

ANALIZA WPŁYWU METODY SUSZENIA NA WYBRANE  
WŁAŚCIWOŚCI FIZYCZNE I MECHANICZNE TRUSKAWEK\*

*Iwona Sitkiewicz, Dariusz Piotrowski, Monika Janowicz, Łukasz Szlendak*

Katedra Inżynierii Żywności i Organizacji Produkcji  
Wydział Nauk o Żywności, Szkoła Główna Gospodarstwa Wiejskiego  
ul. Nowoursynowska 159, 02-776 Warszawa  
e-mail: iwona\_sitkiewicz@sggw.pl

**Streszczenie.** W pracy podjęto próbę określenia wpływu metody suszenia na wybrane właściwości fizyczne i mechaniczne suszy z truskawek. Rozmrożone przed suszeniem truskawki odmiany Senga Sengana suszono w temperaturze 65°C metodami: konwekcyjną, próżniową (ciśnienie w komorze suszarki 4 i 16 kPa) oraz konwekcyjno-próżniową, w której 50, 75 i 90% początkowej zawartości wody usunięto w etapie suszenia konwekcyjnego. Dla każdej z zastosowanych metod suszenia określono właściwości fizyczne takie jak: skurcz suszarniczy i gęstość pozorną suszy oraz właściwości mechaniczne wynikające z testu ściskania i relaksacji naprężeń: pracę ściskania oraz moduł relaksacji. Przeprowadzona analiza wykazała, że stosując kombinowane, konwekcyjno-próżniowe metody suszenia, można uzyskać susz truskawkowy charakteryzujący się niewielkim skurczem suszarniczym rzędu 30%, niską gęstością pozorną (0,1-0,15 g·cm<sup>-3</sup>) oraz właściwościami mechanicznymi korzystnymi z punktu widzenia konsumenta. Optymalnym stopniem odwodnienia truskawek w etapie suszenia konwekcyjnego przed suszeniem próżniowym jest poziom 50% początkowej zawartości wody, co odpowiada wilgotności właściwej około 3,70 g H<sub>2</sub>O·(g s s)<sup>-1</sup>.

**Słowa kluczowe:** truskawki, suszenie próżniowe, suszenie konwekcyjno-próżniowe, skurcz, gęstość pozorna, właściwości mechaniczne

WSTĘP

W warunkach polskich truskawki są owocami wybitnie sezonowymi. W przemysłowym przetwórstwie są one zamrażane i wykorzystywane do produkcji przetworów sukcesywnie przez cały rok. Wprowadzanie na rynek nowych produktów, np. typu musli, stwarza potrzebę rozszerzenia asortymentu suszonych owoców

---

\*Badania wykonano w ramach projektu badawczego własnego Nr N N312 197635.

także o truskawki. Podejmowane są próby doskonalenia metod suszenia truskawek (Piotrowski i in. 2008, Piotrowski i in. 2011, Sitkiewicz i in. 2011), gdyż ich upowszechnienie na rynku polskim pozwoliłoby zwiększyć asortyment owoców suszonych, jak również stwarzałoby szansę na zwiększenie eksportu truskawek, nie tylko w postaci owoców mrożonych.

Usunięcie wody z produktów spożywczych o budowie tkankowej powoduje bardzo istotne zmiany postaci i właściwości materiałów wyjściowych. Charakter tych zmian zależy zarówno od właściwości surowca poddanego procesowi suszenia, jak i metody suszenia czy warunków obróbki wstępnej surowca. Podstawowym zjawiskiem towarzyszącym procesom suszenia jest skurcz objętościowy materiału. Podczas suszenia konwekcyjnego materiałów o budowie tkankowej skurcz objętościowy jest większy niż wynika to z ilości odparowanej wody i wynosi od około 70% objętości początkowej dla jabłek do 90% dla marchwi (Witrowa-Rajchert 1999). Skurcz podczas suszenia powoduje wzrost gęstości pozornej materiału suszonego w porównaniu do gęstości pozornej surowca. Suszenie sublimacyjne (liofilizacja), w którym woda jest usuwana z zamrożonego produktu w drodze sublimacji lodu, pozwala na otrzymanie suszy o wysokiej porowatości i niskiej gęstości (Cieurzyńska i Lenart 2011). Podobny efekt można uzyskać stosując suszenie próżniowe, konwekcyjno-próżniowe lub konwekcyjno-mikrofalowe (Ramos i in. 2003, Nawirska i in. 2009, Figiel 2010). Suszenie próżniowe to suszenie w podciśnieniu, dzięki czemu intensywne odparowywanie wody zachodzi w niższej temperaturze w porównaniu do suszenia konwekcyjnego. W zależności od stopnia redukcji ciśnienia w komorze suszarki temperatura wrzenia wody może zostać obniżona nawet do 30°C. Obniżenie ciśnienia w komorze suszarki powoduje usunięcie powietrza zamkniętego w przestrzeniach powietrznych materiałów o budowie tkankowej (Fito i in. 2002, Chiralt i Fito 2003), a podwyższenie temperatury w suszarce próżniowej powyżej temperatury wrzenia powoduje momentalną ekspansję pary wodnej, co daje efekt ekspansji (lub ang. „puffing”) i w rezultacie prowadzi do otrzymania suszy o porowatej strukturze, zbliżonej do struktury suszy liofilizowanych. Zastosowanie suszenia konwekcyjno-mikrofalowego lub mikrofalowo-próżniowego pozwala również na otrzymanie suszy o porowatej strukturze, stosunkowo niskiej gęstości i wysokiej porowatości (Nawirska i in. 2009, Figiel 2010).

