego i mikrofalowo-podciśnieniowego wyniosła odpowiednio 35 i 54 %, natomiast suszenie dwustopniowe zmniejszyło straty olejku do 26 % [64].

Witaminy i antyoksydanty

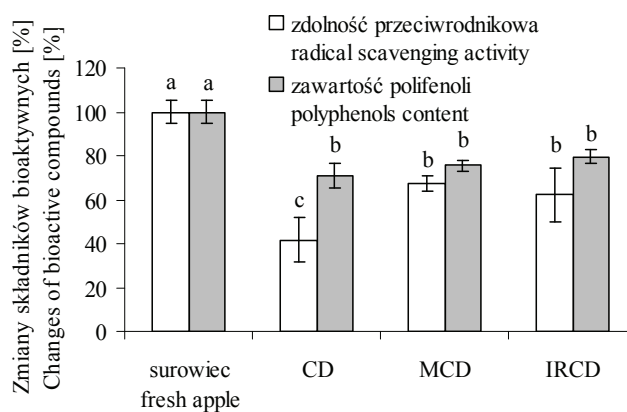
Niekorzystnym zjawiskiem występującym podczas suszenia jest utrata witamin. Owoce i warzywa są głównym źródłem tych cennych substancji w diecie człowieka. Witaminy rozpuszczalne w wodzie są szczególnie wrażliwe na działanie podwyższonej temperatury, natomiast witaminy rozpuszczalne w tłuszczach ulegają najczęściej mniejszej degradacji, następującej w wyniku utleniania zachodzącego w trakcie suszenia. Konsekwencją usuwania wody z owoców jest zatem zmniejszenie zawartości witamin rozpuszczalnych w wodzie, zwłaszcza witaminy C, ale także witamin rozpuszczalnych w tłuszczach, co skutkuje zmniejszeniem wartości odżywczej i sensorycznej owoców. Kwas askorbinowy jest również substratem reakcji brązowienia, co ma szczególne znaczenie podczas suszenia surowców bogatych w ten związek [37]. Straty kwasu L-askorbinowego w porzeczce suszonej w temp. 60 °C wynosiły aż 71 % [36]. Z kolei suszenie kapusty w temp. 65 °C spowodowało zmniejszenie zawartości witaminy C o około 42 % [35].

Mikrofale, dzięki ogrzewaniu produktu w całej objętości, przyczyniają się do zdecydowanego skrócenia czasu suszenia, a zatem możliwe jest ograniczenie strat termolabilnych witamin. Zawartość witaminy C w suszonych morelach, uzyskanych przy zastosowaniu suszarki mikrofalowej, była większa w porównaniu z morelami suszonymi w podcierwieni [26]. Natomiast dodatkowe obniżenie ciśnienia w trakcie suszenia mikrofalowego może ograniczyć utlenianie witamin, co zaobserwowano w przypadku plastrów marchwi suszonych mikrofalowo-podciśnieniowo, charakteryzujących się większą zawartością β -karotenu i witaminy C [34]. Według Cui i wsp. [14] w suszu konwekcyjnym marchwi nastąpiły około 30-procentowe straty zawartości karotenów, natomiast susze mikrofalowe otrzymane pod zmniejszonym ciśnieniem wykazywały niewielkie różnice w stosunku do suszy sublimacyjnych. Ponadto, zastosowanie przed suszeniem mikrofalowo-podciśnieniowym odwadniania osmotycznego wpływało korzystnie na wyższą jakość produktu, ocenianą na podstawie barwy, smaku i zawartości witaminy C [18].

Zastosowana moc mikrofal również różnicuje stopień degradacji witamin. Zwiększenie mocy pozwoliło na zachowanie większej ilości kwasu askorbinowego w szpinaku [5] oraz pokrzywie [2]. Jak podają Alibas i wsp. [5], przy mocy mikrofal w zakresie 500 - 1000 W zawartość kwasu askorbinowego w suszonym szpinaku zmniejszała się jedynie o około 15 %, a przy mocy 90 - 350 W – o około połowę, co

wynikało z dłuższego czasu procesu. Ponadto ochronnie na witaminę C wpływa niższa temperatura powietrza w trakcie suszenia mikrofalowo-konwekcyjnego. Degradacja kwasu askorbinowego w suszonej pokrzywie wyniosła jedynie 2 %, gdy zastosowano najwyższą moc mikrofal (500 W) oraz najniższą temp. powietrza (50 °C). Natomiast w wyniku zwiększenia temp. do 100 °C przy zastosowaniu mocy mikrofal 500 i 160 W straty kwasu askorbinowego wyniosły odpowiednio 7 i 10 %, co w dalszym ciągu pozwala uzyskać susz o niezmiennie dużej zawartości witaminy C, w porównaniu z jej retencją na poziomie 70 - 73 % w suszach otrzymanych techniką konwekcyjną [2].

