

## BADANIE ZMIAN OBJĘTOŚCI SUSZONEJ TKANKI ROŚLINNEJ PODCZAS REHYDRACJI

*Dorota Witrowa-Rajchert*

Katedra Inżynierii Żywności i Organizacji Produkcji, Szkoła Główna Gospodarstwa Wiejskiego  
ul. Nowoursynowska 159c, 02-776 Warszawa  
e-mail: rajchert@alpha.sggw.waw.pl

**Streszczenie.** W pracy badano proces rehydracji suszonego jabłka, pietruszki, marchwi, ziemniaka i dyni, analizując zmiany objętości, gęstości i porowatości suszonych materiałów podczas ich rehydracji w wodzie w temperaturze pokojowej. Względny przyrost masy dla jabłka, dyni i pietruszki jest szybszy niż względny przyrost objętości, co jest równoznaczne z wnikaniem wody do porów materiału bez równoważnego wzrostu objętości i wpływa na zwiększenie gęstości i znaczące obniżenie porowatości w czasie rehydracji. W przypadku ziemniaka woda w pierwszej kolejności penetruje materiał poprzez części stałe, powodując pęcznienie biopolimerów i szybszy wzrost objętości niż masy oraz zmniejszenie gęstości. W marchwi początkowo woda wnika do części stałych na powierzchni, powodując pęcznienie większe lub równoważne przyrostowi masy i zmniejszenie gęstości, a w późniejszych etapach wnika do porów materiału, ponieważ wtedy szybkość przyrostu masy jest mniejsza od szybkości przyrostu objętości, co prowadzi do wzrostu gęstości.

**Słowa kluczowe:** suszona tkanka roślinna, skurcz, pęcznienie, gęstość, porowatość

### WYKAZ OZNACZEŃ

$m$  – masa, g;  
 $s.s.$  – zawartość suchej substancji, %  
 $V$  – objętość,  $\text{cm}^3$   
 $\varepsilon$  – porowatość, %  
 $\rho$  – gęstość,  $\text{g cm}^{-3}$ ;  
 $\tau$  – czas, s.  
Indeksy dolne:  
 $o$  – początkowy;  
 $s.s.$  – sucha substancja;  
 $w$  – woda;  
 $\tau$  – po danym czasie.

## WSTĘP

Wiele suszonych produktów spożywa się lub poddaje dalszej obróbce przemysłowej po wcześniejszym uwodnieniu. Najlepiej, aby produkty po rehydracji posiadały odpowiednią strukturę, a proces przebiegał tak szybko, jak to możliwe. Przebieg rehydracji zależy od składu chemicznego materiału, strukturalnych i chemicznych zmian zachodzących w nim w czasie suszenia oraz warunków uwadniania [19].

Ważnym parametrem wpływającym na przebieg rehydracji jest porowatość suszonych produktów spożywczych [1]. Karathanos i in. [4] stwierdzili, że przebieg rehydracji suszonego selera jest silnie zależny od porowatości materiału. Natomiast według Karela i in. [6] zwiększona porowatość przyspiesza wchłanianie wody podczas rehydracji, ale nie zwiększa zdolności wiązania wody przez niektóre materiały. Badania porowatości odwadnianych materiałów mogą być pomocne w przewidywaniu przebiegu procesów dyfuzji wody w żywności i modelowaniu procesów przenoszenia masy [17].

Skład chemiczny materiału ma wpływ na przebieg procesu ponownego uwadniania. Proces uwadniania ryżu zależy od zawartości amylozy w surowcu [16]. Skrobia uszkodzona zawarta w nawilżanej mące pszennej chłonie lepiej wodę niż skrobia natywna [2]. Znaczącą rolę w procesie rehydracji suszonych owoców odgrywają pektyny. Im wyższa zawartość pektyn, tym większa ilość wchłoniętej wody i mniejszy wypływ rozpuszczalnych składników suchej substancji [7]. Sopade i in. [15], którzy badali proces wchłaniania wody przez ziarna kukurydzy, prosa i sorgo, podają, że wyższą zdolnością absorpcji wody charakteryzują się materiały o większej zawartości białka. Ziarna sorgo, które w porównaniu z ziarnami prosa, mają wyższą zawartość białek i niższą zawartość węglowodanów i tłuszczów, charakteryzują się większą zdolnością uwadniania, mimo że ich powierzchnia właściwa jest mniejsza. Podobną zależność, dodatniego wpływu zawartości protein na proces absorpcji wody, zaobserwowali Sefa-Dedeh i Stanley [14], badając nasiona grochu. Natomiast Hsu i in. [3] nie stwierdzili takiej zależności dla soi.

