

AGATA MARZEC, HANNA KOWALSKA, BEATA OŁDAK

WPLYW TECHNIKI SUSZENIA WIŚNI NA WŁAŚCIWOŚCI TEKSTURALNE SUSZU OCENIANE METODĄ AKUSTYCZNĄ I MECHANICZNĄ

Streszczenie

Celem pracy była analiza wpływu techniki i parametrów procesu suszenia wiśni na właściwości teksturalne suszu oceniane metodami emisji akustycznej i mechanicznej. Wiśnie drylowane i mrożone suszono różnymi metodami: konwekcyjną, mikrofalową, próżniową oraz liofilizacyjną. Oznaczono wilgotność i aktywność wody oraz porowatość suszy. Wykonano testy ściskania pojedynczych owoców suszonych wiśni, rejestrując jednocześnie emisję akustyczną (EA) metodą kontaktową. Technika i parametry procesu suszenia wiśni wpływały na ich właściwości teksturalne ocenione na podstawie analizy deskryptorów emisji akustycznej i parametrów mechanicznych. Stwierdzono występowanie trzech grup suszy różniących się właściwościami teksturalnymi. Zwiększenie temperatury procesu suszenia liofilizacyjnego z 30 do 50 °C spowodowało zwiększenie liczby zdarzeń EA i pracy ściskania. Wzrost temperatury z 50 do 70 °C podczas suszenia konwekcyjnego spowodował istotne zwiększenie amplitudy dźwięku i zmniejszenie liczby zdarzeń EA oraz wzrost siły i pracy ściskania. Podwyższenie mocy mikrofal ze 100 do 300 W spowodowało, podczas testu ściskania suszonych wiśni, generację emisji akustycznej o malejącej amplitudzie i rosnącej liczbie zdarzeń EA oraz o istotnie mniejszej sile i pracy ściskania. Deskryptory EA i parametry mechaniczne wiśni suszonych różnymi technikami korelowały ujemnie z wilgotnością suszy.

Słowa kluczowe: wiśnie, suszenie, tekstura, emisja akustyczna, właściwości mechaniczne

Wprowadzenie

Sezonowość produkcji surowców roślinnych często prowadzi do powstawania nadwyżki owoców. Z tego względu dąży się do opracowania efektywnej metody ich utrwalania. Różne metody suszenia umożliwiają utrwalanie owoców z zachowaniem odpowiedniej ich jakości [2]. Susze owocowe są produktami zachowującymi w znacznym stopniu skład chemiczny surowca, z wyjątkiem zawartości wody i składników lotnych [5]. Zawierają skoncentrowane składniki odżywcze i nawet jeśli nastąpiła

Dr hab. inż. A. Marzec, dr inż. H. Kowalska, mgr inż. B. Ołdak, Katedra Inżynierii Żywności i Organizacji Produkcji, Wydz. Nauk o Żywności, Szkoła Główna Gospodarstwa Wiejskiego w Warszawie, ul. Nowoursynowska 159 C, 02-776 Warszawa

w czasie suszenia ich częściowa degradacja, to produkt i tak charakteryzuje się zawartością bioaktywnych związków przekraczającą ich poziom w surowych tkankach (w przeliczeniu na jednostkę masy), przez co może stać się produktem o cechach prozdrowotnych [13]. Dlatego import suszonych owoców stale wzrasta [1]. Najczęściej stosowaną metodą jest suszenie konwekcyjne, jednak wysoka temperatura oddziałująca na produkt, długi czas procesu i prędkość przepływającego powietrza są głównymi czynnikami ograniczającymi jej stosowanie na szerszą skalę. Poszukuje się nowych technologii umożliwiających otrzymanie produktu o wysokiej jakości przy niskich kosztach (inwestycji i eksploatacji). Alternatywną metodą zagospodarowania owoców wiśni może być suszenie z zastosowaniem energii mikrofalowej, umożliwiającej poprawę tekstury suszu [7]. Energia mikrofalowa jest bezpośrednio absorbowana przez suszony materiał, a efekt silnego jej pochłaniania pozwala bardzo szybko nagrzać wodę w całej objętości materiału oraz szybko ją odparować [14]. Skrócenie czasu suszenia w porównaniu z suszeniem konwekcyjnym oraz nagrzewanie produktu w całej objętości powoduje większe zachowanie składników aromatycznych i substancji biologicznie czynnych oraz poprawę cech sensorycznych [9]. Wśród nowoczesnych metod suszenia ważne miejsce zajmuje liofilizacja, stosowana szczególnie do materiałów wrażliwych na działanie wysokiej temperatury. Podstawową zaletą suszenia liofilizacyjnego jest dobre zachowanie właściwości chemicznych, fizycznych i biologicznych w porównaniu z surowcem. Jednak nieumiejętne poprowadzenie suszenia może doprowadzić do obniżenia jakości produktu [3]. Nierównomierne lub zbyt gwałtowne ogrzewanie może powodować miejscowe przypalanie materiału suszonego. Zachodzi więc konieczność optymalizacji różnych metod suszenia wiśni w celu zapewnienia jak najlepszej wydajności procesu oraz uzyskania produktu końcowego o najwyższej jakości.

