

## WPLYW METODY SUSZENIA NA WŁAŚCIWOŚCI MECHANICZNE I STRUKTURĘ SUSZÓW JABŁKOWYCH

*Ewa Jakubczyk, Piotr P. Lewicki*

Katedra Inżynierii Żywności i Organizacji Produkcji,  
Szkoła Główna Gospodarstwa Wiejskiego w Warszawie

### Wstęp

Materiał roślinny poddany procesom technologicznym zmienia swą strukturę, często skład chemiczny, zawartość wody oraz właściwości mechaniczne. Szczególnym przypadkiem odwodnienia tkanki roślinnej przez odparowanie wody do poziomu gwarantującego trwałość produktu jest proces suszenia. W czasie procesu wytrzymałość mechaniczna materiału wzrasta, a naprężenia skurczowe prowadzą do powstania wolnych przestrzeni wewnątrz materiału [LEWICKI i in. 1994].

Większość metod suszenia jest przyczyną degradacji tkanki roślinnej oraz ma wpływ na kurczenie i zapadanie się struktury. Wyjątek stanowi suszenie sublimacyjne, gdyż podczas sublimacji kryształów lodu od powierzchni materiału do jego wnętrza pozostają puste pory, przez które para wodna przedostaje się na powierzchnię bez uszkodzenia struktury [LORENTZEN 1980].

Najczęściej stosowaną metodą suszenia żywności do poziomu zapewniającego trwałość jest suszenie konwekcyjne. Podczas procesu liczba komórek zmniejsza się, co świadczy, że naprężenia skurczowe niszczą ściany komórkowe i formują w nim większe struktury rozpoznawane w analizie obrazu jako komórki [LEWICKI, DRZEWUCKA-BUJAK 1998].

Właściwości mechaniczne suszów zależą od wielu czynników i należy oceniać, że dobierając odpowiednią metodę suszenia można kształtować właściwości suszów.

Celem pracy było określenie wpływu metody suszenia na właściwości mechaniczne i strukturę otrzymanych produktów na przykładzie jabłek.

### Materiał i metody

Materiał do badań stanowiły jabłka odmiany Idared, przechowywane w temperaturze 4°C przy wilgotności 80–90% przez 4 miesiące od zbioru. Z jabłek wykrawano walce o średnicy 15 mm i wysokości 5 mm. Jabłka suszono: konwekcyjnie w temperaturze 70°C i prędkości powietrza 1,7 m·s<sup>-1</sup> do osiągnięcia równowagowej zawartości wody, mikrofalowo-konwekcyjnie w temp. 70°C przy prędko-

ci powietrza  $1,7 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$  i mocy generatora  $250 \text{ W}$ , po usunięciu  $90\%$  wody moc zmniejszono do  $200 \text{ W}$  i walce suszono do stałej masy; sublimacyjnie po zamrażaniu w temp.  $-18^\circ\text{C}$  przy ciśnieniu  $37 \text{ Pa}$  i temperaturze półki  $21^\circ\text{C}$  przez  $24$  godziny. Następnie susze umieszczono w pokoju termostatowym o temp.  $22^\circ\text{C}$  w eksykatorach, które zawierały bezwodny chlorek wapnia ( $\text{CaCl}_2$ ).

Badania właściwości mechanicznych przeprowadzono po  $5$  tygodniach przechowywania wykorzystując test ściskania. Próbki jabłek umieszczono w metalowym cylindrze jedna na drugiej tworząc słup o wysokości  $40 \text{ mm}$ . Tłok głowicy o średnicy  $15 \text{ mm}$  połączony z Maszyną Wytrzymałościową ZWICK stosowano do ściskania próbek w cylindrze. Ściskanie przeprowadzono przy prędkości  $10 \text{ mm}\cdot\text{min}^{-1}$  do odkształcenia wysokości próbek o  $20\%$ .

Odształcenie względne próbki obliczono z równania:

$$\varepsilon_w = \frac{l_o - l}{l_o},$$

gdzie:

$l_o$  – wymiar próbki przed ściśnięciem (mm),

$l$  – wymiar próbki po ściśnięciu (mm);

odkształcenie rzeczywiste próbki obliczono ze wzoru:

$$\varepsilon_w = -\ln(1 - \varepsilon_w),$$

zaś naprężenie obliczono z zależności:

$$\sigma = \frac{F}{S},$$

gdzie:

$F$  – siła (kN),

$S$  – pole przekroju poprzecznego próbek przed odkształceniem ( $\text{m}^2$ ).

