

## ZMIANY STRUKTURY WEWNĘTRZNEJ SUSZONEJ KONWEKCYJNIE TKANKI JABŁEK WYWOŁANE ODWADNIANIEM OSMOTYCZNYM

Monika Janowicz, Ewa Domian, Andrzej Lenart

*Katedra Inżynierii Żywności i Organizacji Produkcji,*

*Szkoła Główna Gospodarstwa Wiejskiego w Warszawie*

**Streszczenie.** Celem pracy było określenie, w jakim stopniu suszenie konwekcyjne niszcząco wpływa na strukturę wewnętrzną jabłek na przykładzie analizy powierzchni projekcyjnej komórek oraz ich współczynnika kształtu. Suszone jabłka, o strukturze wewnętrznej najbardziej zbliżonej do świeżego to materiał wstępnie poddany odwadnianiu osmotycznemu w roztworze sacharozy, a następnie suszony konwekcyjnie w temperaturze 70°C przy prędkości powietrza 1,5 m·s<sup>-1</sup>. W porównaniu do materiału suszonego, wstępnie odwadnianego w roztworze sacharozy, zaobserwowano wzrost powierzchni projekcyjnej komórek jabłek odwadnianych w glukozie i syropie skrobiowym przy nieistotnej zmianie współczynnika kształtu. Jednocześnie nie zaobserwowano zmian w wielkości powierzchni projekcyjnej i współczynnika kształtu komórek w tkance jabłek wstępnie odwadnianych osmotycznie przed suszeniem, w roztworach glukozy i syropu skrobiowego.

**Słowa kluczowe:** struktura, jabłka, suszenie konwekcyjne, odwadnianie osmotyczne, powierzchnia komórek, współczynnik kształtu

### Wprowadzenie

Struktura materiału biologicznego wynikająca z jego właściwości fizycznych, chemicznych i biologicznych jest jedną z wielu cech charakteryzujących tkankę roślinną. W przypadku materiałów roślinnych mamy do czynienia ze strukturą komórkową o dużej niejednorodności, podatną na różnego rodzaju działania np.: mechaniczne, termiczne i enzymatyczne. Procesy technologiczne mające na celu przedłużenie trwałości żywności oparte na wszystkich wymienionych działaniach mogą wywoływać cały szereg zmian struktury [Barat, Fito, Chiralt 2001; Bondaruk, Markowski, Błaszczak 2007; Lewicki, Witrowa-Rajchert, Mariak 1997].

Szczególnie miejsce w utrwalaniu żywności zajmuje suszenie wywołujące wiele niekorzystnych zmian w strukturze zewnętrznej jak i wewnętrznej materiału roślinnego. W wyniku zarówno wymiany ciepła jak i masy niezależnie od zastosowanej metody suszenie obserwuje się zmiany w badanym materiale zarówno w skali makro jak i mikro [Jamradlo-edluk, Nathakaranakule, Soponronnarit, Prachayawarakorn 2007; Janowicz, Lenart 2003b; Janowicz, Lenart 2004]. Gradienty temperatury występujące w materiale podczas procesu powodują powstawanie naprężeń termicznych, na skutek których powstają uszkodzenia wewnętrznej struktury, prowadzące w efekcie do powstawania pęknięć tak wewnątrz materiału jak i na jego powierzchni. Tworzenie się szczelin, pustych przestrzeni powoduje

zmianę wszystkich wskaźników odpowiadających za ogólną geometrię surowca [Lewicki, Jakubczyk 2004; Lewicki, Witrowa-Rajchert, Mariak 1997; Torreggiani, Bertolo 2001].

Celem pracy było wyjaśnienie wpływu odwadniania osmotycznego na strukturę wewnętrzną suszonej konwekcyjnie tkanki jabłek. Zakres pracy obejmował analizę wpływu odwadniania osmotycznego oraz rodzaju zastosowanej substancji osmotycznej na wielość komórek wyrażoną jako pole powierzchni projekcyjnej i współczynnik kształtu komórek.

## Metodyka badań

W badaniach zastosowano jabłka odmiany Idared, rozdrobnione w kostki o boku 10 mm, które poddano suszeniu konwekcyjnemu bez obróbki osmotycznej i po odwadnianiu osmotycznym. W celu zbadania wpływu rodzaju substancji osmotycznej użyto trzech rodzajów cukrów, które charakteryzowały się różną wielkością cząsteczek. Proces odwadniania prowadzono w roztworach o aktywność wody 0,9 w temperaturze 25°C (glukozy, sacharozy i syropu skrobiowego o DE 35-38). Stosunek masy roztworu osmotycznego do odwadnianego surowca wynosił 4:1. Proces odwadniania osmotycznego prowadzono w łaźni wodnej z wytrząsarką, która pozwalała utrzymać stałą temperaturę procesu i umożliwiała jego intensyfikację przez ciągłe mieszanie.