Cechy jakościowe suszy, takie jak: wygląd, tekstura, barwa, zapach, smak, należy oceniać sensorycznie, ale ze względu na wygodę i obiektywizm konieczne jest stosowanie instrumentalnych metod tej oceny. Jedną z najważniejszych cech jakościowych suszy, obok barwy i smaku, jest tekstura, którą można oceniać instrumentalnie metodami emisji akustycznej (EA) i mechaniczną. Metoda emisji akustycznej polega na rejestracji dźwięku generowanego podczas deformacji produktu. Wykazano, że metoda EA może być stosowana do oceny jakości świeżych jabłek [15], suszy jabłkowych [6, 7], a w połączeniu z metodą mechaniczną dobrze opisuje zmiany tekstury pieczywa chrupkiego w wyniku sorpcji pary wodnej [8].

Celem pracy było określenie wpływu techniki i parametrów procesu suszenia wiśni na właściwości teksturalne suszu oceniane metodami emisji akustycznej i mechaniczną.

Material i metody badań

Material do badań stanowiły wiśnie odmiany „Łutówka” zakupione na rynku lokalnym, drylowane, mrożone i przechowywane w temp. $-18\text{ }^{\circ}\text{C}$ przez 3 miesiące (wrzesień – listopad). Przed suszeniem próbki wiśni zamrożonych o masie $225 \pm 5\text{ g}$ pozostawiano w temp. $20 \pm 2\text{ }^{\circ}\text{C}$, przez 24 h, w celu ich rozmrożenia. Następnie oddzielano wyciek rozmrażalniczy i delikatnie osuszano materiał bibułą. Tak przygotowane wiśnie suszono w warunkach laboratoryjnych. Suszenie konwekcyjne wiśni przeprowadzono w temp.: 50, 60 i $70\text{ }^{\circ}\text{C}$, przy przepływie powietrza $v = 1,5\text{ m/s}$. Suszenie mikrofalowe wiśni wykonywano w suszarce PROMIS - μLAB („PROMIS” Firma Projektowo-Produkcyjna, Wrocław, Polska) w temp. $40\text{ }^{\circ}\text{C}$, przy mocy mikrofal: 100, 200 i 300 W. Próżniowo w temp. $70\text{ }^{\circ}\text{C}$, przy ciśnieniu 4 kPa suszono wiśnie bezpośrednio po ich rozmrożeniu oraz poddaniu wstępnej obróbce osmotycznej w 60-procentowym roztworze sacharozy w temp. $70\text{ }^{\circ}\text{C}$ przez 3 h. Suszenie liofilizacyjne wiśni nierozmrażanych prowadzono przy zmiennej temp. półek grzejnych liofilizatora: 30, 40 i $50\text{ }^{\circ}\text{C}$ oraz przy stałych parametrach: ciśnienie 63 Pa, ciśnienie bezpieczeństwa 103 Pa w liofilizatorze ALPHA 1-4 (Martin Christ, Osterode, Niemcy). Sygnały pomiarowe z wagi i termopar były rejestrowane co 5 min. Suszenie owoców prowadzono do wyrównania wskazań wagi lub do niskiego poziomu zawartości wody w suszu (poniżej 10 %). Każde suszenie wykonywano w dwóch powtórzeniach.

Suszone wiśnie scharakteryzowano oznaczając: gęstość piknometrem helowym Stereopycnometer (Quantochrome Instruments, Boynton Beach, USA), aktywność wody w aparacie Hygroscope DT2 (Rotronic AG, Basserdorf, Szwajcaria) z dokładnością $\pm 0,001$, w temp. $25\text{ }^{\circ}\text{C}$ oraz wilgotność metodą wagową [10]. Oznaczenia te wykonano w czterech powtórzeniach.

Wykonano testy ściskania pojedynczych owoców suszonych wiśni tłokiem o średnicy 15 mm, w maszynie wytrzymałościowej ZWICK 1445 (ZWICK GmbH, Baden-Württemberg, Niemcy) z prędkością przesuwu głowicy 20 mm/min. Jednocześnie rejestrowano emisję akustyczną (EA) metodą kontaktową, sensorem drgań typu 1381 (Brüel&Kjær, Narum, Dania). Sygnał emisji akustycznej wzmacniano (40 dB) w liniowym wzmacniaczu niskosumowym, a następnie zapisywano w pamięci komputera PC, stosując kartę przetwarzania analogowo-cyfrowego Adlink PCI 9112 (Adlink Technology Inc., Taipei, Tajwan) z częstotliwością próbkowania 44,1 kHz. Zastosowano 16-bitowy zapis sygnału emisji akustycznej.

