

## WPLYW MOCY MIKROFAL NA JAKOŚĆ SUSZU JABŁKOWEGO

*Agata Marzec, Monika Zadrożna*

Katedra Inżynierii Żywności i Organizacji Produkcji, Wydział Nauk o Żywności, SGGW  
ul. Nowoursynowska 159C, 02-786 Warszawa  
e-mail: [agata\\_marzec@sggw.pl](mailto:agata_marzec@sggw.pl)

**Streszczenie.** Celem pracy było określenie wpływu mocy mikrofal podczas suszenia mikrofalowo-konwekcyjnego na jakość suszu jabłkowego. Suszenie konwekcyjno-mikrofalowe plasterków jabłek odmiany Idared przeprowadzono w laboratoryjnej suszarce w temperaturze 40°C, przy mocy mikrofal: 100, 150, 200, 250, 300 W. Zakres pracy obejmował wyznaczenie instrumentalnie (mechanicznych, akustycznych) i sensorycznie wyróżników tekstury oraz analizę korelacji między nimi. Uzyskane wyniki wskazują, że jakość suszu zależy od mocy mikrofal. Zwiększenie mocy mikrofal powodowało wzrost wartości wyróżników tekstury mechanicznych i akustycznych. Najlepiej pod względem sensorycznym postrzegane były jabłka suszone przy mocy mikrofal 200W. Wystąpiły wysokie korelacje między parametrami jakości suszu wyznaczonymi instrumentalnie i sensorycznie. Z przeprowadzonych badań wynika, że do suszenia jabłek Idared, w temperaturze 40°C należy stosować moc mikrofal 200 W.

**Słowa kluczowe:** suszenie konwekcyjno-mikrofalowe, jabłka, tekstura, właściwości mechaniczne, akustyczne i sensoryczne

### WSTĘP

Najczęściej stosowaną metodą suszenia owoców jest suszenie konwekcyjne. Wadą tej metody jest stosunkowo długi czas suszenia oraz stosowanie wysokich temperatur. Prowadzi to do daleko idących zmian jakościowych produktu. Poszukuje się, więc nowych technologii, które byłyby bardziej efektywne oraz umożliwiały otrzymanie produktu o wysokiej jakości przy minimalnych kosztach i zapewnieniu maksymalnej wydajności procesu. Alternatywną metodą wydaje się tu być suszenie z zastosowaniem energii mikrofalowej, które może przynieść wiele korzyści np. poprawę jakości suszu. Skrócenie czasu suszenia oraz nagrzewanie produktu w całej objętości w porównaniu z suszeniem tradycyjnym powoduje lepsze zachowanie składników aromatycznych, substancji czynnych biologicznie

oraz poprawę cech organoleptycznych (Nijhuis i in. 1998). Stosowanie generatorów mikrofal o precyzyjnie regulowanej mocy wejściowej i możliwość zastosowania czujników mierzących np. temperaturę produktu umożliwiają precyzyjną kontrolę procesu technologicznego (Parosa 2007). Sterowanie mocą mikrofal, oraz kontrolowanie rozkładu temperatury podczas suszenia pozwala na uniknięcie destrukcji termicznej suszonego materiału, co jest jedną z najważniejszych zalet zastosowania mikrofal w suszarnictwie (Szarycz i in. 2002a). Ponadto wykazano, że rozkład temperatury w suszonym konwekcyjnie materiale był ściśle związany z rozkładem ciśnienia wewnątrz komórek oraz w przestrzeniach międzykomórkowych. Ciśnienie wewnętrzne odpowiedzialne było za powstawanie tzw. skurczu suszarniczego, co objawiło się powstaniem twardych struktur obniżających jakość produktu. Natomiast stosowanie mikrofal umożliwia sterowanie rozkładem ciśnień wewnątrz suszonego materiału, a co za tym idzie ograniczenie zmian w jego strukturze (Szarycz i in. 2002b).