Przetwarzanie żywności, a następnie jej przechowywanie, ma istotny wpływ na częściową lub całkowitą utratę właściwości przeciwutleniających produktów pochodzenia roślinnego [49]. Przyspieszenie procesu suszenia przez zastosowanie mikrofal wpływa na zmniejszenie negatywnych skutków przemian biochemicznych ze względu na krótszy czas kontaktu materiału z tlenem z powietrza [28]. Badania zmian aktywności przeciwrodnikowej suszonej tkanki roślinnej są interesujące z uwagi na niejednoznaczny charakter tych zmian. Z jednej strony wysoka temperatura i odwodnienie prowadzą do degradacji związków wykazujących właściwości przeciwrodnikowe. Z drugiej zaś, powstające w czasie suszenia produkty reakcji enzymatycznego i nieenzymatycznego brązowienia mogą mieć charakter przeciwutleniaczy [38]. Najczęściej suszenie z wykorzystaniem mikrofal ogranicza straty polifenoli oraz powoduje zmniejszenie aktywności przeciwrodnikowej, w porównaniu z suszem konwekcyjnym.



Rys. 4. Zmiany zdolności przeciwrodnikowej i zawartości polifenoli w jabłku suszonym konwekcyjnie (CD), mikrofalowo-konwekcyjnie (MCD) i promiennikowo-konwekcyjnie (IRCD).

Fig. 4. Changes in antioxidant capacity and content of polyphenols in apples dried using convective (CD), microwave-convective (MCD) and infrared-convective (IRCD) method.

Źródło: / Source: [53]

W przypadku jabłka suszonego trzema metodami: konwekcyjną, promiennikowo-konwekcyjną i mikrofalowo-konwekcyjną zdolność wygaszania wolnych rodników

uległa zmniejszeniu, osiągając odpowiednio: 42, 62 i 67 % wartości charakteryzującej surowiec przed suszeniem. Podobnie zawartość polifenoli uległa redukcji o 29 % w przypadku suszu konwekcyjnego, o 24 % – w suszu promiennikowo-konwekcyjnym i o 20 % – w suszu mikrofalowo-konwekcyjnym (rys. 4) [53]. Z kolei podczas suszenia mikrofalowego mięty pieprzowej stwierdzono wzrost stężenia związków fenolowych o 45 % [7], natomiast efektem suszenia mikrofalowo-podciśnieniowego oregano była degradacja polifenoli na poziomie przekraczającym 70 %, jednak była ona niższa niż w przypadku materiału otrzymanego techniką konwekcyjną. Dodatkowo wyższą retencję polifenoli uzyskano, gdy zwiększono moc mikrofal (w zakresie 240 - 480 W) [24].

Podsumowanie

Mikrofale łatwo przenikają przez produkt, ogrzewając go w całej masie, a nie głównie na powierzchni, jak to ma miejsce przy suszeniu konwekcyjnym za pomocą gorącego powietrza [21, 32]. Ta metoda usuwania wody pozwala na uzyskanie wysokiej jakości suszonego materiału, w porównaniu z konwencjonalnymi metodami. Ponadto zaletami suszenia mikrofalowego są intensywność wymiany masy i ciepła oraz wzrost szybkości suszenia, bez wzrostu temperatury powierzchni produktu, dostarczanie energii bezpośrednio do wnętrza materiału i wysoka jakość suszu. Należy jednak mieć na uwadze, że niezbędna jest optymalizacja suszenia wspomaganego promieniowaniem mikrofalowym w celu dobrania takich parametrów procesu, które gwarantują uzyskanie różnych suszonych produktów, tj. zboża, owoców, warzyw, ziół, przekąsek, produktów mlecznych itp., spełniających zarówno wysokie wymagania konsumentów, jak i będących wartościowym surowcem dla różnych branż przemysłu spożywczego.