Testy akustyczne i mechaniczne wykonano w 40 powtórzeniach, z czego do analizy wybierano 20 o podobnym czasie deformacji około 10 s. Wyznaczono deskryptory EA: amplitudę, liczbę zdarzeń EA, energię zdarzenia EA, czas trwania zdarzenia EA oraz parametry mechaniczne: siłę i pracę ściskania.

Gęstość rzeczywistą obliczano na podstawie składu chemicznego wiśni według zależności podanej przez Domian i Lenarta [4], która posłużyła do obliczenia porowa-

tości z zależności: $\varepsilon = (1 - \rho_p/\rho) \cdot 100$ [%], gdzie ρ_p – gęstość pozorna wiśni oznaczona piknometrycznie [g/cm^3], ρ – gęstość rzeczywista [g/cm^3].

Analizę statystyczną wyników wykonano w programie Statistica 9.0 Pl. Istotność różnic między średnimi wartościami wyznaczonych parametrów określono za pomocą testu Duncana przy poziomie $p \leq 0,05$, grupy jednorodne oznaczono literami: a, b, c, d, e, f. Przeprowadzono również analizę wszystkich uzyskanych wyników wielowymiarową metodą składowych głównych z klasyfikacją (PCA).

Wyniki i dyskusja

Suszone wiśnie charakteryzowały się małą wilgotnością i aktywnością wody. Zaobserwowane różnice były statystycznie istotne ($p \leq 0,05$) (tab. 1). Stwierdzono również istotny wpływ techniki i parametrów suszenia na średnie wartości porowatości ($p \leq 0,05$) (tab. 1). Wiśnie suszone konwekcyjnie w temp. 60 i 70 °C, mikrofalowo o mocy 100 i 300 W oraz próżniowo wykazywały porowatość około 9 %. Najniższą porowatością około 2 % charakteryzowały się wiśnie wstępnie odwadniane osmotycznie i suszone próżniowo. Największą porowatość wynoszącą 13 % uzyskały wiśnie suszone liofilizacyjnie w temp. 50 °C. Suszenie wiśni w liofilizatorze, ale w temp. 30 i 40 °C spowodowało małą porowatość suszu.

Slade i Levine [11] wykazali, że najbardziej niekorzystnym zjawiskiem, które może się pojawić podczas sublimacji jest możliwość załamania się wewnętrznej struktury materiału. W liofilizacji bardzo ważne jest dobranie optymalnych parametrów procesu (temperatury oraz ciśnienia), ponieważ to one mają wpływ na końcową barwę, strukturę, smak i właściwości sorpcyjne produktu [3].

Metoda i parametry suszenia wpływały istotnie na właściwości akustyczne wiśni (rys. 1 i 2). Niezależnie od metody suszenia wszystkie uzyskane produkty charakteryzowały się dużą zmiennością analizowanych deskryptorów, o czym świadczą wartości odchyień standardowych. Zróżnicowanie uzyskanego materiału niezależnie od metody suszenia było trudne do wyeliminowania. Wiśnie wydrylowane, a następnie zamrożone miały zniszczoną pierwotną strukturę. W efekcie po suszeniu uzyskano zdeformowane owoce o różnym kształcie.

Najwyższymi wartościami amplitudy dźwięku charakteryzowały się wiśnie suszone konwekcyjnie w temperaturze 70 °C (971 μV) oraz wstępnie odwadniane i suszone próżniowo (758 μV).

Należy podkreślić, że susze te charakteryzowały się najmniejszą wilgotnością. Najmniejszą amplitudę dźwięku zaobserwowano podczas deformacji suszy otrzymanych metodą liofilizacyjną (30 i 40 °C), odpowiednio 216 μV i 368 μV (rys. 1).

Tabela 1

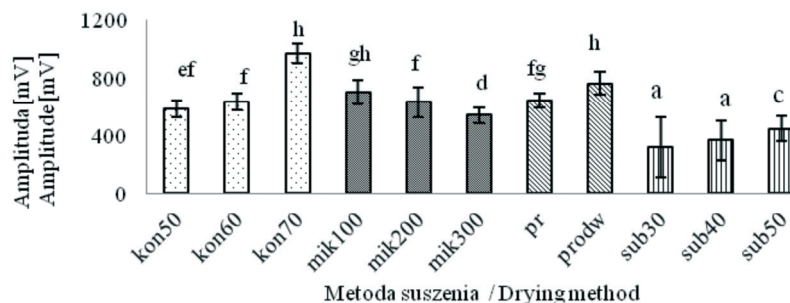
Średnie wartości wilgotności i aktywności wody oraz porowatości suszonych wiśni wraz z odchyleniami standardowymi.