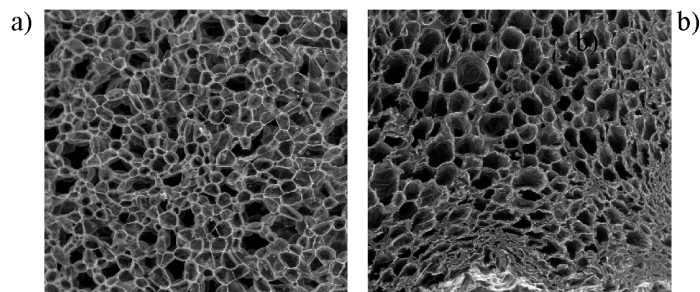
W celu określenia zmian struktury w suszonych jabłkach, wynikających z rodzaju zastosowanej substancji osmotycznej, jabłka odwadniano do uzyskania w nich przed suszeniem zawartości wody na poziomie  $3 \text{ gH}_2\text{O} \cdot (\text{g s.s.})^{-1}$ . Suszenie konwekcyjne prowadzono w stałych warunkach: temperatura 70°C, prędkość powietrza  $1,5 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$  do uzyskania stałej masy.

Zmiany struktury jabłek obserwowano na fotografiach wykonanych za pomocą mikroskopu skaningowego we współpracy z Pracownią Mikroskopii Elektronowej – Centrum Analitycznego SGGW. Analizy otrzymanych zdjęć dokonano za pomocą programu do analizy komputerowej obrazu MultiScanBase v. 14.02. firmy Computer Scanning Systems. Określano: powierzchnię projekcyjną komórek w  $\text{mm}^2$ , ich procentowy udział (częstość) oraz współczynnik kształtu. Interpretację badanych zmian struktury przeprowadzono na podstawie zależności częstości występowania komórek [%] w funkcji pola powierzchni projekcyjnej lub współczynnika kształtu. Punkty na przedstawionych w pracy wykresach obrazują liczbę komórek w procentach (częstość) występującą w danym zakresie omawianej wielkości geometrycznej.

W celu opracowania statystycznego jak i matematycznego uzyskanych wyników w pracy użyto programów komputerowych z pakietu Microsoft - Excel 7.0, Jandel - Table Curve 2D v. 3 oraz StatSoft - Statistica 6.0.

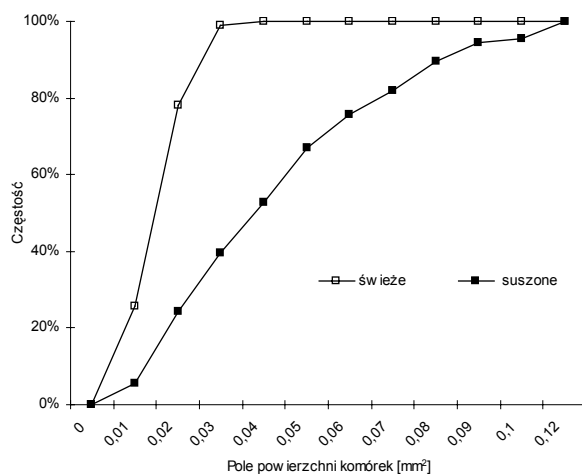
## Wyniki badań i ich analiza

Tkanka jabłek świeżych zbudowana jest z komórek o kształcie heksagonalnym (rys. 1). Średni współczynnik kształtu komórek surowego owocu wynosił 0,650 przy założeniu, iż 1 jest okręgiem, a 0 przedstawia odcinek. Powierzchnia projekcyjna komórek w tkance wynosiła około  $0,020 \text{ mm}^2$ , zaś przestrzenie międzykomórkowe zajmowały znaczną część tkanki materiału, co wynikało z dużej porowatości świeżych jabłek, w których zawartość powietrza szacuje się na ponad 17%. Stwierdzono, iż jabłka suszone konwekcyjnie posiadały dużo większy stosunek komórek do wolnych przestrzeni międzykomórkowych w stosunku do surowych owoców (rys. 1).