W literaturze można znaleźć wiele przykładów na to, że zastosowanie ogrzewania mikrofalowego do suszenia materiałów roślinnych daje susz o korzystnych cechach. Badano wpływ metod suszenia: konwekcyjnej, mikrofalowej o mocy mikrofal 350, 490 i 700 W oraz mikrofalowo-konwekcyjnej na jakość suszonych plasterków banana o różnej grubości (Maskan 2000). Końcowa zawartość wody uzyskana w suszu mikrofalowym była niższa, a czas tego suszenia był 20-krotnie krótszy. Badania jednoznacznie dowodzą, że barwniki były najlepiej zachowane w porównaniu do świeżych bananów w metodzie kombinowanej. Sprawdzone również zdolność do rehydracji w uzyskanych suszach, najwięcej wody były w stanie pochłonąć banany suszone mikrofalowo-konwekcyjnie.

Podczas suszenia energią mikrofalową konieczny jest dobór odpowiednich parametrów suszenia. Nieumiejętne poprowadzenie procesu może doprowadzić do pogorszenia jakości produktu. Nierównomierne lub zbyt gwałtowne ogrzewanie może powodować miejscowe przypalanie materiału suszonego. Zachodzi, więc konieczność optymalizacji różnych technik suszenia z użyciem energii mikrofalowej dla poszczególnych materiałów w celu zapewnienia jak najlepszej wydajności procesu oraz uzyskania produktu końcowego o jak najwyższej jakości.

Jakość suszu tzn. barwa, zapach, smak a szczególnie tekstura mogą być oceniane różnymi metodami zarówno sensorycznymi jak i instrumentalnymi. Jednak analiza sensoryczna często jest niejednoznaczna. Wynika to z faktu, że przeciętny konsument nie umie precyzyjnie określić wyróżników tekstury, a poszczególne osoby w różnym stopniu i nasileniu odbierają odczucia teksturalne (Surówka 2002). Dlatego metody instrumentalne wykorzystuje się przy opracowywaniu i modernizowaniu produktów, a także porównywaniu produktu z wzorcem, określaniu wpływu składu i parametrów procesu na teksturę, podczas monitoringu

jakości i przewidywaniu akceptacji produktu przez konsumentów (Surmacka-Szcześniak 2002).

Celem pracy było określenie wpływu mocy mikrofal podczas suszenia mikrofalowo-konwekcyjnego na jakość suszu jabłkowego.

## MATERIAŁ I METODY

W jabłkach odmiany Idared drążono komorę nasienną i krojono je w plasterki o grubości 4 mm, po czym zanurzono w 1% roztworze kwasu cytrynowego. Suszenie plasterków jabłek przeprowadzono w laboratoryjnej suszarce mikrofalowo-konwekcyjnej umożliwiającej regulację i pomiar temperatury suszenia, mocy mikrofal i pomiar zmian masy. Suszenie wykonano w temperaturze 40°C, przy przepływie powietrza w komorze suszarniczej 1,7 m·s<sup>-1</sup> oraz różnej mocy mikrofal: 100, 150, 200, 250 i 300 W. Susze przechowywano przez 4 tygodnie w kontrolowanej atmosferze: wilgotności względnej powietrza 0% i temperaturze 25°C w celu wyrównania w nich aktywności wody.

Jakość uzyskanych suszy po przechowywaniu określono poprzez analizę mechanicznych, akustycznych i sensorycznych wyróżników tekstury.

Parametry mechaniczne wyznaczono na podstawie trójpunktowego testu łamania suszu, z prędkością 50 mm·min<sup>-1</sup> w maszynie wytrzymałościowej Zwick. Podczas łamania rejestrowano emisję akustyczną (EA) w zakresie częstotliwości 1-20 kHz. Analizowano wyróżniki tekstury mechaniczne: siłę i pracę łamania oraz akustyczne: amplitudę, liczbę zdarzeń emisji akustycznej, energię dźwięku. Wyznaczono współczynnik chrupkości  $\chi$  jako iloczyn liczby zdarzeń EA i pracy łamania (Marzec i in. 2007). Zmierzono gęstość pozorną w piknometrze helowym. Analizę sensoryczną: barwy, twardości, smaku, zapachu i ogólnej jakości suszu wykonano wg normy ISO/DIS 13299.2:1998 metodą punktową. Przeprowadzono analizę korelacji między wyróżnikami tekstury oznaczonymi instrumentalnie i sensorycznie. Analizę statystyczną wyników przeprowadzono w programie Statistica 8.