Mean values of moisture and water activity as well as porosity of dried sour cherries including standard deviations.

Metoda i parametry procesu suszenia Method and parameters of drying process		Kod próbki Kode sample	Czas suszenia [h] Drying time [h]	Wilgotność [%] Moisture [%]	Aktywność wody Water activity	Porowatość [%] Porosity [%]
Konwekcyjna Convective drying 1,5 m/s	50 °C	kon50	6	2,67 ± 0,81 ^f	0,199 ± 0,004 ^{cd}	5,2 ± 0,1 ^{abc}
	60 °C	kon60	6	0,90 ± 0,06 ^{ab}	0,147 ± 0,004 ^{bcd}	9,7 ± 0,9 ^{bcd}
	70 °C	kon70	6	0,83 ± 0,16 ^{ab}	0,177 ± 0,001 ^{bcd}	8,8 ± 1,4 ^{cd}
Mikrofalowa Microwave drying 40 °C	100 W	mik100	5	2,18 ± 0,07 ^d	0,136 ± 0,002 ^{ab}	9,7 ± 0,9 ^a
	200 W	mik200	5	1,85 ± 0,47 ^{cd}	0,223 ± 0,002 ^d	2,9 ± 1,4 ^{bcd}
	300 W	mik300	4,5	1,30 ± 0,12 ^c	0,151 ± 0,002 ^{abc}	9,4 ± 0,5 ^{bcd}
Próżniowa Vacuum drying 70 °C, 4 kPa	–	pr	24	1,36 ± 0,29 ^{bc}	0,150 ± 0,002 ^{bc}	9,1 ± 0,9 ^{bcd}
	obróbka osmot. osmotic dehydration	prodw	22,5	0,42 ± 0,06 ^a	0,101 ± 0,001 ^a	1,9 ± 0,9 ^a
Liofilizacyjna Freezedrying 63 Pa	30 °C	sub30	24	3,51 ± 0,10 ^e	0,181 ± 0,003 ^e	3,6 ± 3,2 ^{ab}
	40 °C	sub40	24	3,90 ± 0,22 ^f	0,119 ± 0,002 ^f	2,9 ± 1,4 ^a
	50 °C	sub50	24	4,28 ± 0,08 ^g	0,209 ± 0,004 ^g	13,0 ± 3,7 ^d

Objaśnienia: / Explanatory notes:

a, b, c, d, e, f – wartości średnie oznaczone tymi samymi literami nie różnią się statystycznie istotnie ($p \leq 0,05$, $n = 4$) / mean values designated by the same letters do not differ statistically significantly ($p \leq 0.05$, $n = 4$).

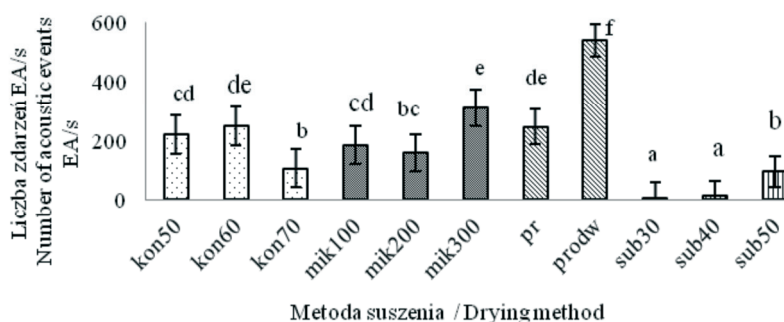


Objaśnienia: / Explanatory notes: kod próbki w tabeli 1 / Kode sample in table 1

a, b, c, d, e, f – wartości średnie oznaczone tymi samymi literami nie różnią się statystycznie istotnie ($p \leq 0,05$, $n = 20$) / mean values designated by the same letters do not differ statistically significantly ($p \leq 0.05$, $n = 20$).

Rys. 1. Amplituda dźwięku generowanego podczas ściskania wiśni suszonych różnymi technikami.

Fig. 1. Amplitude of signal generated during compression test on sour cherries dried using different techniques.



Objaśnienie jak pod rys. 1 / Explanatory notes as in Fig. 1.

Rys. 2. Liczba zdarzeń EA generowanych podczas ściskania wiśni suszonych różnymi metodami.