Generalnie uważa się, że skład chemiczny materiału wpływa istotnie na zdolność chłonięcia wody, ale zależność ta jest złożona i jak dotąd do końca nie wyjaśniona.

Celem niniejszej pracy jest zbadanie kinetyki zmian objętości, gęstości i porowatości suszonej tkanki roślinnej o zróżnicowanym składzie chemicznym i strukturze wewnętrznej podczas powtórnego uwadniania.

## MATERIAŁ I METODY

Materiał do badań stanowiły różne surowce roślinne. Przy wyborze odmian poszczególnych surowców kierowano się kryterium powszechności uprawy oraz przydatności przemysłowej, szczególnie do procesu suszenia. Po konsultacjach z producentami warzyw i owoców do badań wybrano następujące surowce: marchew odmiany Kazan, ziemniak odmiany Irga, dynia (*Cucurbita maxima* cv. Amber), pietruszka odmiany Berlińska, jabłko odmiany Idared. Surowiec myto, obierano i krojono w kostki o boku 10 mm. Marchew i pietruszkę blanszowano przez 3 minuty, natomiast ziemniak i dynię przez 2 minuty w wodzie o temperaturze 96-98°C.

Suszenie przeprowadzano w prototypowej suszarce laboratoryjnej. Surowiec układano w pojedynczej warstwie, stosując obciążenie sit równe 6 kg·m<sup>-2</sup> i stałą prędkość przepływu powietrza wynoszącą 2 m·s<sup>-1</sup>. Ziemniak suszono w temperaturze 60°C, a pozostałe surowce w temperaturze 70°C, stosując przepływ powietrza równoległy do warstwy materiału. Suszenie prowadzono do uzyskania stałej masy suszu.

Rehydrację prowadzono, zalewając znaną masę suszu wodą destylowaną o temperaturze 20°C. Po czasie 0,5; 1; 2; 3; 4 i 5 godzinach próbkę oddzielano na sicie od wody, osuszano bibułą i ważono.

Zawartość suchej substancji oznaczano zgodnie z PN-90/A-75101 w marchwi, jabłku i pietruszce i zgodnie z PN-81/A-75051 w ziemniaku i dyni.

Oznaczanie objętości kostek wykonano zgodnie z metodyką podaną przez Mazza [11] w materiale surowym, suszonym i po każdym, podanym powyżej czasie rehydracji.

Zawartość suchej substancji oraz gęstość oznaczano w materiale przed suszeniem, suszonym i po każdym, podanym powyżej czasie rehydracji.

Gęstość materiałów przed suszeniem, suszonych i rehydrowanych obliczano stosując równanie:

$$\rho = \frac{m}{V} \quad (1)$$

Porowatość materiałów przed suszeniem, suszonych i poddanych rehydracji obliczano stosując równanie:

$$\varepsilon = \frac{V - \left[ \frac{m \cdot (1 - s.s.)}{\rho_w} + \frac{m \cdot s.s.}{\rho_s} \right]}{V} \quad (2)$$

Gęstość wody  $\rho_w$  przyjęto równą  $0,998 \text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$ . Do obliczenia gęstości suchej substancji  $\rho_s$  przyjęto wyniki wcześniejszych badań przeprowadzonych w Katedrze Inżynierii i Maszynoznawstwa Przemysłu Spożywczego [10,12], a nieróżniące się więcej niż o 10% od uzyskiwanych przez innych badaczy [5,8]. Zastosowana do obliczeń porowatości gęstość suchej substancji  $\rho_s$  jabłka, marchwi i ziemniaka jest równa odpowiednio 1,360; 1,413 i  $1,331 \text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$ .

### WYNIKI I ICH OMÓWIENIE

Zawartość suchej substancji, gęstość oraz porowatość badanych surowców przedstawiono w tabeli 1. Gęstość surowców mieści się w granicach od  $0,801$  dla jabłka do  $1,063 \text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$  dla ziemniaka. Pozostałe materiały mają gęstość zbliżoną do jedności, przy czym pietruszka i marchew, jako surowce o zbliżonej budowie tkankowej, charakteryzują się taką samą gęstością. Otrzymane wartości gęstości znajdują potwierdzenie w wynikach podawanych przez innych autorów. Przykładowo O'Neill i wsp. [13] oznaczyli gęstość jabłek równą  $0,837 \text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$ , a według Wang i Brennan [18] gęstość ziemniaków wynosi  $1,07 \text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$ .