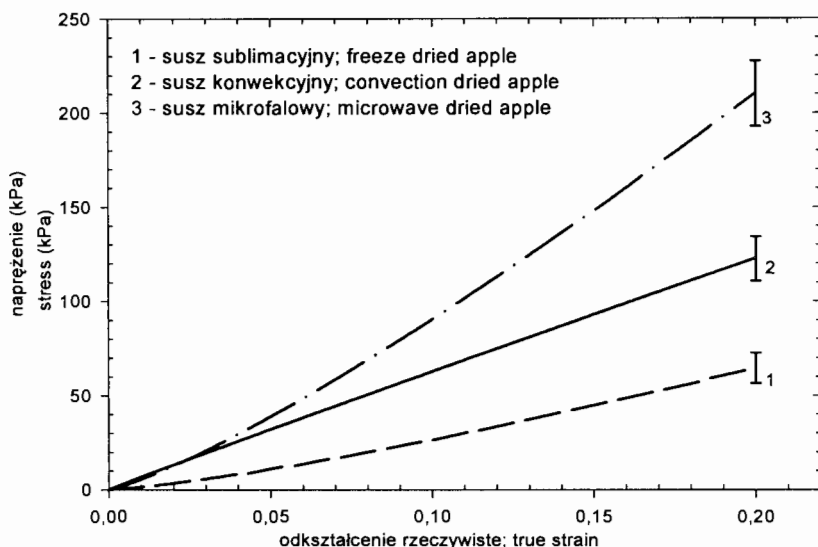
Przygotowanie preparatów mikroskopowych: susze odwadniano w absolutnym alkoholu etylowym ( $4$  tygodnie), następnie przeprowadzono przez odwodniony aceton  $2 \times 0,5$  godz. oraz przesycono żywicą eponową. W dalszej kolejności skrawki materiału umieszczano w kapsułkach żelatynowych wypełnionych czystym eponem. Polimeryzację bloczków eponowych przeprowadzono w temperaturze  $60^\circ\text{C}$  przez  $24$  godziny. Następnie krojono bloczki mikrotomem na skrawki o grubości  $3 \mu\text{m}$ , uzyskane skrawki nanoszono na szkiełka mikroskopowe, po czym barwiono azurem i błękitem metylowym na boraksie.

Zmiany struktury zachodzące w materiale podczas suszenia były obserwowane przy pomocy mikroskopu w świetle przechodzącym i rejestrowane w komputerze. Obrazy mikroskopowe zanalizowano przy użyciu programów komputerowych Mocha 1.2 (Jandel Scientific), określając pole komórek oraz współczynnik kształtu.

## Wyniki i dyskusja

Po  $5$  tygodniach przechowywania w eksykatorze susze osiągnęły zblizoną zawartość wody  $0,01 \text{ g}\cdot\text{g}^{-1}$  s.s. Odporność na ściskanie suszu sublimacyjnego, spoś-

ród wszystkich badanych suszów była najniższa, wartość naprężenia przy  $\varepsilon = 0,2$  dla tego suszu była prawie dwukrotnie niższa od wartości uzyskanej dla suszu konwekcyjnego (rys. 1). Susz sublimacyjny dobrze zachowuje kształt próbek surowca, jednak jest materiałem bardzo kruchym o małej wytrzymałości mechanicznej. Dla suszu mikrofalowego obserwowany był wyraźny wzrost twardości i sztywności materiału w porównaniu z badanymi suszami. Uzyskane naprężenie przy odkształceniu rzeczywistym  $\varepsilon = 0,2$  dla suszu mikrofalowego było aż o 40% większe od wartości otrzymanej dla suszu konwekcyjnego.