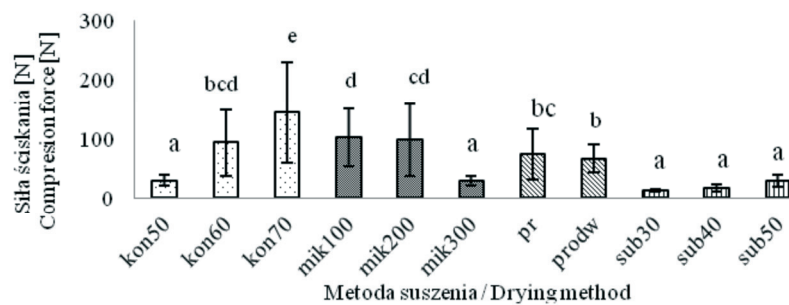
Fig. 2. Number of EA acoustic events generated during compression of sour cherries dried using different techniques.

Podwyższenie temperatury procesu suszenia liofilizacyjnego spowodowało zwiększenie wartości amplitudy dźwięku i liczby zdarzeń. Jednak tylko wiśnie suszone w temp. 50 °C charakteryzowały się statystycznie różnymi właściwościami akustycznymi (rys. 1 i 2). Natomiast w suszeniu konwekcyjnym podwyższenie temp. procesu wpłynęło na zwiększenie amplitudy dźwięku oraz zmniejszenie liczby zdarzeń EA generowanych podczas ściskania materiału. Istotne różnice we właściwościach akustycznych wiśni suszonych konwekcyjnie zaobserwowano przy zastosowaniu temp. procesu 70 °C (rys. 1 i 2).

W przypadku suszenia mikrofalowego wiśni wraz ze zwiększaniem mocy mikrofal ze 100 do 300 W stwierdzono statystycznie istotne ($p \leq 0,05$) obniżenie amplitudy dźwięku oraz zwiększenie liczby zdarzeń EA niż suszonych konwekcyjnie (rys. 1 i 2). Podczas suszenia próżniowego badano wpływ zastosowania obróbki wstępnej (odwadniania osmotycznego) wiśni na ich właściwości akustyczne. Odwadnianie osmotyczne wiśni przed suszeniem próżniowym spowodowało istotne zwiększenie wartości deskryptorów akustycznych (rys. 1 i 2). W literaturze opisano korzystny wpływ wstępnego osmotycznego odwadniania jabłek w roztworze sacharozy na właściwości teksturalne materiału po suszeniu konwekcyjnym [6].

Na rys. 3. i 4. przedstawiono wpływ techniki i parametrów procesu suszenia na wartości siły i pracy ściskania wiśni. Zaobserwowano bardzo duże wartości odchyłeń standardowych od średnich wartości analizowanych parametrów mechanicznych, podobnie jak w przypadku właściwości akustycznych. Stwierdzono jednak istotny wpływ techniki i parametrów procesu suszenia na analizowane cechy ($p \leq 0,05$).

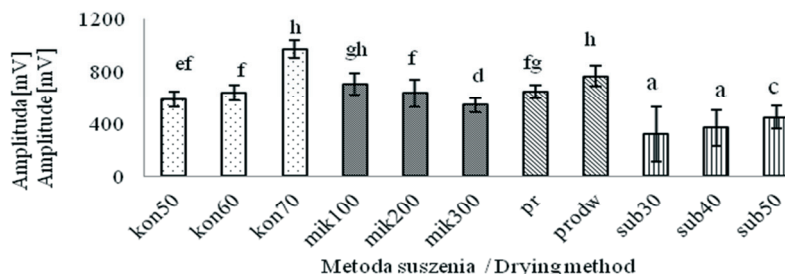
Podwyższenie temperatury suszenia konwekcyjnego z 50 do 70 °C spowodowało istotny wzrost wartości siły i pracy ściskania. Suszenie liofilizacyjne wiśni w temp. 50 °C spowodowało wzrost pracy ściskania, zaś w niższych temp. 30 i 40 °C nie stwierdzono istotnych zmian parametrów mechanicznych ($p \leq 0,05$).



Objaśnienie jak pod rys. 1 / Explanatory notes as in Fig. 1.

Rys. 3. Siła ściskania wiśni suszonych różnymi metodami.

Fig. 3. Compression force applied to compress sour cherries dried using different techniques.



Objaśnienie jak pod rys. 1 / Explanatory notes as in Fig. 1.

Rys. 4. Praca ściskania wiśni suszonych różnymi metodami.