Zmiany struktury suszonych owoców i warzyw w dużej mierze zależą od zastosowanej metody suszenia. Suszenie konwekcyjne owoców powoduje utratę właściwości sprężystych materiałów w kierunku ich uplastycznienia (Lewicki i Łukaszuk 2000), zaś suszenie w wysokiej temperaturze prowadzi do powstawania naprężeń wewnętrznych, co skutkuje silną deformacją i pękaniem materiału. Najlepszą metodą suszenia owoców i warzyw jest suszenie sublimacyjne, ale w porównaniu do innych metod suszenia, jest to metoda droga (Piotrowski i in. 2008, Ciu-

rzyńska i Lenart 2011). W celu poprawy tekstury suszy stosuje się suszenie mikrofalowe, konwekcyjno-mikrofalowe lub mikrofalowo-próżniowe, jak również osmotyczne odwadnianie tych owoców przed suszeniem (Moraga i in. 2000, Kruelis i in. 2005, Contreras i in. 2007, Figiel 2010). Suszenie mikrofalowo-próżniowe umożliwia otrzymanie suszy o bardziej „miękkiej” teksturze niż ma to miejsce przy suszeniu konwekcyjnym (Figiel 2010).

Celem pracy było określenie wpływu metody suszenia na wybrane właściwości fizyczne i mechaniczne truskawek.

#### MATERIAŁ I METODYKA

Materiałem użytym do badań były mrożone truskawki odmiany Senga Sengana o średnicy 24-26 mm przechowywane w temperaturze  $-18^{\circ}\text{C}$ . Owoce przed suszeniem rozmrażano w warunkach konwekcji naturalnej (temperatura otoczenia  $20-23^{\circ}\text{C}$ ) przez około 3 h i suszono wybranymi metodami przy stałym obciążeniu sita suszarek  $2,2-2,4 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-2}$ . Średnia zawartość suchej substancji w truskawkach przed suszeniem wynosiła  $11,94\%$  ( $\pm 0,74\%$ ), co odpowiada wilgotności właściwej  $7,40 \text{ g H}_2\text{O}\cdot(\text{g s s})^{-1}$  ( $\pm 0,54 \text{ g H}_2\text{O}\cdot(\text{g s s})^{-1}$ ). Suszenie konwekcyjne przeprowadzono przy prędkości przepływu powietrza  $1,5 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$  w suszarce laboratoryjnej współpracującej z wagą Axis i systemem rejestracji masy, suszenie próżniowe w komorowej suszarce próżniowej SPT-200 firmy CONBEST współpracującej z układem rejestracji masy firmy MENSOR. Proces suszenia prowadzono do momentu uzyskania stabilnych odczytów masy w ciągu 30 minut w temperaturze  $65^{\circ}\text{C}$  przy ciśnieniu w komorze suszarki próżniowej (P) 4 i 16 kPa. W suszeniu konwekcyjno-próżniowym usunięto 50, 75 i 90% początkowej zawartości wody w etapie suszenia konwekcyjnego. Schemat wykonanych doświadczeń przedstawiono w tabeli 1.