## WYNIKI I DYSKUSJA

### Właściwości mechaniczne

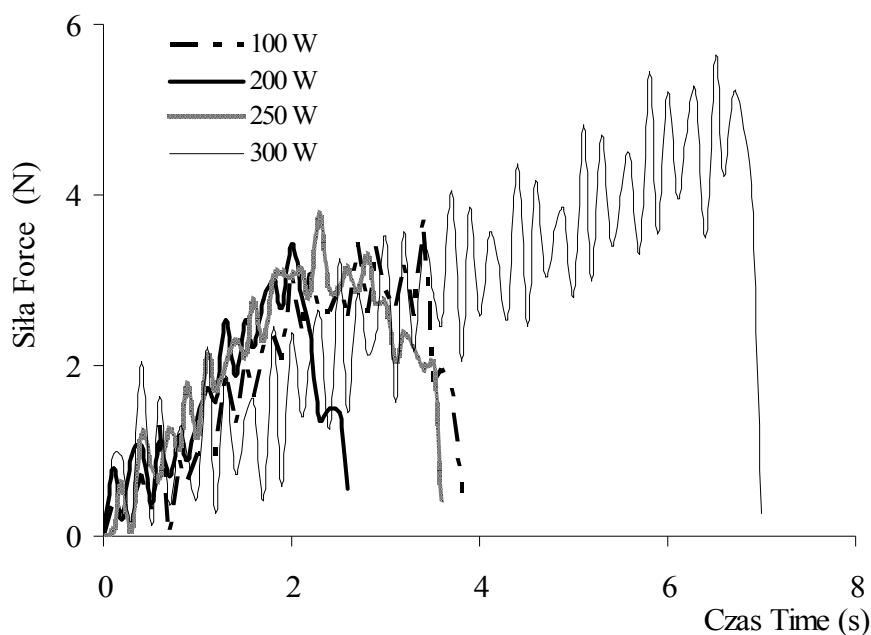
Krzywe łamania obrazują pękanie struktury materiału pod wpływem przyłożonej siły. Susze jabłkowe charakteryzowały się niską aktywnością wody (tab. 1), a więc krzywe mają przebieg i kształt charakterystyczny dla produktów kruchych/chrupkich (rys. 1). Na wszystkich wykresach można zaobserwować wiele

pików, co świadczy, że badane susze mają złożoną strukturę. Parametry suszenia nie wpływały istotnie na przebieg krzywych łamania.

**Tabela 1.** Mechaniczne wyróżniki tekstury suszy jabłkowych  
**Table 1.** Mechanical features of texture of dried apple

Moc mikrofal Microwave power (W)	Aktywność wody Water activity	Siła łamania Breaking force (N)	Praca łamania Breaking work (mJ)	Gęstość pozorna Apparent density (g·cm <sup>-3</sup> )
100	0,103	4,3 ± 0,7a	5,3 ± 1,2a	1150,1 ± 34,1a
150	0,102	3,6 ± 0,7a	3,8 ± 1,9b	1065,8 ± 50,2a
200	0,105	4,2 ± 1,5a	4,0 ± 1,1b	1097,7 ± 93,9a
250	0,117	4,2 ± 1,3a	4,1 ± 2,0b	878,1 ± 2,2b
300	0,133	5,4 ± 1,1b	11,9 ± 2,5c	732,4 ± 17,7c