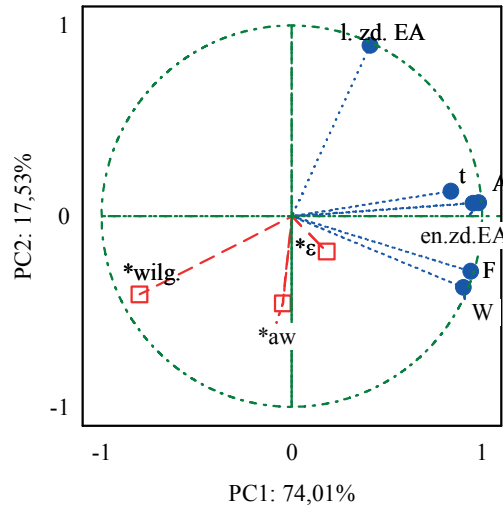
Fig. 4. Compression work when compress sour cherries dried using different techniques.

Największymi wartościami siły i pracy ściskania charakteryzowały się wiśnie suszone konwekcyjnie w temp. 70 °C i mikrofalowo przy mocy 200 W, najmniejszymi natomiast wiśnie liofilizowane w temp. 30 i 40 °C (rys. 3 i 4).

Podobne zależności opisano w przypadku jabłek [5]. Wykazano, że susz sublimacyjny charakteryzował się najmniejszą wytrzymałością mechaniczną. Czynniki istotnie wpływającymi na cechy mechaniczne i reologiczne produktów suszarniczych są: metoda suszenia, obróbka wstępna oraz czas przechowywania suszy [6, 12].

Analiza składowych głównych (PCA) pozwala w łatwy i czytelny sposób przedstawić współzależności między badanymi parametrami tekstury (akustycznymi i mechanicznymi) suszonych wiśni. Ponadto obrazuje podobieństwa i różnice między produktami uzyskanymi w wyniku zastosowania różnych metod i parametrów procesu suszenia. Dwie składowe główne (PC1 i PC2) wyjaśniały łącznie około 90 % zmienności tekstury suszonych wiśni. Składowa pierwsza (PC1) była tworzona przez deskryptory emisji akustycznej (amplitudę, czas trwania dźwięku i energię zdarzeń EA) oraz parametry mechaniczne (siłę i pracę ściskania), zaś składowa druga (PC2) tworzona była tylko przez liczbę zdarzeń EA (rys. 5). Składowa PC1 wyjaśniała 74,0 %, a PC2 17,5 % zmienności tekstury suszonych wiśni (rys. 5). Tak więc zastosowanie deskryptorów emisji akustycznej do oceny tekstury wydaje się celowe.

Deskryptory emisji akustycznej (amplituda dźwięku i energia zdarzenia EA) silnie dodatnio korelowały z parametrami mechanicznymi (siłą i pracą ściskania). Ponadto, analizowane parametry akustyczne i mechaniczne zależały od wilgotności suszy, stwierdzone korelacje były ujemne. Natomiast nie stwierdzono istotnych współzależności pomiędzy parametrami akustycznymi i mechanicznymi a porowatością badanych suszy (rys. 5, tab. 2).



Rys. 5. Projekcja PCA deskryptorów emisji akustycznej i parametrów mechanicznych suszonych wiśni (parametry aktywne/a: l. zd. EA – liczba zdarzeń EA, t – czas trwania zdarzenia, A – amplituda, en. zd. EA – energia zdarzenia EA, F – siła, W – praca. Parametry dodatkowe: * ϵ - porowatość, *aw – aktywność wody, *wilg. – wilgotność).

Fig. 5. PCA projection of EA descriptors and mechanical properties of dried sour cherries (active parameters: l. EA event – number of EA events; t – time of event duration; A – amplitude; en. zd. EA – EA event energy; F – force; W – Work. Additional parameters: * ϵ - porosity; *aw – water activity, *wilg. – humidity).

Tabela 2

Wartości współczynników korelacji liniowej między wyróżnikami charakteryzującymi teksturę badanych suszonych wiśni.

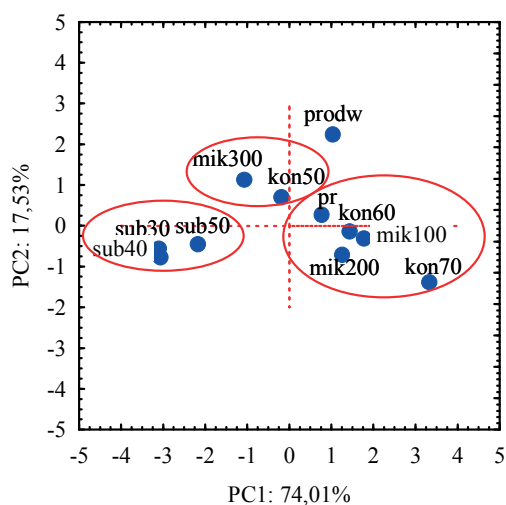
Matrixes of correlation coefficients of linear regression for parameters obtained for sour cherries of dried.