Przed wykonaniem analiz susze przechowywano w temperaturze otoczenia w zamkniętych pojemnikach przez 24 godziny, w celu wyrównania wilgotności w całej masie owoców. Wilgotność właściwa otrzymanych suszy mieściła się w przedziale  $0,068-0,013 \text{ g H}_2\text{O}\cdot(\text{g s s})^{-1}$ , co odpowiadało zawartości suchej substancji 93-98% (tab. 1).

Objętość owoców truskawki przed suszeniem ( $V_1$ ) wyznaczono zgodnie z metodyką podaną przez Mazza (1983), zaś objętość truskawek wysuszonych ( $V_2$ ) zastosowanymi w pracy metodami z wykorzystaniem kulek szklanych o średnicy  $150-212 \mu\text{m}$  (producent SIGMA) zgodnie z metodyką podaną przez Hwang i Hayakawa (1980). Oznaczenia wykonano w czterech powtórzeniach. Obliczono gęstość ( $\rho = \frac{m}{V_2}$ ,  $\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$ ) oraz objętościowy skurcz suszarniczy ( $s = \left(1 - \frac{V_2}{V_1}\right)$ , %).

Właściwości mechaniczne i reologiczne zbadano za pomocą teksturometru Texture Analyser TA-XT2 (Stable Micro System) w testach ściskania i relaksacji

naprężeń. Suszone truskawki (pojedyncze owoce) ściskano między dwiema równoległymi płytami, przy prędkości ruchu głowicy  $1 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ , do momentu uzyskania odkształcenia względnego 0,25. Pracę ściskania obliczono jako pole pod krzywą ściskania w układzie współrzędnych: siła-przesunięcie. Test relaksacji naprężeń przeprowadzono przy wartości siły 10 N. Z krzywej relaksacji wyznaczono wartość modułu relaksacji ( $S_r$ ) zgodnie z Lewickim i Sitkiewicz (1999). Moduł relaksacji ( $S_r$ ) przedstawia tę część naprężenia, która nie ulegnie zrelaksowaniu, nawet po upływie nieskończenie długiego czasu. Im większa wartość modułu relaksacji, tym we właściwościach badanego materiału występuje przewaga cech sprężystych w porównaniu do lepkich. Oznaczenia wykonano w dziesięciu powtórzeniach.

**Tabela 1.** Schemat wykonanych doświadczeń oraz wilgotność właściwa suszy truskawkowych  
**Table 1.** Scheme of experiments and specific water content in dried strawberries

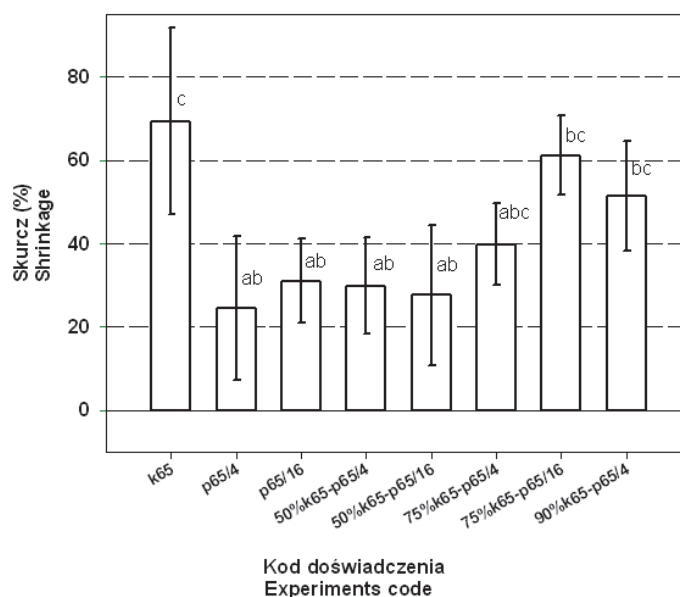
Metoda suszenia Drying method	Kod doświadczenia Experiment code	Temperatura Temperature (°C)	Ciśnienie Pressure (kPa)	Wilgotność właściwa suszy Specific water content ( $\text{g H}_2\text{O}\cdot(\text{g s s})^{-1}$ )
konwekcyjna convective	k65	65	100	0,068
próżniowa vacuum	p65/4	65	4	0,016
	p65/16	65	16	0,030
konwekcyjno- próżniowa convective- vacuum	50%k65-p65/4	65	4	0,020
	50%k65-p65/16	65	16	0,031
	75%k65-p65/4	65	4	0,021
	75%k65-p65/16	65	16	0,044
	90%k65-p65/4	65	4	0,013