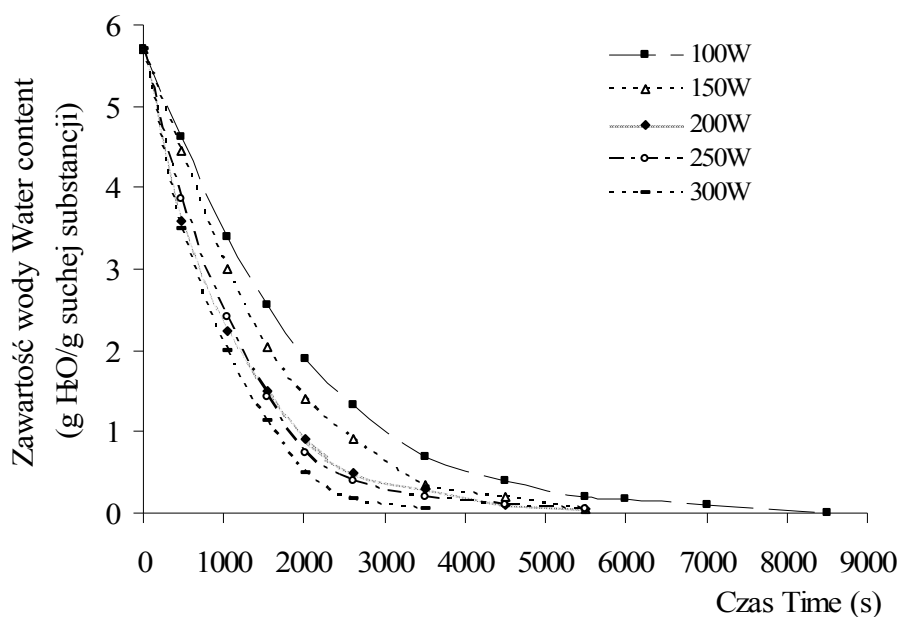
a, b, c – grupy jednorodne – homogeneous groups.



**Rys. 1.** Krzywe łamania jabłek suszonych konwekcyjno-mikrofalowo z różną mocą mikrofal  
**Fig. 1.** Breaking curves of convective-microwave drying of apples by different microwave power

Zwiększanie mocy mikrofal od 100 W do 250 W nie powodowało statystycznie istotnych zmian parametrów mechanicznych siły i pracy łamania. Dopiero materiał wysuszony przy mocy mikrofal 300 W charakteryzował się istotnie wyższymi wartościami siły i pracy łamania. Susz ten cechowała również znacznie niższa gęstość pozorna (tab. 1).

Suszenie jabłek przy małej mocy mikrofal spowodowało, że czas suszenia był dłuższy niż przy wyższej mocy mikrofal (rys. 2) i to prawdopodobnie wpłynęło na gęstość, strukturę i porowatość uzyskanych suszy, a w konsekwencji na ich właściwości mechaniczne. W literaturze opisano wpływ różnych mocy mikrofal podczas suszenia mikrofalowo-konwekcyjnego jabłek na ich strukturę wewnętrzną (Andrés i in. 2004). Wykazano, że zastosowanie niskiej mocy mikrofal powodowało utworzenie porowatej struktury. Jednak pory były dużo mniejsze niż w próbce suszonej za pomocą samego gorącego powietrza. Zastosowanie wysokiej mocy mikrofal powodowało powstanie dwóch stref: zewnętrznej porowatej, gdzie efekt działania mikrofal był mniejszy oraz wewnętrznej, wolnej przestrzeni, bardziej zwartej z powodu połączenia efektu wysokiej temperatury i gradientów ciśnienia wynikających z powstawania pary wodnej wewnątrz materiału. Para wodna wytworzona podczas procesu suszenia powodowała powstawanie porowatej struktury.



Rys. 2. Krzywe suszenia konwekcyjno-mikrofalowego jabłek z różną mocą mikrofal

Fig. 2. Time curves of convective-microwave drying of apples by different microwave power

### Właściwości akustyczne

Jakość wielu produktów oceniana jest również na podstawie wrażeń słuchowych. Kruchość/chrupkość często kojarzona jest ze świeżością i przy ocenie wielu produktów odgrywa istotną rolę (Marzec i in. 2007).