**Tabela 1.** Charakterystyka surowca i suszu

**Table 1.** Characteristic of raw and dried material

Materiał Material	Zawartość suchej substancji Dry matter content (%)		Skurcz Shrinkage (%)	Gęstość Density ( $\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$ )		Porowatość Porosity (%)	
	Surowiec Raw material	Susz Dried material		Surowiec Raw material	Susz Dried material	Surowiec Raw material	Susz Dried material
	Marchew Carrot	$8,98\pm 0,58$		$93,28\pm 1,11$	89,5	$1,019\pm 0,037$	$1,138\pm 0,065$
Pietruszka Parsley	$15,51\pm 1,56$	$89,09\pm 0,04$	80,0	$1,017\pm 0,012$	$0,851\pm 0,034$	–	–
Jabłko Apple	$12,10\pm 0,49$	$93,22\pm 0,30$	73,3	$0,801\pm 0,025$	$0,385\pm 0,033$	$23,5\pm 1,4$	$71,2\pm 0,2$
Dynia Pumpkin	$12,37\pm 1,24$	$90,74\pm 0,04$	85,6	$0,996\pm 0,034$	$0,717\pm 0,019$	–	–
Ziemniak Potato	$17,74\pm 0,28$	$92,87\pm 0,30$	81,5	$1,063\pm 0,028$	$1,173\pm 0,032$	$1,7\pm 0,6$	$10,7\pm 2,6$

Z gęstością skorelowana jest porowatość materiału roślinnego. Mała gęstość powinna świadczyć o dużej porowatości i odwrotnie. Porowatość badanych surowców potwierdza tę tezę. Jabłko o najmniejszej gęstości ma największą porowatość, wynoszącą 23,5%. Natomiast niska porowatość ziemniaka, równa

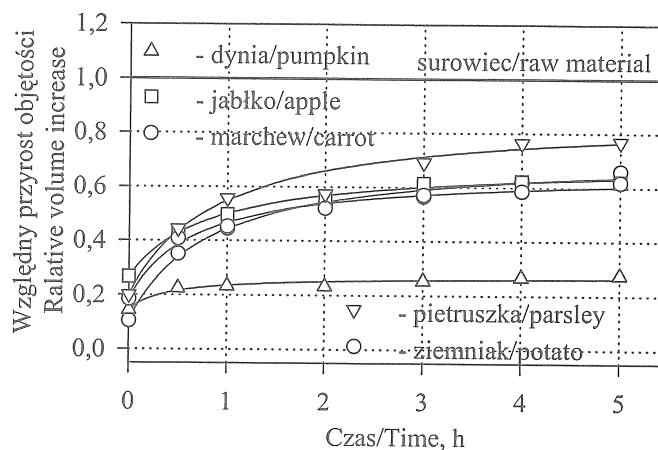
1,7% jest związana z dużą gęstością tej tkanki. Obliczone na podstawie równania (2) wartości porowatości są zbliżone do danych literaturowych [20]. Karathanos i in. [5] podają na przykład, że porowatość surowych ziemniaków, marchwi i jabłka wynosi odpowiednio 2, 4 i 21%.

Większość surowców suszyła się do zawartości suchej substancji przekraczającej 90%. Jedynie pietruszka po procesie suszenia osiągnęła zawartość wody powyżej 10%. Najmniejszym skurczem w czasie suszenia, wynoszącym 73,3%, charakteryzuje się jabłko. Skurcz pozostałych materiałów przekracza 80% objętości początkowej, przy czym tkanka marchwi kurczy się w największym stopniu, osiągając po suszeniu około 10% objętości wyjściowej. Duży skurcz marchwi w czasie suszenia jest przyczyną wzrostu gęstości tego materiału w porównaniu z materiałem blanszowanym (tab. 1) i powoduje, że jej gęstość zbliża się do gęstości suchej substancji wynoszącej  $1,413 \text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$  [12]. Również w przypadku ziemniaka wzrasta gęstość w czasie suszenia. Podobne zwiększenie gęstości ziemniaka zanotowali Wang i Brennan [18] oraz Zogzas i in. [20], którzy również dla marchwi otrzymali wzrost gęstości po suszeniu. Natomiast w przypadku pietruszki, jabłka i dyni zaobserwowano odwrotną zależność, czyli obniżenie gęstości podczas procesu usuwania wody. Świadczy to o wzrastającej porowatości suszu w porównaniu z materiałem wyjściowym i wzrastającym udziale powietrza w gęstości.