Mimo niewątpliwych zalet suszenia mikrofalowego, jego zastosowanie przemysłowe jest niezbyt szerokie. Wynika to przede wszystkim z wysokich kosztów inwestycyjnych oraz niezbyt dużej sprawności energetycznej, w porównaniu z technologią tradycyjną [11]. Dodatkowo ograniczenia zastosowania wynikają z faktu, że w czasie procesu suszenia mikrofalami może następować niejednorodne i nierównomierne ogrzewanie materiału, co w konsekwencji może prowadzić do nieodwracalnych zmian materiału. Obecnie suszenie mikrofalowe wykorzystuje się w przemyśle przede wszystkim do suszenia makaronów, a także do dosuszania herbatników po pieczeniu, do usuwania wody z cebuli, wodorostów i chipsów [44, 56]. Jednak można mieć nadzieję, że postęp techniczny i technologiczny pozwoli na rozwiązanie problemów związanych ze stosowaniem mikrofal, spowoduje zmniejszenie kosztów inwestycyjnych i kosztów energii, w związku z tym pozwoli na produkcję wysokowartościowej suszonej żywności.

Literatura

- [1] Ahmed J., Ramaswamy H.S.: Microwave Pasteurization and Sterilization of Foods. In: Handbook of Food Preservation, Second Edition (ed. M.S. Rahman), CRC Press LLC, London 2007, pp. 691-711.
- [2] Alibas I.: Determination of drying parameters, ascorbic acid contents and color characteristics of nettle leaves during microwave-, air- and combined microwave-air drying. J. Food Process Eng., 2010, **33**, 213-233.
- [3] Alibas I.: Energy consumption and colour characteristics of nettle leaves during microwave, vacuum and convective drying. Biosystems Eng., 2007, **96** (4), 495-502.
- [4] Alibas I.: Microwave, air and combined microwave-air-drying parameters of pumpkin slices. LWT – Food Sci. Technol., 2007, **40** (8), 1445-1451.
- [5] Alibas I.O., Akbudak B., Akbudak N.: Microwave drying characteristics of spinach. J. Food Eng., 2007, **78** (2), 557-583.
- [6] Andrés A., Bilbao C., Fito P.: Drying kinetics of apple cylinders under combined hot air-microwave dehydration. J. Food Eng., 2004, **63**, 1, 71-78.
- [7] Arslan D., Özcan M.M., Mengeş H.O.: Evaluation of drying methods with respect to drying parameters, some nutritional and colour characteristics of peppermint (*Mentha x piperita* L.). Energ. Convers. Manag., 2010, **51**, 2769-2775.
- [8] Bakier S.: Ocena wpływu obróbki wstępnej na efektywność suszenia jabłek. Inż. Rol., 2002, **9**, 9-15.
- [9] Brewer M.: Microwave processing, nutritional and sensory quality. The Microwave Processing of Foods (eds. H. Schubert and M. Regier), Woodhead Publishing Ltd, Cambridge, 2005, chapter 5. (<http://www.foodnetbase.com>).
- [10] Calín-Sánchez Á., Szumny A., Figiel A., Jałoszyński K., Adamski M., Carbonell-Barrachina Á.A.: Effects of vacuum level and microwave power on rosemary volatile composition during vacuum-microwave drying. J. Food Eng., 2011, **103**, 219-227.
- [11] Chou S.K., Chua K.J.: New hybrid drying technologies for heat sensitive foodstuffs. Trends Food Sci. Technol., 2001, **12** (10), 359-369.
- [12] Chua K.J., Chou S.K.: Low-cost drying methods for developing countries. Trends Food Sci. Technol., 2003, **14**, 12, 519-528.
- [13] Cui Z., Xu S., Sun D.: Dehydration of garlic slices by combined microwave-vacuum and air drying. Drying Technol., 2003, **21** (7), 1173-1184.
- [14] Cui Z.W., Xu S.Y., Sun D.W.: Effect of Microwave-Vacuum Drying on the Carotenoids Retention of Carrot Slices and Chlorophyll Retention of Chinese Chive Leaves. Drying Technol., 2004, **22** (3), 563-575.
- [15] Deng Y., Zhao Y.: Effect of pulsed vacuum and ultrasound osmopretreatments on glass transition temperature, texture, microstructure and calcium penetration of dried apples (Fuji). LWT – Food Sci. Technol., 2008, **41**, 1575-1585.
- [16] Diaz-Maroto M.C., Pérez-Coello M.S., Cabezudo M.D.: Effect of different drying methods on the volatile components of parsley (*Petroselinum crispum* L.). Eur. Food Res. Technol., 2002, **215** (3), 227-230.
- [17] Drouzas A.E., Schubert H.: Microwave application in vacuum drying fruits. J. Food Eng., 1996, **28**, 203-209.
- [18] Erle U., Schubert H.: Combined osmotic and microwave-vacuum dehydration of apples and strawberries. J. Food Eng., 2001, **49**, 193-199.
- [19] Figiel A., Szumny A., Gutiérrez-Ortiz A., Carbonell-Barrachina Á.A.: Composition of oregano essential oil (*Origanum vulgare*) as affected by drying method. J. Food Eng., 2010, **98**, 240-247.