W tabeli 2 przedstawiono średnie wartości wyróżników akustycznych tekstury suszy jabłkowych. Wraz ze wzrostem mocy mikrofal rosły wartości amplitudy, liczby zdarzeń i energii akustycznej. Takie zachowanie się materiałów pod wpływem przyłożonego obciążenia wynika m.in. z różnego czasu suszenia i w efekcie uzyskanej różnej porowatości materiału. Ponadto im produkt suszy się szybciej tym prawdopodobieństwo wystąpienia stanu szklistego większe. Długi czas suszenia powoduje, że produkt staje się gumowaty i charakteryzuje się niską wytrzymałością i słabszą emisją akustyczną (Marzec i Pasik 2008).

**Tabela 2.** Średnie wartości wyróżników akustycznych tekstury suszy jabłkowych  
**Table 2.** Mean values of acoustic features of texture of dried apple

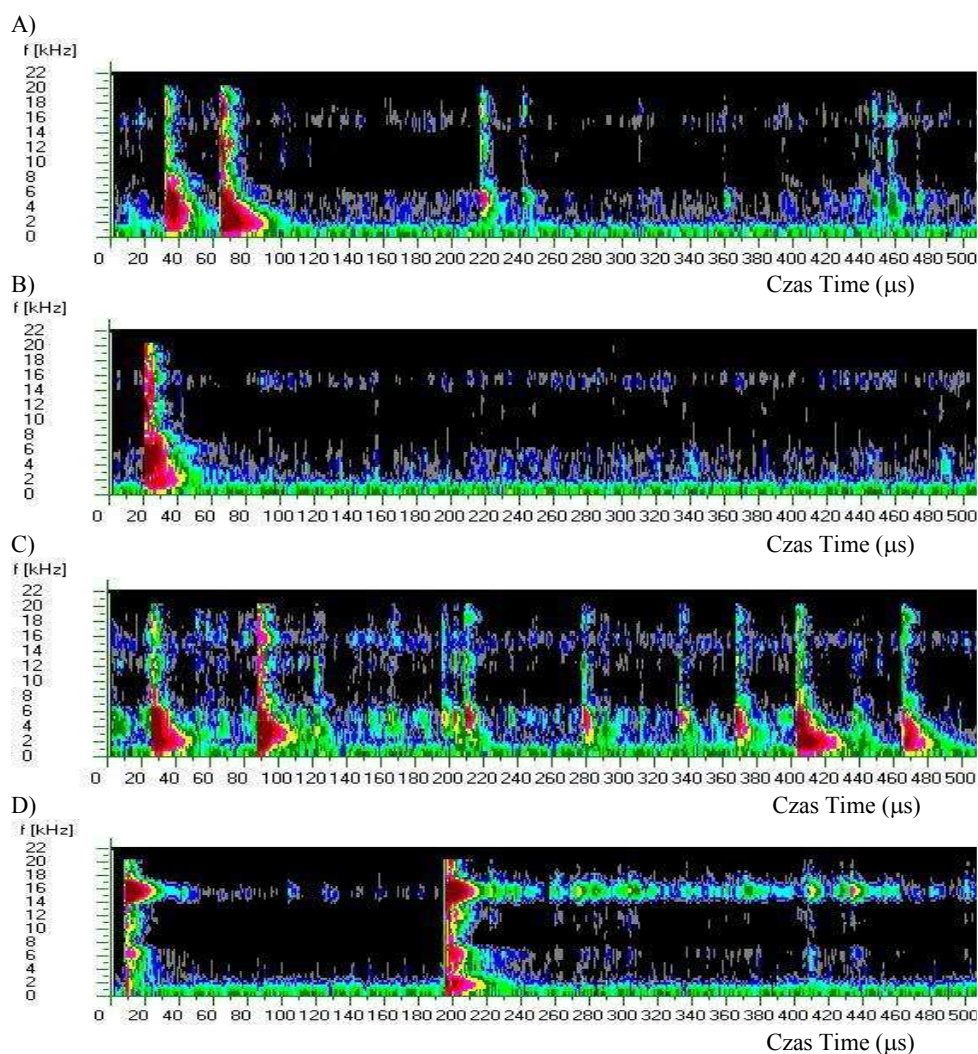
Moc mikrofal Microwave power (W)	Amplituda dźwięku Amplitude ( $\mu$ V)	Liczba zdarzeń emisji akustycznej Number of events	Energia akustyczna Acoustic energy (fJ)	Współczynnik Chrupkości Crispness index
100	152	3242a	27125814a	210a
150	126	3278a	21015258b	283b
200	191	4260b	30765720a	346c
250	152	3154a	28906410a	256b
300	175	4854b	35366244c	136d