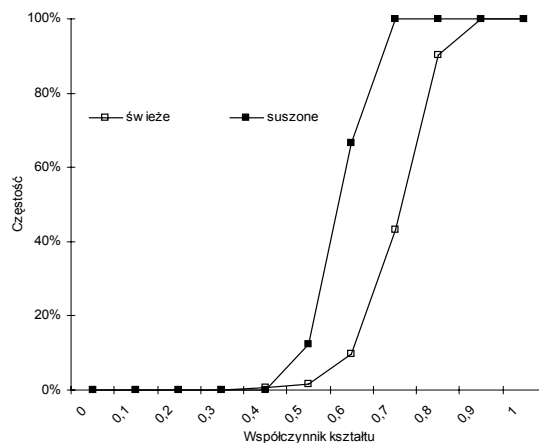


Rys. 1. Struktura wewnętrzna jabłek świeżych (a) i suszonych konwekcyjnie (b)  
 Fig. 1. Internal structure of fresh apples (a) and apples dried using the convection process (b)

W wyniku procesu suszenia zmieniła się zarówno średnia wielkość komórek wyrażona jako powierzchnia projekcyjna jak i współczynnik kształtu. Wielkość komórek jabłek, z których usunięto wodę wynosiła około  $0,040 \text{ mm}^2$ , a ich współczynnik kształtu zmniejszył się do około 0,570, co świadczy o znacznym ich spłaszczeniu (rys. 2 i 3). Potwierdzają to wyniki innych badaczy [Barat, Fito, Chiralt 2001; Lewicki, Rajchert, Łazuka 1994; Lewicki, Jakubczyk 2004; Wang, Brennan 1995], którzy podczas suszenia konwekcyjnego materiałów biologicznych zaobserwowali zjawisko powstawania mniejszego skurczu badanego materiału, niż miałyby to wynikać z objętości odparowanej wody. Fakt ten świadczyć może o usztywnieniu powierzchni suszonego surowca. Jednocześnie obserwowane w wielu przypadkach powstawanie pustych przestrzeni wewnątrz tkanki powodowane przez naprężenia skurczowe, zwiększa jej porowatość.

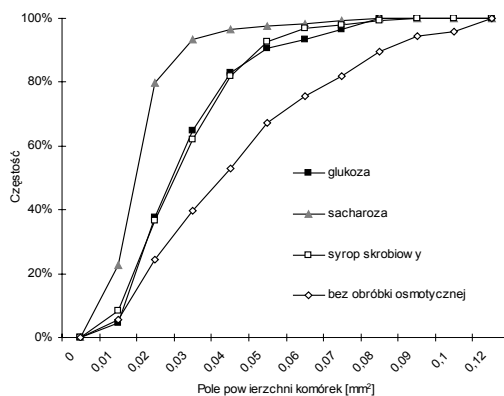


Rys. 2. Wpływ suszenia konwekcyjnego na zmiany powierzchni projekcyjnej komórek w tkance jabłek  
 Fig. 2. The impact of convection drying on changes in projection surface of cells in apple tissue



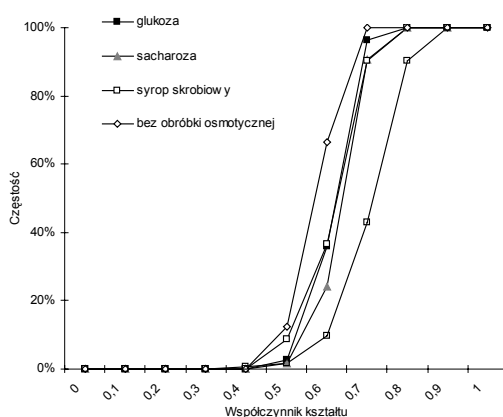
Rys. 3. Wpływ suszenia konwekcyjnego na zmiany współczynnika kształtu komórek w tkance jabłek  
 Fig. 3. The impact of convection drying on changes in shape factor of cells in apple tissue

Odwadnianie osmotyczne jako obróbka wstępna przed suszeniem wpływa na zmniejszenie powierzchni projekcyjnej komórek jak i na zwiększenie częstości ich występowania w danym zakresie pola powierzchni projekcyjnej. Średnie wielkości komórek wynosiły około 0,030; 0,0211 i 0,029 mm<sup>2</sup> odpowiednio dla roztworów glukozy, sacharozy i syropu skrobiowego, natomiast zakres ich wielkości bez względu na rodzaj substancji osmotycznej zawierał się w granicach od 0,015 do 0,100 mm<sup>2</sup> (rys. 4). Stwierdzono istotny wpływ odwadniania osmotycznego na zmniejszenie pola powierzchni projekcyjnej komórek, a także zaobserwowano istotnie ochronny wpływ roztworu sacharozy na ich kształt i wielkość, co potwierdziło wcześniejsze badania Janowicz i Lenarta [Lewicki, Rajchert, Łazuka 1994] prowadzone w tym zakresie.