Do interpretacji graficznej (wykresy kolumnowe z odchyleniami standardowymi) oraz statystycznej zgromadzonych danych wykorzystano programy Sigma Plot 12 i IBM SPSS 20. Przed wykonaniem jednoczynnikowej analizy wariancji (statystyki: F lub Welcha) oraz testów wielokrotnych porównań (Tukeya lub Tamhane'a) zweryfikowano hipotezy o równości wariancji (test Levene'a). W przypadku możliwości zidentyfikowania dwóch lub więcej grup jednorodnych oznaczano je małymi literami alfabetu na wykresach. Wnioskowanie statystyczne przeprowadzono na poziomie istotności  $\alpha = 0,05$ .

## WYNIKI I DYSKUSJA

Na rysunku 1 przedstawiono wartości skurczu objętościowego badanych suszy truskawkowych, a na rysunku 2 ich gęstość pozorną.

Wartość skurczu dla truskawek suszonych konwekcyjnie w temperaturze 65°C (k65) wynosiła 69,4%. Tak duży skurcz materiału jest charakterystyczny dla suszonych produktów o budowie tkankowej uzyskanych metodą suszenia konwekcyjnego (Wang i Brennan 1995). Skurcz truskawek suszonych metodą próżniową był istotnie mniejszy i wynosił od 24,5% przy suszeniu próżniowym pod ciśnieniem 4 kPa (p65/4) do 31,1% przy ciśnieniu w komorze suszarki 16 kPa (p65/16). Wzrost ciśnienia w komorze suszarki próżniowej spowodował wzrost wartości skurczu truskawek, co zaobserwowali również w swoich badaniach Piotrowski i in. (2011). Tego rodzaju zmiany w tkance roślinnej są rezultatem ekspansji wody w warunkach obniżonego ciśnienia: im niższe ciśnienie w komorze suszarki, tym objętość właściwa powstającej pary wodnej jest większa, co przekłada się na mniejszy skurcz suszonego materiału.

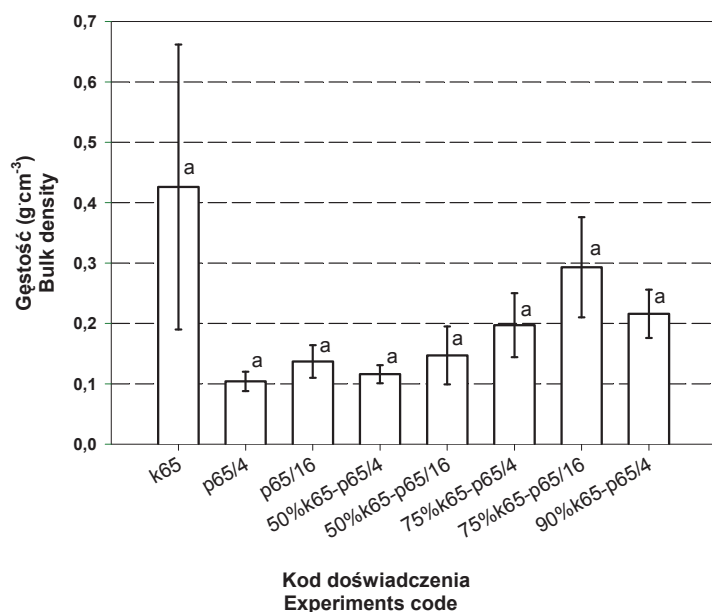


**Rys. 1.** Wartości skurczu objętościowego truskawek suszonych różnymi metodami (kody doświadczenia podano w tab. 1); brak statystycznie istotnej różnicy oznaczają te same litery (a, b, c); pionowe odcinki na wykresie oznaczają odchylenie standardowe.

**Fig. 1.** Volumetric shrinkage of strawberries dried by different methods (experiment codes are given in Tab. 1); not statistically significant differences are indicated by the same letters (a, b, c); vertical segments on the graph represent standard deviation

Skurcz truskawek suszonych próżniowo, przy obydwu zastosowanych poziomach ciśnienia w komorze suszarki próżniowej, oraz konwekcyjnie-próżniowo w którym usunięto 50% wody w etapie suszenia próżniowego, był istotnie niższy od skurczu truskawek otrzymanych metodą suszenia konwekcyjnego. Zwiększenie stopnia usunięcia wody w etapie suszenia konwekcyjnego do 75 i 90% skutkowało wzrostem skurczu objętościowego otrzymanych suszy do poziomu porównywalnego ze skurczem truskawek suszonych konwekcyjnie (rys. 1).