a, b, c, d – grupy jednorodne – homogeneous groups.

Współczynnik chrupkości istotnie zwiększał się ze wzrostem mocy mikrofal i maksimum osiągnął dla jabłek suszonych przy mocy 200 W, dalsze zwiększanie mocy spowodowało spadek jego wartości (tab. 2).

Zmiana mocy mikrofal podczas suszenia spowodowała uzyskanie suszy o różnej strukturze, co potwierdziła analiza akustogramów (rys. 3). Akustogramy są wykresami, gdzie barwa obrazuje natężenie dźwięku w czasie łamania o określonej częstotliwości. Zwiększenie mocy mikrofal powodowało zmiany aktywności akustycznej badanych próbek. Zaobserwowano charakterystyczne zakresy częstotliwości. Przy mocy mikrofal 100 i 150 W dominujące były niskie częstotliwości z przedziału 1-6 kHz, słabsze natężenie dźwięku było w zakresie 10-12 kHz i 14-17 kHz (rys. 3 A, B). Susze otrzymane przy mocy mikrofal 200 W różniły się

istotnie od pozostałych badanych produktów, emitowały dźwięki o częstotliwościach niskich 1-6 kHz i wysokich 14-16 kHz przez cały czas łamania (rys. 3 C). Świadczy to o wyraźnie porowatej strukturze materiału. Przy wyższych mocach mikrofal stwierdzono w emisji akustycznej większy udział dźwięków o wysokich niż o niskich częstotliwościach (rys. 3 D).



**Rys. 3.** Zależność aktywności akustycznej suszy jabłkowych od mocy mikrofal: A) 100 W, B) 150 W, C) 200 W, D) 300 W

**Fig. 3.** Dependence acoustic activity of dried apple on microwave power: A) 100 W, B) 150 W, C) 200 W, D) 300 W

### Właściwości sensoryczne

Analiza sensorycznych wyróżników jakości wykazała, że ze wzrostem mocy mikrofal susze miały coraz ciemniejszą barwę oraz zwiększała się ich twardość (tab. 3). Podobnie w badaniach instrumentalnych barwy suszu jabłkowego zaobserwowano, że zwiększenie mocy mikrofal powodowało ciemniejszą barwę suszu, a przyczyną tego było nagrzewanie się materiału przy mocy mikrofal 150 W do temperatury 65°C, a przy 300 W do 70°C (Rząca i Witrowa-Rajchert 2007).

Zapach oraz smak były słabo wyczuwalne. Najwyższą ocenę uzyskały jabłka wysuszone przy mocy mikrofal 200 W, w teście sensorycznym oceniono je jako najsmaczniejsze, o najlepiej zachowanym zapachu i jakości ogólnej (tab. 3).

**Tabela 3.** Średnie wartości wyróżników sensorycznych tekstury suszy jabłkowych  
**Table 3.** Mean values of sensory features of texture of dried apple

Moc mikrofal Microwave power (W)	Twardość Hardness	Barwa Colour	Smak Flavour	Zapach Aroma	Ocena ogólna Overall quality
100	5,4 ± 1,1	3,4 ± 0,5	1,0 ± 0,7	1,4 ± 1,7	7,4 ± 1,1
150	5,2 ± 1,6	3,6 ± 1,1	1,6 ± 0,5	2,0 ± 0,5	7,3 ± 1,1
200	5,8 ± 1,3	4,6 ± 1,1	3,1 ± 1,0	2,4 ± 1,0	7,6 ± 0,5
250	5,6 ± 0,9	5,0 ± 0,7	3,0 ± 1,2	1,4 ± 1,2	6,8 ± 0,8
300	7,0 ± 1,0	5,8 ± 1,5	3,0 ± 0,7	1,6 ± 0,7	6,4 ± 1,1