- [20] Funebo T., Ahrné L., Kidman S., Langton M., Skjöldebrand C.: Microwave heat treatment of apple before air dehydration – effects on physical properties and microstructure. *J. Food Eng.*, 2000, **46**, 173-182.
- [21] Giese J.: Advances in microwave food processing. *J. Food Technol.*, 1992, **46**, 118-123.
- [22] Jakubczyk E., Lewicki P.P.: Wpływ metody suszenia na właściwości mechaniczne i strukturę suszów jabłkowych. *Zesz. Prob. Post. Nauk Rol.*, 2002, **486**, 435-440.
- [23] Jakubczyk E., Sionek U.: Właściwości mechaniczne suszów jabłkowych o średniej zawartości wody. *Inż. Rol.*, 2006, **7 (82)**, 215-221.
- [24] Jałoszyński K., Figiel A., Wojdyło A.: Drying kinetics and antioxidant activity of oregano. *Acta Agrophysica*, 2008, **11 (1)**, 81-90.
- [25] Jałoszyński K., Szarycz M., Jarosz B.: Wpływ suszenia konwekcyjnego i mikrofalowo-podciśnieniowego na zachowanie związków aromatycznych w pietruszce naciowej. *Inż. Rol.*, 2006, **12 (87)**, 209-215.
- [26] Karata F., Kamişlı F.: Variations of vitamins (A, C and E) and MDA in apricots dried in IR and microwave. *J. Food Eng.*, 2007, **78**, 662-668.
- [27] Khraisheh M.A.M., McMinn W.A.M., Magee T.R.A.: Quality and structural changes in starchy foods during microwave and convective drying. *J. Food Eng.*, 2004, **37**, 497-503.
- [28] Kramkowski R.: Ocena jakości suszu z produktów spożywczych. *Maszyny Przetwórstwa Płodów Rolnych*, Pleszew, 2001, ss. 111-112.
- [29] Lewicki P.P.: Water as the determinant of food engineering properties. A review. *J. Food Eng.*, 2004, **61 (4)**, 483-495.
- [30] Lewicki P.P.: Design of hot air drying for better foods. *Trends Food Sci. Technol.*, 2006, **17 (4)**, 153-163.
- [31] Lewicki P.P., Pawlak G.: Effect of drying on moisture of plant tissue. *Drying Technol.*, 2003, **21 (4)**, 657-683.
- [32] Lewicki P.P., Witrowa-Rajchert D., Sawczuk A.: Suszenie konwekcyjne jabłek i marchwi wspomagane mikrofalami. *Żywność. Nauka. Technologia. Jakość*, 2001, **2 (27)**, 28-42.
- [33] Li Z., Vijaya Raghavan G.S., Wang N.: Apple volatiles monitoring and control in microwave drying. *LWT – Food Sci. Technol.*, 2010, **43**, 684-689.
- [34] Lin T.M., Durance T.D., Scaman C.H.: Characterization of vacuum microwave, air and freeze dried carrot slices. *Food Res. Int.*, 1998, **31 (2)**, 111-114.
- [35] Lis T., Lisowa H.: Wpływ warunków suszenia warzyw liściastych na przebieg procesu i cechy jakościowe suszu. *Zesz. Prob. Post. Nauk Rol.*, 1998, **454**, 431-460.
- [36] Lis H., Rudy S.: Wpływ sposobu blanszowania czarnej porzeczki na cechy jakościowe suszu i czas konwekcyjnego suszenia. *Probl. Inż. Rol.*, 2000, **4**, 75-82.
- [37] Maniak B., Wójcik W., Dobrzański Jr. B., Rybczyński R.: Powłoki chitozanowe w produkcji suszu jabłkowego. Właściwości fizyczne suszonych surowców i produktów spożywczych, Komitet Agrofizyki PAN, Wyd. Nauk. FRNA, 2007, Lublin 2007, ss. 15-33.
- [38] Manzocco L., Calligaris S., Mastrocola D., Nicoli M.C., Lericci C.R.: Review of non-enzymatic browning and antioxidant capacity in processed foods. *Trends Food Sci. Technol.*, 2001, **11**, 340-346.
- [39] Marzec A., Pasik S.: Wpływ metody suszenia na właściwości mechaniczne i akustyczne suszy marchwiowych. *Inż. Rol.*, 2008, **1 (99)**, 291-296.
- [40] Maskan M.: Microwave/air and microwave finish drying of banana. *J. Food Eng.*, 2000, **44**, 71-78.
- [41] Maskan M.: Drying, shrinkage and rehydration characteristics of kiwifruits during hot air and microwave drying. *J. Food Eng.*, 2001, **48**, 177-182.
- [42] Mayor L., Sereno A.M.: Modelling shrinkage during convective drying of food materials: a review. *J. Food Eng.*, 2004, **61**, 373-386.