Gęstość pozorna truskawek suszonych metodą konwekcyjną w 65°C (k65) była równa 0,426 g·cm<sup>-3</sup> (rys. 2). Gęstości pozorne truskawek suszonych próżniowo i konwekcyjnie-próżniowo zawarte były w przedziale od 0,104 g·cm<sup>-3</sup> dla truskawek suszonych próżniowo przy ciśnieniu 4 kPa (p65/4) do 0,293 g·cm<sup>-3</sup> dla truskawek, z których usunięto 75% początkowej zawartości wody metodą suszenia konwekcyjnego w temperaturze 65°C, a następnie suszono próżniowo w takiej samej temperaturze przy ciśnieniu 16 kPa (75%k65-p65/16) (rys. 2).



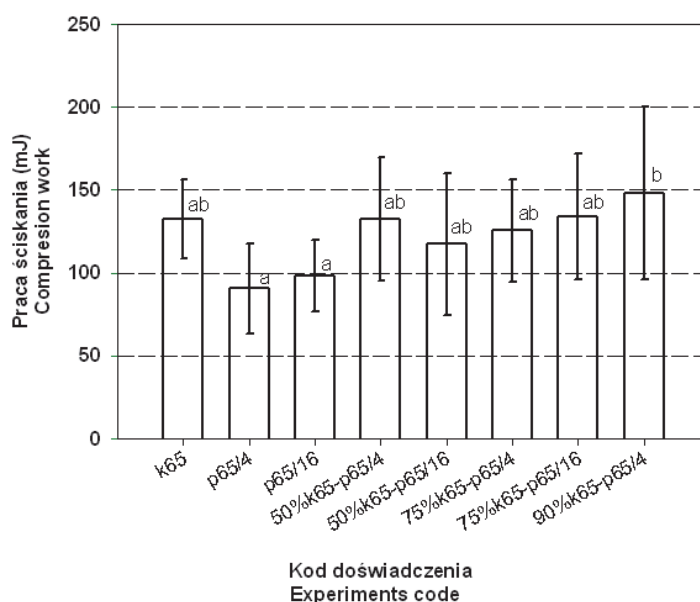
**Rys. 2.** Gęstość pozorna truskawek suszonych różnymi metodami (kody doświadczenia podano w tab. 1); pionowe odcinki na wykresie oznaczają odchylenie standardowe

**Fig. 2.** Bulk density of strawberries dried by different methods (experiment codes are given in Tab. 1); vertical segments on the graph represent standard deviation

Przy stosowaniu kombinowanych metod suszenia zwiększanie ilości wody usuwanej w etapie suszenia konwekcyjnego powoduje niewielki wzrost gęstości

otrzymanych suszy. Najniższą gęstość pozorną otrzymano w procesie, w którym w etapie suszenia konwekcyjnego usunięto 50% początkowej zawartości wody.

Praca ściskania pojedynczych truskawek, do uzyskania odkształcenia względnego 0,25, została przedstawiona na rysunku 3. Jej wartość, dla wszystkich zastosowanych w pracy metod suszenia, mieści się w przedziale od 90 do 150 mJ. Najniższe wartości pracy ściskania otrzymano dla truskawek suszonych metodami próżniowymi (p65/4 i p65/16). Suszenie konwekcyjno-próżniowe, bez względu na ilość wody usuniętej w etapie suszenia konwekcyjnego, dawało w efekcie susz wymagający podobnego jak w przypadku suszu konwekcyjnego, większego nakładu pracy w celu spowodowania jego deformacji.