### Zależności między wyróżnikami tekstury oznaczonymi instrumentalnie i sensorycznie

Współczynniki korelacji między parametrami, wyznaczonymi instrumentalnie i sensorycznie, suszy jabłkowych zestawiono w tabeli 4. Zaobserwowano wysokie współzależności ujemne między gęstością pozorną a pozostałymi badanymi parametrami, z wyjątkiem oceny ogólnej, dla której współczynnik korelacji miał wartość dodatnią. We wcześniejszych pracach wykazano, że zarówno właściwości mechaniczne jak i akustyczne silnie zależą od porowatości suszu (Marzec i Pasik 2008).

Praca i siła łamania wykazały wysokie korelacje dodatnie z liczbą zdarzeń EA i całkowitą energią zdarzeń. Natomiast wszystkie analizowane parametry mechaniczne i akustyczne wykazały silną ujemną współzależność z ogólną oceną sensoryczną jakości suszy. Takich zależności nie obserwowano w przypadku badania ciastek, gdzie wykazano, że do instrumentalnej oceny tekstury krakersów korzystniejsze jest zastosowanie metody akustycznej niż metody mechanicznej (Marzec i Gondek 2006).



**Tabela 4.** Współczynniki korelacji między wyróżnikami instrumentalnymi i sensorycznymi tekstury suszy jabłkowych**Table 4.** Correlations between instrumental features and sensory attributes of texture of dried apple

Wyróżniki tekstury	Gęstość Density ( $\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$ )	Siła Force (N)	Praca Work (mJ)	Energia akustyczna Acoustic energy (fJ)	Liczba zdarzeń EA Number of events	Współ. chrupk. Crispness index	Twardość sensor. Sensory hardness
Gęstość Density ( $\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$ )	1,000						
Siła Force (N)	-0,715	1,000					
Praca Work (mJ)	-0,827	0,960	1,000				
Energia akustyczna Acoustic energy (fJ)	-0,527	0,762	0,841	1,000			
Liczba zdarzeń EA Number of events	-0,643	0,827	0,815	0,796	1,000		
Współ. chrupk. Crispness index	0,836	-0,918	-0,894	-0,634	-0,896	1,000	
Twardość sensor. Sensory hardness	-0,803	0,935	0,984	0,897	0,889	-0,896	1,000
Smak Flavour	-0,908	0,465	0,621	0,448	0,626	-0,701	0,659
Ocena ogólna Overall quality	0,949	-0,798	-0,823	-0,447	-0,709	0,932	-0,791

Analiza współczynnika chrupkości, który uwzględnia zarówno właściwości mechaniczne jak i akustyczne dała również wysokie wartości współczynnika korelacji dla: gęstości pozornej, maksymalnej siły i pracy łamania, twardości wyznaczonej sensorycznie oraz liczby zdarzeń i energii akustycznej. Wskazuje to, że współczynnik ten może być stosowany do oceny jakości suszu.

#### WNIOSKI

1. Zmiana mocy mikrofal podczas suszenia wpływała na jakość uzyskanych suszy jabłkowych. Zwiększanie mocy mikrofal od 100 W do 250 W nie wpływało na wyróżniki mechaniczne suszy. Dopiero podwyższenie mocy mikrofal do 300 W spowodowało wzrost siły i pracy łamania. Wyróżniki akustyczne tekstury suszy: liczba zdarzeń EA i energia akustyczna rosły ze wzrostem mocy mikrofal. Zwiększenie mocy mikrofal od 100 do 300 W powodowało również zmiany częstotliwości emitowanych dźwięków.