Objętość powietrza wpływa w znacznym stopniu na gęstość suszonego materiału. Jest to szczególnie widoczne dla jabłka, którego porowatość zwiększa się do 71,2%, a jednocześnie gęstość zmniejsza się do  $0,3852 \text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$ . O'Neill i in. [13] podają, że gęstość jabłek w czasie suszenia zmniejsza się do  $0,670 \text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$ , ale porowatość zwiększa się wówczas tylko do 57,6%. Porowatość marchwi i ziemniaka również wzrasta odpowiednio do 17,1 i 10,7%. Jednak przestrzenie powietrzne w tych materiałach stanowią nieznaczną część całkowitej objętości i w niewielkim stopniu wpływają na gęstość suszonej marchwi i ziemniaka, o której decyduje matryca ciała stałego. Suszenie powoduje skurcz materiału, natomiast na skutek wchłaniania wody w czasie rehydracji następuje zwiększenie objętości. Powrót kostek do objętości przed suszeniem świadczyłby o tym, że deformacja materiału i zmiany wewnętrzne występujące w czasie suszenia są odwracalne.

Objętość materiału w czasie rehydracji odniesiona do objętości surowca przed procesem technologicznym w funkcji czasu przedstawia rysunek 1. Żaden z badanych materiałów po uwodnieniu nie osiąga objętości surowca przed suszeniem, co świadczy o nieodwracalnych zmianach w tkankach wywołanych procesem suszenia. W najmniejszym stopniu do objętości początkowej powraca dynia, której objętość po rehydracji stanowi jedynie około 26% objętości kostki

blanszowanej. Ziemiak, jabłko i marchew osiągają ponad 60% objętości początkowej. Natomiast pietruszka w 77%, czyli w największym stopniu, powraca do objętości kostki przed suszeniem.



Rys. 1. Względny przyrost objętości materiału suszonego podczas rehydracji  
Fig. 1. Relative increase in dried material volume during rehydration

Zmianę względnej objętości podczas rehydracji opisano równaniem kinetycznym postaci:

$$\frac{V_{\tau}}{V_0} = a + b \cdot \left( 1 - \frac{1}{(1 + b \cdot c \cdot \tau)} \right) \quad (3)$$

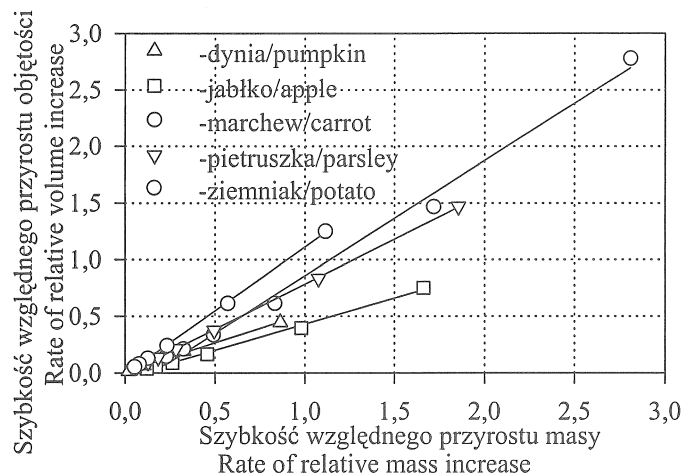
Wartość współczynników determinacji tych równań, wartości równowagowe względnego przyrostu objętości, obliczone na ich podstawie, oraz błędy standardowe estymacji umieszczono w tabeli 2. Wartości równowagowe względnego przyrostu objętości świadczą o tym, że nawet po nieskończonej długiej rehydracji żaden z badanych materiałów nie osiągnie objętości surowej kostki.

Podczas rehydracji następuje przyrost masy materiału i jednocześnie zwiększenie objętości. Można więc postawić pytanie, czy przyrost objętości jest równoważny ilości wchłoniętej wody. Jeśli materiał charakteryzuje się znaczną porowatością, to należy oczekiwać, że woda wypełnia pory materiału, nie powodując przyrostu objętości. W przypadku małej porowatości woda wnika do matrycy ciała stałego, która pęcznieje, zwiększając objętość materiału.