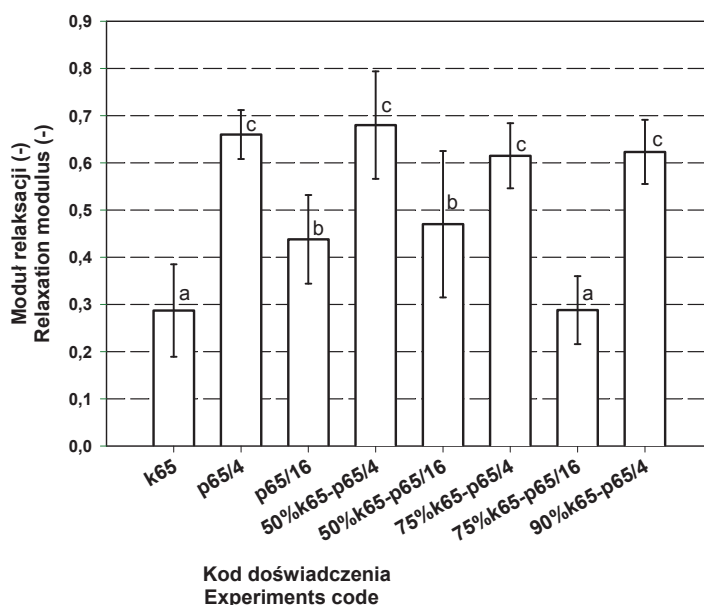


**Rys. 3.** Praca ściskania truskawek suszonych różnymi metodami (kody doświadczenia podano w tab. 1); brak statystycznie istotnej różnicy oznaczają te same litery (a, b); pionowe odcinki na wykresie oznaczają odchylenie standardowe

**Fig. 3.** Compression work of strawberries dried by different methods (experiment codes are given in Tab. 1); not statistically significant differences are indicated by the same letters (a, b); vertical segments on the graph represent standard deviation

Wartość modułu relaksacji ( $S_r$ ) dla truskawek suszonych konwekcyjnie w temperaturze 65°C (k65) wynosiła około 0,30, co oznacza, że susz ten wykazuje cechy ciała lepkosprężystego, z przewagą cech lepkich nad sprężystymi (rys. 4). Zastosowanie suszenia próżniowego istotnie skutkowało zwiększeniem wartości modułu relaksacji, przy czym im niższe ciśnienie w komorze suszarki, tym wyższe warto-

ści modułu relaksacji, co oznacza wzrost udziału właściwości sprężystych. Przy suszeniu próżniowym w warunkach ciśnienia w komorze suszarki 4 kPa, zarówno przy stosowaniu suszenia próżniowego (p64/4) jak i konwekcyjno-próżniowego (dla każdego poziomu wody usuwanej w etapie suszenia konwekcyjnego), wartość modułu relaksacji ( $S_r$ ) była większa od 0,6, co pozwala sklasyfikować otrzymane susze jako sprężystolepkie. Wartość modułu relaksacji suszy uzyskanych przy wyższym ciśnieniu w komorze suszarki (16 kPa), w porównaniu do suszenia konwekcyjnego, wzrosła ponad 1,5-rza (za wyjątkiem suszu 75%k65-p65/16), czyli zastosowanie wyższego ciśnienia w komorze suszarki próżniowej dało w efekcie mniejszy wzrost udziału cech sprężystych we właściwościach mechanicznych otrzymanych suszy.



**Rys. 4.** Moduł relaksacji truskawek suszonych różnymi metodami (kody doświadczenia podano w tab. 1); brak statystycznie istotnej różnicy oznaczają te same litery (a, b, c); pionowe odcinki na wykresie oznaczają odchylenie standardowe

**Fig. 4.** Relaxation modulus of strawberries dried by different methods (experiment codes are given in Tab. 1); not statistically significant differences indicated by the same letters (a, b, c); vertical segments on the graph represent standard deviation

Tkaninę roślinną można przedstawić jako ciecz zamkniętą w matrycy ciała stałego. Usunięcie wody w procesie suszenia powoduje wzrost lepkości części płynnej i w rezultacie wzrost mechanicznej wytrzymałości samej matrycy (Lewicki i Sit-



kiewicz 1999). Suszenie próżniowe powoduje, w porównaniu do metod suszenia konwekcyjnego, wzrost objętości materiałów poddawanych suszeniu i w związku z tym powstawanie wewnątrz tkanki wolnych przestrzeni. Materiały takie po wysuszeniu są bardziej kruche i wymagają, w porównaniu do suszy konwekcyjnych, mniejszego nakładu pracy do ich odkształcenia. Obecność wolnych przestrzeni determinuje wzrost znaczenia właściwości samej matrycy podczas odkształcania materiału pod działaniem sił zewnętrznych, co objawia się wzrostem sprężystości tkanki. Kombinowane, konwekcyjno-próżniowe metody suszenia pozwalają na otrzymanie suszy o podobnych właściwościach jak susze uzyskane z wykorzystaniem metody suszenia próżniowego, o ile w etapie suszenia konwekcyjnego usunie się taką ilość wody, która zapewni, że lepkość części płynnej i sztywność matrycy umożliwią jeszcze ekspansję pary wodnej w warunkach ciśnienia panującego w komorze suszarki. Dla zastosowanych w pracy metod suszenia konwekcyjno-próżniowego usunięcie z owoców truskawek w etapie suszenia konwekcyjnego 75% i więcej początkowej zawartości wody, skutkowało uzyskiwaniem suszy o większym skurczu i wyższej gęstości w porównaniu do suszy próżniowych oraz otrzymanych przy usunięciu w etapie suszenia próżniowego 50% początkowej zawartości wody. Tak więc wydaje się, że optymalnym stopniem odwodnienia truskawek metodą konwekcji przed suszeniem próżniowym jest poziom 50% początkowej zawartości wody, co odpowiada wilgotności właściwej około  $3,70 \text{ g H}_2\text{O} \cdot (\text{g s s})^{-1}$ .