- [43] McMinn W., Magee T.: Quality and physical structure of a dehydrated starch-based system. *Drying Technol.*, 1997, **15** (6/8), 1961-1972.
- [44] Nijhuis H.H., Torringa H.M., Muresan S., Yuksel D., Leguijt C., Kloek W.: Approaches to improving the quality of dried fruit and vegetables. *Trends Food Sci. Technol.*, 1998, **9**, 13-20.
- [45] Nowacka M., Witrowa-Rajchert D.: Zmiany właściwości higroskopijnych suszy jabłkowych w czasie przechowywania. *Acta Agrophysica*, 2010, **15** (2), 359-370.
- [46] Orsat V., Raghavan V., Meda V.: Microwave technology for food processing: an overview. In: *The microwave processing of foods* (eds. H. Schubert, M. Regier). Woodhead Publishing Ltd., Cambridge 2005, pp. 105-118.
- [47] Parosa R.: Mikrofałe w przemyśle spożywczym. *Przem. Spoż.*, 2007, **1** (61), 15-19.
- [48] Pozar D.M.: *Microwave Engineering*, Second Edition. John Wiley & Sons, Inc., New York 1998.
- [49] Prabhajan D.G., Ramaswamy H.S., Vijaya Raghavan G.S.: Microwave-assisted Convective Air Drying of Thin Layer Carrots. *J. Food Eng.*, 1995, **25**, 283-293.
- [50] Prothon F., Ahrné L., Sjöholm, I.: Mechanisms and prevention of plant tissue collapse during dehydration: a critical review. *Crit. Rev. Food Sci. Nutr.*, 2003, **43** (4), 447-479.
- [51] Regier M., Schubert H.: Microwave processing. In: *Thermal technologies in food processing* (ed. P. Richardson). CRC Press, New York 2001, pp. 178-207.
- [52] Ruiz Díaz G., Martínez-Monzó J., Barat J.M., Chiralt A., Fito P.: Applying microwaves in drying of orange slices. XII International Drying Symposium, Proceedings of the 12th International Drying Symposium IDS2000 (eds. P. J. A. M. Kerkhof, W. J. Coumans, G. D. Mooiweer), The Netherlands, 2000, pp. 239-241.
- [53] Rząca M.: *Studia nad wykorzystaniem promieniowania podczerwonego i mikrofalowego do suszenia jabłek*. Praca doktorska, SGGW, Warszawa 2009.
- [54] Sacilik K., Elicin A.K.: The thin layer drying characteristics of organic apple slices. *J. Food Eng.*, 2006, **73** (3), 281-289.
- [55] Sarimeseli A.: Microwave drying characteristics of coriander (*Coriandrum sativum* L.) leaves. *Energ. Convers. Manag.*, 2011, **52**, 1449-1453.
- [56] Schiffmann R.F.: Microwave and Dielectric Drying. In: *Handbook of Industrial Drying* (ed. A.S. Mujumdar), CRC, New York 2006, pp. 286-304.
- [57] Sellami I. H., Wannas W.A., Bettaieb I., Berrima S., Chahed T., Marzouk B., Limam F.: Qualitative and quantitative changes in the essential oil of *Laurus nobilis* L. leaves as affected by different drying methods. *Food Chem.*, 2011, **126**, 691-697.
- [58] Sharma G.P., Prasad S.: Drying of garlic (*Pallium sativum*) cloves by microwave-hot air combination. *J. Food Eng.*, 2001, **50**, 99-105.
- [59] Soysal Y.: Microwave drying characteristics of parsley. *Biosystems Eng.*, 2004, **89** (2), 167-173.
- [60] Stanisławski J.: Drying of diced carrot in a combined microwave fluidized bed dryer. *Mat. X Sympozjum Suszarnictwa*, CD, 2003.
- [61] Strumiłło C.: *Podstawy teorii i techniki suszenia*. Inżynieria chemiczna. WNT, Warszawa 1983.
- [62] Sumnu G., Turabi E., Oztop M.: Drying of carrots in microwave and halogen lamp-microwave combination movens, *LWT – Food Sci. Technol.*, 2005, **38**, 549-553.
- [63] Szarycz M., Kamiński E., Jałoszyński K., Szponarska A.: Analiza mikrofalowego suszenia pietruszki w warunkach obniżonego ciśnienia. *Cz. II. Skurcz suszarniczy i rehydracja suszu*. *Technica Agraria*, 2003, **2** (2), 29-36.
- [64] Szumny A., Figiel A., Gutiérrez-Ortiz A., Carbonell-Barrachina Á.A.: Composition of rosemary essential oil (*Rosmarinus officinalis*) as affected by drying method. *J. Food Eng.*, 2010, **97**, 253-260.
- [65] 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.