**Tabela 2.** Względny przyrost objętości podczas rehydracji  
**Table 2.** Relative increase in volume during rehydration

Materiał Material	Wartość Równowagowa Equilibrium value	Błąd standardowy estymacji standard error of estimation	Współczynnik determinacji, $R^2$ Coefficient of determination
Marchew Carrot	0,73	0,02	0,995
Pietruszka Parsley	0,87	0,02	0,995
Jabłko Apple	0,69	0,01	0,996
Dynia Pumpkin	0,27	0,01	0,968
Ziemniak Potato	0,66	0,02	0,993

W celu zbadania korelacji pomiędzy wnikaniem wody i zwiększaniem objętości, na podstawie równań opisujących przebieg względnych przyrostów masy i objętości, obliczono szybkości tych przyrostów. Stwierdzono, że względny przyrost masy dla jabłka, dyni, i pietruszki jest szybszy niż względny przyrost objętości (rys. 2).



**Rys. 2.** Zależność między szybkością względnego przyrostu masy i względnego przyrostu objętości  
**Fig. 2.** Relationship between the rate of relative increase in mass and relative increase in volume

Dla tych materiałów woda, wnikająca w pierwszej kolejności do porów, nie powoduje równoważnego przyrostu objętości. Najmniejszy współczynnik nachylenia linii otrzymano dla jabłka, które charakteryzuje się największą porowatością. Można

się spodziewać, że porowatość dyni i pietruszki, której nie obliczano, również jest duża, z uwagi na zmniejszającą się gęstość suszu w stosunku do surowca (tab. 1). Dla dyni gęstość ta zmniejsza się o około 28%, dla pietruszki o około 16%, zaś odpowiednia wartość dla jabłka wynosi około 52%. Różnice pomiędzy gęstościami surowca i suszu są statystycznie istotne, co stwierdzono posługując się testem *t*-Studenta. Im współczynnik nachylenia linii na rysunku 2 przyjmuje mniejszą wartość, tym obserwowano większe obniżenie gęstości. Można więc wyciągnąć wniosek, że im bardziej porowaty susz, tym przyrost objętości jest mniejszy niż przyrost masy.

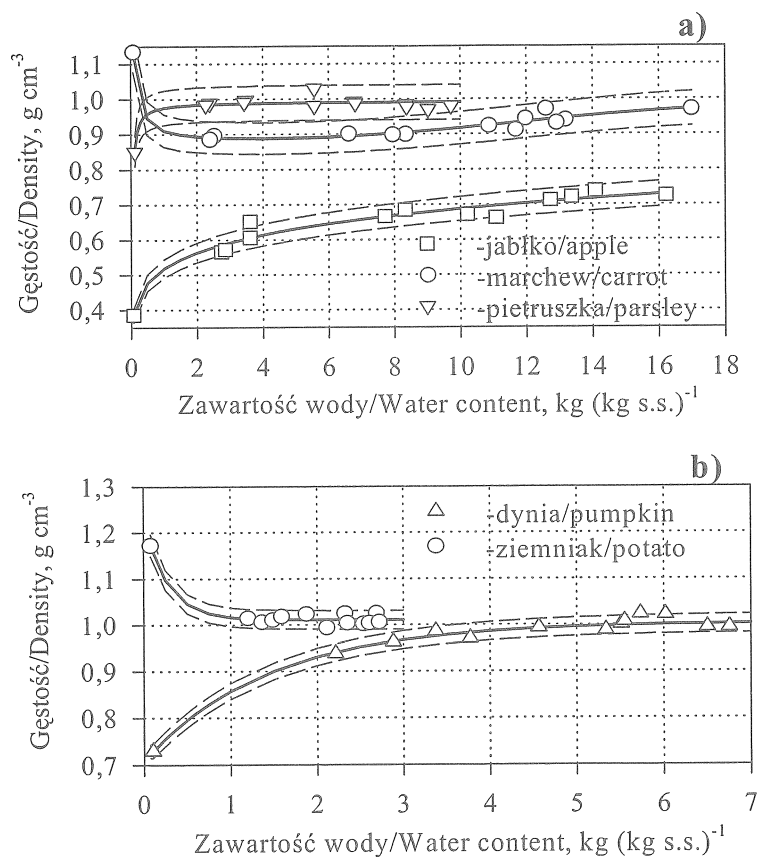
Natomiast względna objętość zwiększa się szybciej niż względna masa, a nachylenie linii przyjmuje wartość większą od jedności. Woda penetruje materiał poprzez części stałe, powodując pęcznienie biopolimerów i szybszy wzrost objętości niż masy.