Należy zauważyć występowanie zależności pomiędzy wilgotnością właściwą badanych suszy a wartością modułu relaksacji ( $S_r$ ): im niższa wilgotność właściwa suszy truskawkowych tym wyższa wartość modułu relaksacji (tab. 1 oraz rys. 4). Zróżnicowanie wilgotności właściwej badanych suszy wynikało z przebiegu krzywych suszenia truskawek badanymi w pracy metodami oraz procedurą uznawania osiągnięcia stanu wilgotności równowagowej w danych warunkach suszenia. Najwyższą wartość wilgotności właściwej ( $0,068 \text{ g H}_2\text{O} \cdot (\text{g s s})^{-1}$ ) uzyskano przy zastosowaniu suszenia konwekcyjnego, czyli metody o najmniejszej szybkości suszenia. Stosując suszenie próżniowe i konwekcyjno-próżniowe, które to metody charakteryzują się wyższymi szybkościami suszenia w porównaniu do suszenia konwekcyjnego, uzyskiwano niższe wartości wilgotności właściwej otrzymanych suszy, przy czym wyższe ciśnienie (16 kPa) w komorze suszarki skutkowało wyższymi wartościami wilgotności względnej suszy. Tak więc stwierdzone zróżnicowanie właściwości lepkosprężystych badanych suszy truskawkowych wynika najprawdopodobniej tylko pośrednio z zastosowanej metody suszenia i wymaga dalszych szczegółowych badań.

## WNIOSKI

1. Zastosowanie kombinowanych, konwekcyjno-próżniowych metod suszenia truskawek umożliwi uzyskanie suszy o niższej, niż w przypadku suszenia konwekcyjnego, gęstości pozornej, niskim skurczu oraz korzystnych, z punktu widzenia konsumenta, właściwościach mechanicznych.

2. W przypadku suszenia konwekcyjno-próżniowego optymalnym poziomem usunięcia wody w etapie suszenia konwekcyjnego, przed suszeniem próżniowym, było 50% jej początkowej zawartości, co odpowiada wilgotności właściwej owoców truskawek około  $3,70 \text{ g H}_2\text{O} \cdot (\text{g s})^{-1}$ .