Wyróżniki tekstury Features of texture	F [N]	W [J]	A [mV]	En. zd. EA	t [μ s]	L. zd. EA/s
W [J]	0,970*	1,000	–	–	–	–
A [mV]	0,807*	0,750*	1,000	–	–	–
En. zd. EA	0,794*	0,761*	0,981*	1,000	–	–
t [μ s]	0,553*	0,594*	0,712*	0,824*	1,000	–
L. zd. EA/s	0,120	0,049	0,481	0,487	0,450	1,000
ϵ [%]	0,138	0,217	0,250	0,257	0,275	0,008
aw*	0,001	0,146	-0,099	-0,066	0,066	-0,439
wilg. [%]	-0,659*	-0,595*	-0,766*	-0,756*	-0,601	-0,713

*istotne zależności przy $p \leq 0,05$, * significant dependences at $p \leq 0.05$

Objaśnienie jak na rys. 5 / Explanatory notes as in Fig. 5.

Usytuowanie w diagramie PCA próbek suszonych wiśni obok siebie świadczy o podobieństwie ich właściwości teksturalnych ocenianych na podstawie analizy deskryptorów akustycznych i parametrów mechanicznych, a dystans między nimi – o wielkości i charakterze różnic (rys. 6). Wśród próbek suszonych wiśni stwierdzono występowanie 3 grup produktów o różnych właściwościach teksturalnych. W pierwszej grupie były wiśnie suszone konwekcyjnie w temp. 60 i 70 °C, mikrofalowo (moc 100 i 200 W) oraz próżniowo, charakteryzujące się najwyższymi wartościami amplitudy, energii zdarzeń i czasu trwania zdarzeń EA oraz największą wytrzymałością (pracą i siłą ściskania). W drugiej grupie były wiśnie suszone konwekcyjnie w temp. 50 °C oraz mikrofalowo przy mocy 300 W, cechujące się silniejszą emisją akustyczną spowodowaną generowaniem dużej liczby zdarzeń EA i istotnie mniejszą wytrzymałością (pracą i siłą ściskania) niż grupa pierwsza. W trzeciej natomiast znajdowały się wiśnie liofilizowane w temp. 30, 40 i 50 °C charakteryzujące się najslabszą emisją akustyczną oraz wytrzymałością, taką jak susze z grupy drugiej. Wiśni wstępnie odwadnianych osmotycznie i suszonych próżniowo nie można było zaliczyć do żadnej z wyodrębnionych grup (rys. 6).



Rys. 6. Projekcja PCA podobieństw i różnic tekstury wiśni suszonych różnymi metodami.

Fig. 6. PCA projection of similarities and differences in texture of sour cherries drying using different techniques

Wnioski

1. Technika suszenia wiśni wpływała istotnie na ich właściwości teksturalne ocenione na podstawie analizy deskryptorów emisji akustycznej i parametrów mechanicznych. Stwierdzono wystąpienie trzech grup suszy różniących się

- właściwościami teksturalnymi. Grupa pierwsza składa się z wiśni suszonych konwekcyjnie w temp. 60 i 70 °C, mikrofalowo (moc 100 i 200 W) i próżniowo, charakteryzujących się najmocniejszą emisją akustyczną i największą wytrzymałością (pracą i siłą ściskania), druga to wiśnie suszone konwekcyjnie w temp. 50 °C oraz mikrofalowo przy mocy 300 W, cechujące się silniejszą emisją akustyczną oraz mniejszą wytrzymałością niż grupa pierwsza. W grupie trzeciej znajdowały się natomiast wiśnie liofilizowane w temp. 30, 40 i 50 °C charakteryzujące się najslabszą emisją akustyczną oraz wytrzymałością, taką jak susze z grupy drugiej.
2. Parametry procesu suszenia również wpływały na właściwości teksturalne wiśni. Zwiększenie temp. procesu suszenia liofilizacyjnego z 30 do 50 °C, spowodowało zwiększenie liczby zdarzeń EA i pracy ściskania. W suszeniu konwekcyjnym zwiększenie temp. procesu z 50 do 70 °C spowodowało istotne zwiększenie amplitudy dźwięku i zmniejszenie liczby zdarzeń EA oraz istotny wzrost siły i pracy ściskania. Wzrost mocy mikrofal ze 100 do 300 W spowodował uzyskanie suszu generującego podczas ściskania emisję akustyczną o malejącej amplitudzie i rosnącej liczbie zdarzeń EA oraz o istotnie mniejszej sile i pracy ściskania.
 3. Deskryptory EA i parametry mechaniczne wiśni suszonych różnymi metodami korelowały silnie ujemnie z wilgotnością suszonych wiśni.