- [66] Torringa E., Esveld E., Scheewe I., Berg R., Bartels P.: Osmotic dehydration as a pre-treatment before combined microwave-hot-air drying of mushrooms. *J. Food Eng.*, 2001, **49**, 185-191.
- [67] Varith J., Dijknarakkul P., Achariyaviriya A., Achariyaviriya S.: Combined microwave-hot air drying of peeled longan. *J. Food Eng.*, 2007, **81 (2)**, 459-468.
- [68] Vega-Mercado H., Angora-Nieto M.M., Bartosa-Cánovas G.V.: Advanced in dehydration of food. *J. Food Eng.*, 2001, **49**, 271-289.
- [69] Witrowa-Rajchert D.: Rehydracja jako wskaźnik zachodzących w tkance roślinnej w czasie suszenia. Fundacja Rozwój SGGW, Warszawa 1999, ss. 1-71.
- [70] Yousif A.N., Scaman C.H., Durance T.D., Girard B.: Flavor volatiles and physical properties of vacuum-microwave- and air-dried sweet basil (*Ocimum basilicum* L.). *J. Agric. Food. Chem.*, 1999, **47**, 4777-4781.

PHYSICAL AND CHEMICAL PROPERTIES OF MICROWAVE DRIED FOOD PRODUCTS

S u m m a r y

In food industry, the convective technique is a commonly applied drying method. However, in the recent years, this drying technique has been often replaced by microwave drying. Compared to the conventional methods, this method of removing water makes it possible to produce a high quality product, owing, mainly, to the reduced duration of the process, which in turn reduces the oxidation of the material, as well as owing to the uniform heating of the materials. At the same time, the microwave drying has a beneficial effect on shrinkage, porosity, mechanical properties, reconstitution, preservation of colour and aroma, as well as on preservation of biologically active ingredients. However, it is necessary to keep in mind that the optimization of the microwave-assisted drying process is indispensable for the purpose of selecting such process parameters, which guarantee that various dried products manufactured are meeting high requirements of consumers and that they are a valuable raw material for applications in different sectors of food industry.

Key words: food products, microwave drying, quality of dried material ☒