## PIŚMIENNICTWO

- Chiralt, A., Fito, P., 2003. Transport mechanisms in osmotic dehydration: the role of the structure. *Food Sci. Technol. Int.*, 9 (3), 179-185.
- Ciurzyńska A., Lenart A., 2011. Freeze-Drying – Application in Food Processing and Biotechnology – A Review. *Pol. J. Food Nutr. Sci.*, 61 (3), 165-171.
- Contreras C., Martin-Esparza M.E., Martinez-Navarrete N., Chiralt A., 2007. Influence of osmotic pre-treatment and microwave application on properties of air dried strawberry related to structural changes. *Eur. Food Res. Technol.*, 224 (4), 499-504.
- Figiel A., 2010. Drying kinetics and quality of beetroots dehydrated by combination of convective and vacuum-microwave methods. *J. Food Eng.*, 98 (4), 461-470.
- Fito, P., Chiralt, A., Barat, J.M., Martinez-Monzo J., 2002. Mass transport and deformation relaxation phenomena in plant tissues. In: *Engineering and food for the 21st Century* (Eds. Welti-Chanes J., Barbosa-Canovas G., Aguilera J.M.). CRC Press, Boca Raton, 235-252.
- Hwang M.P., Hayakawa K., 1980. Bulk densities of cookies undergoing commercial baking processes. *J. Food Sci.*, 45, 1400-1403.
- Krulis M., Kühnert S., Leiker M., Rohm H., 2005. Influence of energy input and initial moisture on physical properties of microwave-vacuum dried strawberries. *Eur. Food Res. Technol.*, 221(6), 803-808.
- Lewicki P.P., Lukaszuk A., 2000. Effect of osmotic dewatering on rheological properties of apple subjected to convective drying. *J. Food Eng.*, 45 (3), 119-126.
- Lewicki P.P., Sitkiewicz I., 1999. Effect of pre-treatment and storage on rheological properties of dried onion. *Int. J. Food Properties*, 2(1), 23-37.
- Mazza G., 1983. Dehydration of carrots. Effect of pre-drying treatment on moisture transport and product quality. *J. Food Technol.*, 18, 113-123.
- Moraga G., Martinez-Navarrete N., MartineMonzo J., Chiralt A., 2000. Influence of convective and osmotic drying on some color and firmness properties of strawberry, w: *Proceedings of the 12<sup>th</sup> International Drying Symposium—IDS2000* (pp. 1-14). Amsterdam: Elsevier Science (CD-ROM, 2000, IDS' 2000, no. 419).
- Nawirska A., Figiel A., Kucharska A. Z., Sokół-Letowska A., Biesiada A., 2009. Drying kinetics and quality parameters of pumpkin slices dehydrated using different methods. *J. Food Eng.*, 94 (1), 14-20.
- Piotrowski D., Biront J., Lenart A., 2008. Barwa i właściwości fizyczne odwadnianych osmotycznie i suszonych sublimacyjnie truskawek. *Zywność. Nauka. Technologia. Jakość.*, 4(59), 216-226.

- Piotrowski D., Janowicz M., Sitkiewicz I., Ciużyńska A., Lenart A., 2011. Wpływ temperatury i ciśnienia w komorze suszarki próżniowej na proces suszenia oraz na skurcz truskawek. Zesz. Probl. Post. Nauk Roln., 558, 197-206.
- Ramos I.N., Brandao T.R.S., Silva C.L.M., 2003. Structural Changes During Air Drying of Fruits and Vegetables. Food Sci. Technol. Int., 9, 3, 201-206.
- Sitkiewicz I., Piotrowski D., Ciużyńska A., Janowicz M., Lenart A., 2011. Wybrane właściwości mechaniczne suszonych próżniowo truskawek. Zesz. Probl. Post. Nauk Roln., 563, 145-152.
- Wang N., Brennan J.G., 1995: Changes in structure, density and porosity of potato during dehydration. J. of Food Eng., 24, (1), 47-60.
- Witrowa-Rajchert D., 1999. Rehydracja jako wskaźnik zmian zachodzących w tkance roślinnej w czasie suszenia. Fundacja Rozwój SGGW, Warszawa.

## INFLUENCE OF DRYING METHODS ON SELECTED PHYSICAL AND MECHANICAL PROPERTIES OF STRAWBERRIES

*Iwona Sitkiewicz, Dariusz Piotrowski, Monika Janowicz, Łukasz Szlendak*

Department of Food engineering and Process Management  
Faculty of Food Sciences, Warsaw University of Life Sciences, WULS-SGGW  
ul. Nowoursynowska 159, 02-776 Warszawa  
e-mail: iwona\_sitkiewicz@sggw.pl

**Abstract.** The aim of this study was to determine the effect of drying methods on selected physical and mechanical properties of dried strawberries. Strawberries cv. Senga Sengana, thawed before the drying, were dried at 65°C using convective, vacuum (pressure in the dryer 4 and 16 kPa) and convective-vacuum drying methods; in the last method 50, 75 and 90% of the initial water content was removed at the stage of convective drying. Physical properties such as shrinkage and apparent density, and mechanical properties evaluated from compression and stress relaxation tests, such as compression work and relaxation modulus, were determined. The performed analysis showed that using the combined convective-vacuum drying methods allowed to obtain dried strawberries with shrinkage lower than 30%, low bulk density (0.1-0.15 g cm<sup>-3</sup>), and also with mechanical properties favourable for the consumers. The optimal degree of strawberries dehydration at the stage of convective drying prior to vacuum drying was 50% of the initial water content, which corresponds to specific humidity of about 3.70 g H<sub>2</sub>O (g d m)<sup>-1</sup>.

**Key words:** strawberries, vacuum drying, convective-vacuum drying, shrinkage, bulk density, mechanical properties