Literatura

- [1] Analizy rynkowe: Popyt na żywność. Stan i perspektywy. Instytut Ekonomiki Rolnictwa i Gospodarki Żywnościowej – PIB. Ministerstwo Rolnictwa i Rozwoju Wsi, 2008, **9 (12)**, 32.
- [2] Chua K.J., Chou S.K.: Low-cost drying methods for developing countries. *Trends Food Sci. Technol.*, 2003, **14**, 519-528.
- [3] Ciurzyńska A., Lenart A., Siemiątkowska M.: Wpływ odwadniania osmotycznego na barwę i właściwości mechaniczne liofilizowanych truskawek. *Acta Agrophysica*, 2011, **17 (1)**, 17-32.
- [4] Domian E., Lenart A.: Właściwości fizyczne żywności sypkiej. W: *Właściwości fizyczne*. Red. Z. Pałacha, I. Sitkiewicz, WNT, Warszawa 2010, ss. 298-334.
- [5] Lewicki P.P., Jakubczyk E.: Effect of hot air temperature on mechanical properties of dried apples. *J. Food Engin.*, 2004, **64**, 307-314.
- [6] Marzec A., Kowalska H.: Wpływ osmotycznego odwadniania na właściwości akustyczne jabłek suszonych konwekcyjnie. *Zesz. Probl. Post. Nauk Roln.*, 2010, **552**, 149-158.
- [7] Marzec A., Kowalska H., Zadrożna M.: Analysis of instrumental and sensory texture attributes of microwave-convective dried apples. *J. Texture Studies*, 2010, **41 (4)**, 417-439.
- [8] Marzec A., Lewicki P.P., Ranachowski Z.: Influence of water activity on acoustic properties of flat extruded bread. *J. Food Eng.*, 2007, **79**, 410-422.
- [9] 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.
- [10] PN-ISO 1026:2000. Produkty owocowe i warzywne. Oznaczanie zawartości suchej substancji w wyniku suszenia przy obniżonym ciśnieniu i zawartości wody w wyniku destylacji azeotropowej.
- [11] Slade L., Levine H.: Water and the glass transition - dependence of the glass transition on composition and chemical structure: special implications for flour functionality in cookie baking. *J.*

- Food Eng., 1995, **24**, 431-509.
- [12] Stępień B.: Modyfikacja cech mechanicznych i reologicznych wybranych warzyw pod wpływem różnych metod suszenia. Wyd. Uniwersytetu Przyrodniczego we Wrocławiu, Wrocław 2009.
- [13] Tarhan S., Ergunes G., Taser F.: Selection of chemical and thermal pretreatment combination to reduce the dehydration time of sour cherry (*Prunus cerasus* L.). J. Food Engin., 2006, **29**, 651-663.
- [14] Zhang M., Tang J., Mujumdar A.S., Wang S.: Trends in microwave related drying of fruits and vegetables. Trends Food Sci. Technol., 2006, **17**, 524-534.
- [15] Zdunek A., Cybulska J., Konopacka D., Rutkowski K.: Evaluation of apple texture with contact acoustic emission detector: A study on performance of calibration models. J. Food Eng., 2011, **106**, 80-87.

EFFECT OF SOUR CHERRIES DRYING TECHNIQUE ON TEXTURAL PROPERTIES OF DRIED FRUIT ASSESSED USING ACOUSTIC AND MECHANICAL METHODS

S u m m a r y

The objective of this study was to analyze the effect of sour cherries drying technique and process parameters on textural properties of dried fruits assessed using acoustic and mechanical methods. The stoned and frozen sour cherries were dried using different techniques: convection, microwave, vacuum, and sublimation. Determined were the moisture and water activity as well as the porosity of the fruits dried. Compression tests were performed on each single dried cherry fruit and, at the same time, the acoustic emission (AE) was registered by a contact method. The technique and parameters of the process of sour cherries drying impacted their textural properties, which were assessed based on the analysis of acoustic emission descriptors and mechanical parameters. The occurrence of three groups of dried sour cherries was found; those groups differed in their textural properties. The increase in the temperature of the freeze drying process from 30 to 50 °C caused the number of EA events and the compression work to increase. During the convective drying process, the increase in the temperature from 50 to 70 °C caused the amplitude of the sound to significantly increase, the number of EA events to decrease, and the compression force and work to increase. During the compression test on dried cherries, the raise in the microwave power from 100 to 300 W caused the generation of acoustic emission that had decreasing amplitude, increasing number of EA events, and a significantly lower compression work and force. The EA descriptors and mechanical properties of the sour cherries dried using various drying techniques were negatively correlated with the humidity of dried cherry fruits.

Key words: sour cherries, drying, texture, acoustic emission, mechanical properties 