Powyższe wyniki świadczą o tym, że w zależności od rodzaju materiału, a więc przede wszystkim jego składu chemicznego, proces chłonięcia wody w czasie rehydracji odbywa się na zasadzie wypełniania przestrzeni powietrznych utworzonych w czasie suszenia lub wnikania do matrycy ciała stałego.

Przeprowadzone rozważanie powinny znaleźć potwierdzenie w zmianach gęstości i porowatości badanych materiałów w czasie rehydracji.

Zależność pomiędzy zawartością wody i gęstością jest przedstawiona na rysunku 3. Szybsze zmiany względnej masy niż względnej objętości suszonego jabłka, pietruszki i dyni, równoznaczne z wnikaniem wody do porów materiału bez równoważnego wzrostu objętości, wpływają na zwiększenie gęstości w czasie rehydracji. W przypadku jabłka i dyni stwierdzono ciągły wzrost gęstości podczas uwadniania, przy czym gęstość dyni wzrasta od  $0,729$  do  $1 \text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$ , zaś jabłka od  $0,383$  do  $0,733 \text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$ . Pietruszka po 30 minutach procesu osiąga gęstość wynoszącą około  $0,986 \text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$  i dalsza rehydracja nie powoduje zwiększenia gęstości, co świadczy o tym, że przyrost objętości jest równoważny ilości wchłoniętej wody. Gęstość ziemniaka zmniejsza się od  $1,173$  do  $1,005 \text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$ , na skutek szybszego wzrostu względnej objętości w stosunku do wzrostu względnej masy na początku procesu, na skutek pęcznienia matrycy ciała stałego. Podobnie jak w przypadku pietruszki, po 30 minutach uwadniania przyrost masy jest równy zwiększeniu objętości. W przypadku marchwi początkowo następuje zmniejszenie gęstości od  $1,138$  do  $0,892 \text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$ , spowodowane pęcznieniem biopolimerów następującym szybciej niż zwiększenie masy materiału. W dalszych etapach rehydracji następuje ciągły wzrost gęstości do  $0,971 \text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$ . Obliczone gęstości jabłka, marchwi i pietruszki różnią się od wartości średniej o  $\pm 5\%$ , w przypadku ziemniaka i dyni o  $\pm 2\%$  (rys. 3).



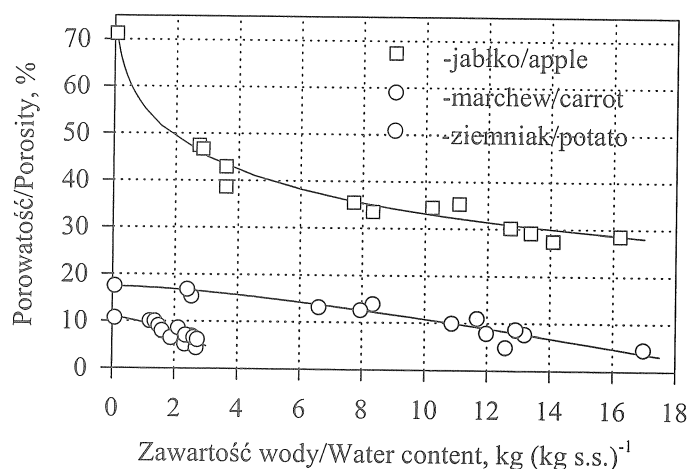


Rys. 3. Zmiany gęstości suszonych materiałów podczas rehydracji  
 Fig. 3. Changes of dried materials density during rehydration

Porównując gęstość badanych materiałów po rehydracji (rys. 3) z gęstością przed suszeniem (tab. 1) można zauważyć, że gęstość dyni, pietruszki i marchwi powraca do gęstości surowca, ponieważ na podstawie testu *t*-Studenta nie stwierdzono istotnych statystycznie różnic pomiędzy tymi wartościami. Natomiast analogiczny test przeprowadzony dla jabłka i ziemniaka wykazał, że gęstości tych materiałów przed suszeniem i po rehydracji różnią się statystycznie istotnie. Jabłko i ziemniak osiągnęły gęstość mniejszą od gęstości surowca (tab. 1) odpowiednio o 9 i 5%.