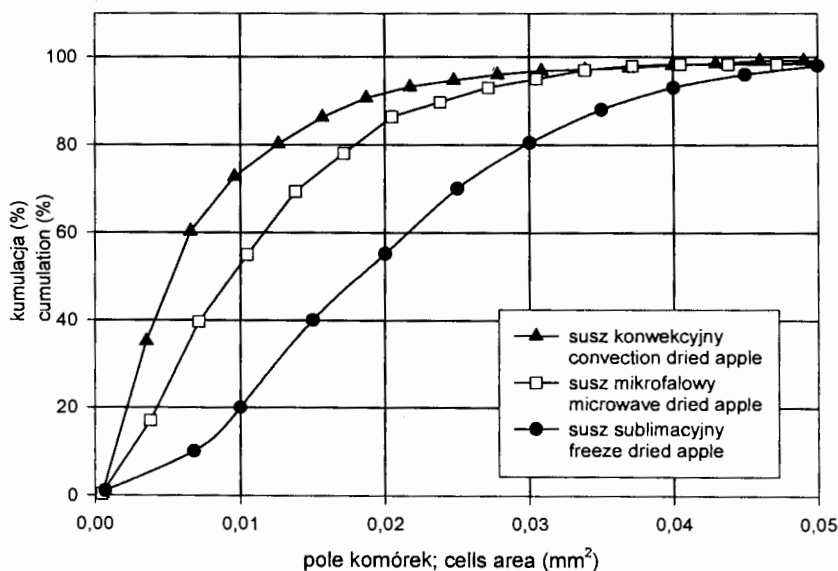
Rys. 1. Wpływ metody suszenia na krzywe ściskania  
Fig. 1. Effect of method of drying on compression curves

W suszeniu konwekcyjnym wilgoć usuwana jest z powierzchni materiału, a woda dyfunduje do ogrzewanej powierzchni. Ze znacznie większą prędkością zachodzi proces usuwania wody podczas suszenia mikrofalowego, w którym większość wody odparowuje przed oduszczeniem próbki [SCHIFFMAN 1995]. Metoda suszenia kształtuje właściwości mechaniczne suszów, ale również w istotny sposób wpływa na ich strukturę.

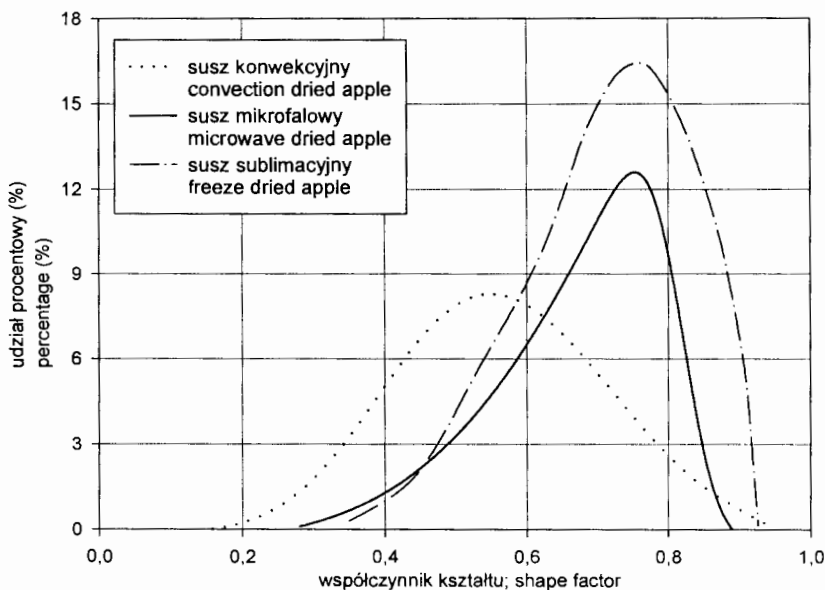
Z krzywych skumulowanych (rys. 2) widać, że 84% komórek suszu konwekcyjnego i 72% komórek suszu mikrofalowego ma powierzchnię mniejszą od 0,015 mm<sup>2</sup>. Dla jabłek suszonych mikrofalowo pole komórek było większe niż dla suszu konwekcyjnego. W przypadku suszu sublimacyjnego w powyższym przedziale znajduje się 40% komórek. Uzyskane wyniki wskazują na większy udział komórek o dużym polu powierzchni w strukturze suszu sublimacyjnego w porównaniu z suszem konwekcyjnymi i mikrofalowym.

Histogramy rozkładu współczynnika kształtu wskazują na wpływ zastosowanej metody suszenia na kształt komórek (rys. 3). W suszu konwekcyjnym występowały zdeformowane komórki, dla których współczynnik kształtu przyjmował wartości od 0,20 do 0,92, przy maksimum wynoszącym 0,55. W suszu mikrofalowym

wym i sublimacyjnym wartość maksymalna współczynnika kształtu komórek zbliżona była do 0,75. Większy udział komórek o tym kształcie obserwowano w suszu sublimacyjnym, bo wynosił on 17%, podczas gdy w suszu mikrofalowym 12%.