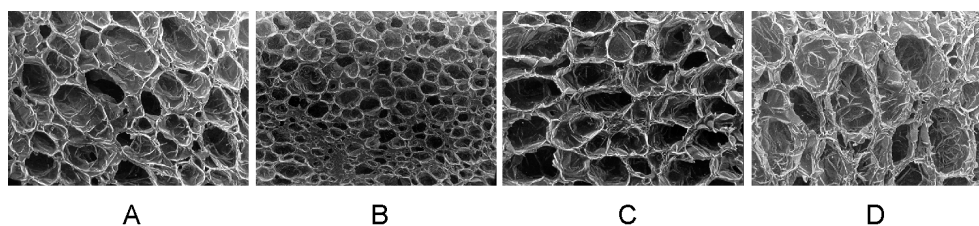
Rys. 4. Wpływ rodzaju substancji osmotycznej na zmiany powierzchni projekcyjnej komórek w tkance jabłek suszonych konwekcyjnie  
 Fig. 4. The impact of osmotic substance type on changes in projection surface of cells in the tissue of apples subject to convection drying

Średnie współczynniki kształtu (rys. 5) dla jabłek odwadnianych osmotycznie w roztworach glukozy, sacharozy i syropu skrobiowego przed suszeniem wynoszą odpowiednio około 0,615, 0,625 i 0,620 natomiast dla jabłek wstępnie niepoddanych obróbce osmotycznej przed suszeniem konwekcyjnym 0,570. Potwierdza to założenie, że odwadnianie zmienia warunki wymiany ciepła i masy w czasie suszenia wpływając na strukturę wewnętrzną jabłek suszonych konwekcyjnie (rys. 4 i 5). Jednocześnie obróbka osmotyczna niezależnie od zastosowanego roztworu osmotycznego pozwalają, (w porównaniu do świeżej tkanki jabłek) na lepsze zachowanie powierzchni projekcyjnej i współczynnika kształtu komórek, które dla takiego materiału wynoszą odpowiednio 0,020 mm<sup>2</sup> i 0,650 (rys. 6).



Rys. 5. Wpływ rodzaju substancji osmotycznej na zmiany współczynnika kształtu komórek w tkance jabłek suszonych konwekcyjnie

Fig. 5. The impact of osmotic substance type on changes in projection surface of cells in the tissue of apples subject to convection drying



Rys. 6. Struktura wewnętrzna jabłek suszonych konwekcyjnie – D i wstępnie odwadnianych osmotycznie w roztworach cukrów: A – glukoza, B – sacharoza, C – syrop skrobiowy

Fig. 6. Internal structure of apples subject to convection drying – D, and initially dehydrated using osmotic process in solutions of the following saccharides: A – glucose, B – saccharose, C – starch syrup

Analiza otrzymanych wyników pozwoliła stwierdzić istotny wpływ suszenia i odwadniania osmotycznego na strukturę wewnętrzną tkanki jabłek wyrażoną poprzez parametry geometryczne, jakimi są powierzchnia projekcyjna i współczynnik kształtu komórek.

Potwierdzono, że najlepszą substancją osmotyczną do prowadzenia obróbki wstępnej, przed suszeniem konwekcyjnym w celu zachowania wielkości i kształtu komórek zbliżonych do jabłek świeżych jest roztwór sacharozy.

## Podsumowanie

W dużym stopniu wpływ na jakość produktu mają zabiegi poprzedzające proces prowadzący do utrwalenia żywności. Z badań wynika, że niekorzystne zmiany wywołane suszeniem można istotnie ograniczyć przez odpowiedni dobór parametrów procesu wstępnego przygotowania surowca, szczególnie poprzez zastosowanie odpowiedniego rodzaju substancji osmotycznej. Potwierdzono, że jabłka suszone, o strukturze wewnętrznej najbardziej zbliżonej do świeżego, to materiał wstępnie poddany odwadnianiu osmotycznemu w roztworze sacharozy, a następnie suszony konwekcyjnie w badanych warunkach procesu.