Zależność pomiędzy porowatością i zawartością wody obrazuje rysunek 4. Porowatość jabłka zmniejsza się w czasie uwadniania od 71 do 28%, marchwi od 17 do 5%, zaś ziemniaka w granicach od 11 do 5%. Dla jabłka obserwowano w początkowych etapach rehydracji znaczące zmniejszenie porowatości. Potwierdza

to wcześniejsze spostrzeżenia, że w pierwszej kolejności woda wnika do porów jabłka, powodując większy przyrost masy niż objętości, zwiększenie gęstości, a jednocześnie znaczne obniżenie porowatości. Marchew i ziemniak na początku uwadniania utrzymują porowatość na poziomie porowatości suszu, a ponieważ proces chłonięcia wody następuje, więc świadczy to o tym, że woda wnika do części stałych materiału powodując jego pęcznienie. W dalszej kolejności woda wypełnia pory materiału, co powoduje obniżenie porowatości.



Rys. 4. Zmiany porowatości suszonych materiałów podczas rehydracji  
Fig. 4. Changes of dried materials porosity during rehydration

Porowatość, jaką osiąga marchew po pięciu godzinach rehydracji, jest równa porowatości surowca przed suszeniem (tab. 1). Natomiast porowatość jabłka i ziemniaka jest większa od wartości początkowej. Można przypuszczać, że wnika do matrycy ciała stałego woda powoduje „zamknięcie” pęcherzyków powietrza znajdujących się w mikroporach, co znajduje potwierdzenie w literaturze [9].

#### PODSUMOWANIE

Zmiany fizykochemiczne w materiale roślinnym występujące w czasie suszenia polegają na zagęszczeniu suchej substancji, czego przejawem jest zmiana gęstości i porowatości materiału. Zmiany te wpływają na przebieg procesu rehydracji, a tym samym na przyrost masy i objętości oraz zmianę gęstości i porowatości materiału. Intensywność zmian uzależniona jest od rodzaju materiału, a więc jego składu chemicznego, natomiast potwierdzeniem zachodzących zmian fizykochemicznych

jest sposób przyrostu masy i objętości. Względny przyrost masy dla jabłka, dyni i pietruszki jest szybszy niż względny przyrost objętości. Dla tych materiałów woda wnikająca w pierwszej kolejności do porów nie powoduje równoważnego przyrostu objętości. Natomiast w przypadku ziemniaka woda w pierwszej kolejności penetruje materiał poprzez części stałe powodując pęcznienie biopolimerów i szybszy wzrost objętości niż masy. W marchwi początkowo woda wnika do części stałych na powierzchni powodując pęcznienie większe lub równoważne przyrostowi masy, a w późniejszych etapach wnika do porów materiału, ponieważ wtedy szybkość przyrostu masy jest mniejsza od szybkości przyrostu objętości. Szybsze zmiany względnej masy niż względnej objętości suszonego jabłka, pietruszki i dyni, równoznaczne z wnikaniem wody do porów materiału bez równoważnego wzrostu objętości, wpływają na zwiększenie gęstości w czasie rehydracji. Gęstość ziemniaka zmniejsza się, a marchwi początkowo zmniejsza się, na skutek pęcznienia biopolimerów następującego szybciej niż zwiększenie masy materiału, a następnie wzrasta.