Rys. 2. Wpływ metody suszenia na krzywe skumulowane pola komórek  
Fig. 2. Effect of drying method on cumulative curves of cells area



Rys. 3. Wpływ metody suszenia na współczynnik kształtu  
Fig. 3. Effect of drying method on the shape factor of cells

Różny może być stopień zmian zachodzących podczas suszenia. Dla jabłek suszonych mikrofalowo, komórki były mniej zdeformowane niż w suszu konwekcyjnym. Współczynnik kształtu (informujący o zmianie kształtu i kulistości) komórek suszu konwekcyjnego przyjmował wartości mniejsze niż dla suszu mikrofalowego, co świadczyło o wydłużeniu komórek i ich eliptycznym kształcie. W wyniku zastosowania suszenia sublimacyjnego zniszczeniu ulegają struktury tkankowe, które nie stawiają oporu pod wpływem przyłożonego obciążenia. Porowata struktura suszu sublimacyjnego sprawia, iż w początkowym etapie ściskania usuwamy powietrze z materiału. Zniszczone podczas suszenia ściany komórkowe powodują zmniejszoną wytrzymałość mechaniczną materiału w porównaniu z jabłkiem suszonym konwekcyjnie, w którym proces dezintegracji struktur komórkowych jest prawdopodobnie mniej zaawansowany.

### Wnioski

Metoda suszenia istotnie wpływała na odporność mechaniczną materiału. Przy zastosowaniu suszenia sublimacyjnego uzyskano produkt o dużej porowatości, którego wytrzymałość mechaniczna była najmniejsza spośród wszystkich badanych suszów. Istotny wpływ na większą odporność na ściskanie w porównaniu z suszem konwekcyjnym, miało zastosowanie suszenia mikrofalowego, które jednocześnie prowadziło do uzyskania suszu o mniejszym zniszczeniu struktury.

### Literatura

LEWICKI P.P., DRZEWUCKA-BUJAK J. 1998. *Effect of drying on tissue structure of selected fruits and vegetables*. Akritidis B., Marinos-Kouris D., Saravacos G.D., Mujumdar A.S. (red.). *Drying'98, Proceedings of the 11<sup>th</sup> International Drying Symposium*, 19–22 VIII 1998. ZITI Editions, Thessaloniki: 1093–1099.

LEWICKI P.P., RAJCHERT D., ŁAZUKA W. 1994. *Zmiany właściwości rehydracyjnych ziemniaków w procesie suszenia konwekcyjnego*. Lewicki P.P. (red.). VII Sympozjum Suszarnictwa, Warszawa, 20–22 VI 1994. Wydawnictwo SGGW, Tom I: 149–162.

LORENTZEN J. 1980. *Nowe kierunki rozwoju liofilizacji*, w: *Nowe metody zagęszczania i suszenia żywności*. A. Spicer (red.), WNT, Warszawa: 408–427.

SCHIFFMAN R.F. 1995. *Microwave and dielectric drying*, w: *Handbook of Industrial Drying*. Mujumdar A.S. (red.). Marcel Dekker Inc., New York, Vol. 1: 345–372.

**Słowa kluczowe:** właściwości mechaniczne, suszenie konwekcyjne, suszenie mikrofalowe, suszenie sublimacyjne, struktura suszów

## Streszczenie

Badano wpływ metody suszenia na właściwości mechaniczne i strukturę jabłek suszonych konwekcyjnie, mikrofalowo i sublimacyjnie. Na podstawie testów ściskania i obrazów mikroskopowych stwierdzono, że zastosowanie każdej z tych metod daje susze o zróżnicowanej wytrzymałości mechanicznej i strukturze tkankowej.

## EFFECT OF DRYING METHOD ON MECHANICAL PROPERTIES AND STRUCTURE OF DRIED APPLES

*Ewa Jakubczyk, Piotr P. Lewicki*

Department of Food Engineering and Process Management,  
Warsaw Agricultural University, Warszawa

Key words: mechanical properties, convective drying, microwave drying, freeze-drying, structure of dried apples

### Summary

The effect of drying method on mechanical properties and structure of dried apples was determined. Compression tests and examination of microphotographs of dried apples showed that mechanical properties are greatly dependent on drying method. It was also observed that drying method affects the structure of apple tissue.

Dr inż. Ewa **Jakubczyk**

Katedra Inżynierii Żywności i Organizacji Produkcji

Szkoła Główna Gospodarstwa Wiejskiego

ul. Nowoursynowska 159C

02-787 WARSZAWA

e-mail: jakubczyk@alpha.sggw.waw.pl