Zastosowanie roztworów glukozy i syropu skrobiowego do wstępnej obróbki jabłek powoduje, że w efekcie suszenia materiał charakteryzuje się wzrostem powierzchni projekcyjnej komórek przy niewielkiej zmianie współczynnika kształtu w porównaniu do materiału odwadnianego w roztworze sacharozy. Jednocześnie zastosowanie roztworu glukozy lub syropu skrobiowego do wstępnego odwadniania osmotycznego nie wpłynęło istotnie na zmianę powierzchni projekcyjnej i współczynnika kształtu komórek w tkance jabłek suszonych konwekcyjnie.

*Badania wykonane w ramach pracy naukowej finansowanej ze środków Ministerstwa Nauki i Szkolnictwa Wyższego w latach 2006-2008 (projekt badawczy nr N312 004 31/0466)*

## Bibliografia

- Barat J.M., Fito P., Chiralt A.** 2001. Modeling of simultaneous mass transfer and structural changes in fruit tissues, *Journal of Food Engineering*, 49. s. 77-85.
- Bondaruk J., Markowski M., Błaszczak W.** 2007. Effect of drying conditions on the quality of vacuum-microwave dried potato cubes, *Journal of Food Engineering*, 81. s. 306-312.
- Jamradloedluk J., Nathakaranakule A., Soponronnarit S., Prachayawarakorn S.** 2007. Influences of drying medium and temperature on drying kinetics and quality attributes of durian chip, *Journal of Food Engineering*, 78. s. 198-205.
- Janowicz M., Lenart, A.** 2003b. Znaczenie suszenia owoców i warzyw. *Postępy Techniki Przetwórstwa Spożywczego* 1. s. 28-32.
- Janowicz, M., Lenart, A.** 2004. Wpływ wybranych parametrów odwadniania osmotycznego na strukturę wewnętrzną suszonej tkanki roślinnej na przykładzie jabłek, *Inżynieria Rolnicza* 5(60). s. 145-152.
- Lewicki P.P., Rajchert D., Łazuka W.** 1994. Zmiany właściwości rehydracyjnych ziemniaków w procesie suszenia konwekcyjnego. VIII Sympozjum Suszarnictwa, tom I, Warszawa.

- Lewicki, P.P., Jakubczyk E.** 2004. Effect of hot temperature on mechanical properties of drying apples, *Journal of Food Engineering*. 64. s. 307-314.
- Lewicki, P.P., Witrowa-Rajchert, D., Mariak, J.** 1997. Changes of structure during rehydration of dried apples, *Journal of Food Engineering*. 32. s. 347-350.
- Torreggiani D., Bertolo G.** 2001. Osmotic pre-treatment in fruit processing: chemical, physical and structural effects, *Journal of Food Engineering*. 49. s. 247-253.
- Wang N., Brennan J.G.** 1995. Changes in structure, density and porosity of potato during dehydration, *Journal of Food Engineering*. 24. s. 61-76.

## **CHANGES IN INTERNAL STRUCTURE OF APPLE TISSUE DRIED USING THE CONVECTION PROCESS, INDUCED BY OSMOTIC DEHYDRATION**

**Abstract.** The purpose of the work has been to determine the degree to which convection drying has destructive impact on the internal structure of apples, using the example of analysis of cells projection surface and their shape factor. Dried apples, with internal structure closest to fresh, constitute material initially subject to osmotic dehydration in saccharose solution, and then dried using the convection process at the temperature of 70°C and air velocity of 1.5 m/s. Compared with dried material initially dehydrated in saccharose solution, the research allowed to observe projection surface growth for apple cells dehydrated in glucose and starch syrup, accompanied by irrelevant shape factor change. At the same time, no changes were observed in the size of projection surface and shape factor for cells in the tissue of apples undergoing initial osmotic dehydration before drying, in the solutions of glucose and starch syrup.

**Key words:** structure, apples, convection drying, osmotic dehydration, surface of cells, shape factor

**Adres do korespondencji:**

Monika Janowicz; e-mail: [monika.janowicz@sggw.pl](mailto:monika.janowicz@sggw.pl)  
Katedra Inżynierii Żywności i Organizacji Produkcji  
Szkoła Główna Gospodarstwa Wiejskiego w Warszawie  
ul. Nowoursynowska 159C  
02-776 Warszawa