#### PIŚMIENNICTWO

1. **Aguilera J.M., Chiralt A., Fito P.:** Food dehydration and product structure. *Trends Food Sci. Technol.*, 14, 432-437, 2003
2. **Dorantes L., Ramirez S., Davila G.:** Effect of hydration on size distribution of wheat flour particles. *ISOPOW 7. Proceedings of the Poster Sessions* (ed. Y.H. Roos), University of Helsinki, Finland, 123-126, 1998.
3. **Hsu K.H., Kim C.J., Wilson L.A.:** Factors affecting water uptake of soybeans during soaking. *Cereal Chem.*, 60, 208-211, 1983.
4. **Karathanos, V.T. Anglea S., Karel M.:** Collapse of structure during drying of celery. *Drying Technol.*, 11, 1005-1023, 1993.
5. **Karathanos V.T., Kanellopoulos N.K., Belessictis V.G.:** Development of porous structure during air drying of agricultural plant products. *J. Food Engng.*, 29, 167-183, 1996.
6. **Karel M., Fennema O.R., Lund D.B.:** Dehydration of foods. *Principles of Food Science, Part II: Physical Principles of Food Preservation* (ed. O.R. Fennema). Marcel Dekker Inc., New York, 309-357, 1975.
7. **Levi A., Ben-Shalom N., Plat D., Reid D.S.:** Effect of blanching and drying on pectin constituents and related characteristics of dehydrated peaches. *J. Food Sci.*, 53, 1187-1190, 1203, 1988.
8. **Lozano J.E., Rotstein E., Urbican, M.J.:** Total porosity and open-pore porosity in the drying of fruits. *J. Food Sci.*, 45, 1403-1407, 1980.
9. **Luyet B.J.:** Effect of freezing rates on the structure of freeze-dried materials and on the mechanism of rehydration. *Freeze-drying of Foods* (ed. F.R. Fisher). Natl. Acad. Sci.-Natl. Res. Council, Washington, D.C., 194-211, 1962.
10. **Marcjasz E.:** Wpływ metody suszenia na właściwości rekonstrykcyjne owoców i warzyw. Praca magisterska, SGGW, Warszawa, 1998.

11. **Mazza G., Le Maguer M.:** Dehydration of onion: some theoretical and practical considerations. *J. Food Technol.*, 18, 113-123, 1980.
12. **Nowak D., Witrowa-Rajchert D., Lewicki, P.P.:** Skurcz objętościowy i zmiana gęstości marchwi i ziemniaka podczas suszenia konwekcyjnego. *Zesz. Probl. Post. Nauk Roln.*, 454, 461-468, 1998.
13. **O'Neill M.B., Rahman M.S., Perera C.O., Smith B., Melton L.D.:** Color and density of apple cubes dried in air an modified atmosphere. *Int. J. Food Properties*, 1, 197-205, 1998.
14. **Sefa-Dedeh S., Stanley D.W.:** The relationship of microstructure of cowpeas to water absorption and dehulling properties. *Cereal Chem.*, 56, 379-386, 1979.
15. **Sopade P.A., Ajisegiri E.S., Badau M.H.:** The use of Peleg's equation to model water absorption in some cereal grains during soaking. *J. Food Engng*, 15, 269-283, 1992.
16. **Sowbhagya C.M., Ramesh B.S., Ali S.Z.:** Hydration swelling and solubility behaviour of rice in relation of other physico-chemical properties. *J. Sci. Food Agric.*, 64, 1-7, 1994.
17. **Vagenas G.K., Karathanos V.T.:** Prediction of the moisture diffusivity in granular materials with special applications to foods. *Biotechnol. Prog.*, 7, 419-426, 1991.
18. **Wang N., Brennan J.G.:** Changes in structure, density and porosity of potato during dehydration. *J. Food Engng.*, 26, 61-76, 1995.
19. **Witrowa-Rajchert D.:** Matematyczne modelowanie procesu rehydracji suszonej tkanki jabłka. *Acta Agrophysica*, 82, 193-204, 2003.
20. **Zogzas N., Maroulis Z.B., Marinou-Kouris D., Saravacos, G.D.:** Densities, shrinkage and porosity of some vegetables during air drying. *Drying Technol.*, 12, 1653-1666, 1994.

## STUDY ON CHANGES IN THE PLANT TISSUE VOLUME DURING REHYDRATION

*Dorota Witrowa-Rajchert*

Department of Food Engineering and Process Management, Warsaw Agricultural University  
ul. Nowoursynowska 159c, 02-776 Warszawa

**Abstract.** A rehydration process of dried apple, parsley, carrot, potato and pumpkin was investigated. Volume, density and porosity changes during rehydration in water at room temperature were analysed. A relative increase in apple, pumpkin and parsley mass was faster than a relative increase in volume which also means water imbibition to material pores without a balanced volume increase. This influenced a density increase and significant porosity decrease during rehydration. For potato, water began to penetrate the material through its solid parts which caused swelling of biopolimers and a faster increase in volume than mass and density decreases. Water initially entered the solid parts on the carrot surface. This affected swelling, greater or balanced mass increase and density decrease. Water got into the material pores at later stages as then, the mass increase rate was lower than the volume increase rate and was reflected in an increase of density.

**Key words:** shrinkage, swelling, density, porosity