2. Analiza sensoryczna wykazała, że wraz ze wzrostem mocy mikrofal susze miały coraz ciemniejszą barwę oraz zwiększała się ich twardość. Zapach oraz smak były słabo wyczuwalne. Jabłka wysuszone przy mocy 200 W były postrzegane jako najsmaczniejsze.

3. Wystąpiły wysokie korelacje między współczynnikiem chrupkości a wyróżnikami sensorycznymi jakości suszu (twardością, smakiem), co wskazuje, że współczynnik ten może być używany do oceny jakości suszu.

4. Z przeprowadzonych badań wynika, że do suszenia jabłek Idared w temperaturze 40°C należy stosować moc mikrofal 200 W.

#### PIŚMIENNICTWO

- Andres A., Bilbao C., Fito P., 2004. Drying kinetics of apple cylinders under combined hot air-microwave dehydration. *J. Food Engineering*, 63, 71-78.
- Marzec A., Lewicki P.P., Ranachowski Z., 2007. Influence of water activity on acoustic properties of flat extruded bread. *J. Food Engineering*, 79, 410-422.
- Marzec A., Gondek E., 2006. Zależności pomiędzy wybranymi wyróżnikami tekstury krakersów oznaczonymi instrumentalnie i sensorycznie. *Żywność. Nauka. Technologia. Jakość*, Supl. 2(47), 219-226.
- Marzec A., Pasik S., 2008. Wpływ metody suszenia na właściwości mechaniczne i akustyczne suszy marchwiowych. *Inżynieria Rolnicza*, 1(99), 283-298.
- Maskan M., 2000. Microwave/air and microwave finish drying of banana. *J. Food Eng.* 44, 71-78.
- Nijhuis H.H., Torringa H.M., Muresan S., Yuksel D., Leguijt C., Kloek W., 1998. Approaches to improving the quality of dried fruit and vegetables. *Trends in Food Science & Technology*, 9, 13-20.
- Parosa R., 2007. Mikrofałe w przemyśle spożywczym. *Przemysł Spożywczy*, 61(1), 15-19.

- Rząca M., Witrowa-Rajchert D., 2007. Wpływ techniki suszenia na właściwości optyczne suszu jabłkowego. *Acta Agrophysica*, 10(2), 445-453.
- Szarycz M., Kramkowski M., Kamiński E., 2002a. Zastosowanie mikrofal do suszenia produktów spożywczych. Cz. II Konsekwencje sterowania mocą mikrofal. *Problemy Inżynierii Rolniczej*, 2, 55-63.
- Szarycz M., Kramkowski M., Kamiński E., 2002b. Zastosowanie mikrofal do suszenia produktów spożywczych. Cz. III Zmiany ciśnienia wewnętrznego w suszonym materiale. *Problemy Inżynierii Rolniczej*, 2, 65-73.
- Surmacka-Szcześniak A., 2002. Texture is a sensory property. *Food Quality and Preference*, 13, 215-225.
- Surówka K., 2002. Tekstura żywności i metody jej badania. *Przemysł Spożywczy*, 56(10), 12-17.

## INFLUENCE OF MICROWAVE POWER ON QUALITY OF DRIED APPLE

*Agata Marzec, Monika Zadrożna*

Department of Food Engineering and Process Management,  
Warsaw Agricultural University (SGGW)  
ul. Nowoursynowska 159c, 02-776 Warszawa  
e-mail: agata\_marzec@sggw.pl

**Abstract.** The aim of this study was investigation of the influence of convective-microwave drying parameters, like microwave power, on quality of dried apple slices. Experiments were carried out under different microwave power levels (100-300 W) and in temperature 40°C. The range of the study comprised measurement of instrumental features (mechanical, acoustic) and sensory attributes of texture of dried apple as well as an analysis of correlation between them. Results showed that quality of dried apple was dependent on microwave power. Increase in microwave power caused an increase of values of the mechanical and acoustic features of texture of dried apple. The best, with regard to sensory features, were apples dried at microwave power of 200W. High correlations were observed between the instrumental and sensory parameters and the quality of dried apple.

**Keywords:** convective-microwave drying, apples, texture, mechanical, acoustic and sensory properties