

ANALIZA MIKROFALOWEGO SUSZENIA PIETRUSZKI W WARUNKACH OBNIŻONEGO CIŚNIENIA. Część II. SKURCZ SUSZARNICZY I REHYDRACJA SUSZU

Marian Szarycz, Eugeniusz Kamiński, Klaudiusz Jałoszyński,
Anna Szponarska

Streszczenie. W pracy przedstawiono wyniki badań skurczu suszarniczego oraz przebiegu uwadniania wysuszonych cząstek pietruszki. Stwierdzono, że skurcz suszarniczy występujący podczas suszenia mikrofalowo-podciśnieniowego można uznać za niewielki w porównaniu ze skurczem wywołanym suszeniem konwekcyjnym. Przebieg procesu rehydracji opisano równaniami empirycznymi, stwierdzając jego odmienność w fazie początkowej od przebiegu w fazie końcowej. Występowanie różnych faz przebiegu rehydracji uzasadniono charakterem skurczu suszarniczego.

Słowa kluczowe: skurcz suszarniczy, rehydracja, pietruszka

WSTĘP

Jednym z istotnych zjawisk występujących podczas suszenia konwekcyjnego a wpływających na jakość suszu jest skurcz suszarniczy. Metodą pozwalającą na zachowanie podczas odwadniania cząstek ich pierwotnego kształtu jest liofilizacja. Kosztowność stosowania tej metody sprawia, że susz uzyskiwany poprzez sublimację nie jest powszechnie dostępny.

Następstwem występowania skurczu suszarniczego jest zdolność wysuszonych cząstek do wtórnego wchłaniania wody podczas przygotowywania z nich posiłków. Rehydracja ma na celu przywrócenie stanu produktu możliwie zbliżonego do pierwotnego. Może ona świadczyć o tym, w jakim stopniu proces suszenia naruszył naturalny układ tkanek [Krzykowski i Rydzia 2001]. Jeżeli proces suszenia nie naruszałby w istotny sposób naturalnego układu tkanek, to należałoby oczekiwać, że w czasie ponownego uwodnienia materiał odzyska wyjściowe właściwości surowca [Funebo 1999]. Tkanki tracą jednak zdolność do pełnej rehydracji, głównie w wyniku nieodwracalnych zamian łańcuchów celulozowych, które stanowią podstawowy budulec ścian komórkowych oraz w układzie błony komórkowej otaczającej protoplasty. Błona cytoplazmatyczna w czasie trwania procesu suszenia przybiera charakter sztywnych struktur. W czasie

rehydracji błona cytoplazmatyczna nie jest w stanie odtworzyć swych właściwości, ulega rozerwaniu, powodując przepływ składników roztworu cytoplazmatycznego do otaczającej wody [Witrowa-Rajchert 1999, Cerkowski i in. 1998].

Oprócz sposobu odwadniania, również temperatura decyduje o efektywności rehydracji. Podwyższenie temperatury procesu rehydracji powoduje zwiększenie intensywności pochłaniania wody oraz wzrost dyfuzji składników suchej masy do środowiska [Carcel i in. 2001, Simal 1999]. Również istotny jest wpływ wielu innych czynników, takich jak: dodatek soli, cukrów, a wielokrotnie również obróbka wstępna poprzedzająca proces suszenia (głównie blanszowanie) [Saravacos 1998].

Przedstawione w pracy wyniki badań skurczu suszarniczego i rehydracji cząstek wysuszonych metodą mikrofalowo-podciśnieniową mają na celu stwierdzenie, w jakim stopniu metoda ta wpływa na intensywność przebiegu badanych zjawisk. Należy zaznaczyć, że w zastosowaniu metody mikrofalowo-podciśnieniowej na skalę przemysłową do suszenia warzyw upatruje się możliwości powszechnego dostępu do trwałej żywności o najwyższych parametrach jakościowych.

MATERIAŁ I METODY

Do badań użyto pietruszki korzeniowej odmiany Berlińska. Susz uzyskany na drodze suszenia mikrofalowo-podciśnieniowej przygotowano na stanowisku badawczym opisanym w części I pracy. Również w części I opisano metodykę badań stosowaną podczas doświadczeń [Szarycz i in. 2003].

Wyniki badań skurczu suszarniczego oraz rehydracji suszu dotyczą cząstek pietruszki bez wstępnego blanszowania przed suszeniem.

Skurcz suszarniczy określono poprzez zanurzenie cząstek świeżych oraz cząstek wysuszonych metodą mikrofalowo-podciśnieniową w toluenie, charakteryzującym się tym, że nie wnika on do wnętrza cząstek. Dla porównania określono również skurcz suszarniczy cząstek uzyskanych na drodze konwekcyjnej na stanowisku badawczym, wykorzystując metody opisane w szeregu publikacji [np. Kamiński i Szarycz 1997].

Rehydrację suszu prowadzono metodą standardową [Witrowa-Rajchert 1999]. Badania rehydracyjne prowadzono w wodzie o temperaturze 20°C oraz 90°C.

WYNIKI

Skurcz suszarniczy. Na rysunku 1 przedstawiono wysuszoną w warunkach mikrofalowo-podciśnieniowych kostkę pietruszki na tle wykrojonej wykrojnikiem cząstki świeżej oraz wysuszonej konwekcyjnie przy prędkości przepływu powietrza $v = 0,3 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ i temperaturze powietrza $t = 60^\circ\text{C}$ [Kamiński i Szarycz 1997]. Podobnie jak podczas suszenia konwekcyjnego, zauważa się wystąpienie skurczu suszarniczego.

Na podstawie rysunku 1 można zauważyć, że w wyniku suszenia konwekcyjnego oraz suszenia mikrofalowo-podciśnieniowego cząstki uzyskują odmienne kształty. Podczas suszenia konwekcyjnego zmiana ulega tylko jeden z wymiarów liniowych cząstki pierwotnej, a mianowicie wymiar prostopadły do osi korzenia. Podczas suszenia mikro-

falowo-podciśnieniowego zmiany dotyczą wszystkich wymiarów liniowych cząstki pierwotnej w sposób proporcjonalny. Zmiany liniowe przekładają się na wielkość skurczu suszarniczego, który wyniósł około 66% podczas suszenia mikrofalowo-podciśnieniowego, a około 90% podczas suszenia konwekcyjnego. Skurcz suszarniczy wywołany suszeniem mikrofalowo-podciśnieniowym można uznać za znacznie ograniczony w stosunku do skurczu wywołanego suszeniem konwekcyjnym. Jednakże jest znaczący w porównaniu z efektem suszenia sublimacyjnego, podczas którego skurcz nie występuje bądź jest pomijalnie mały.



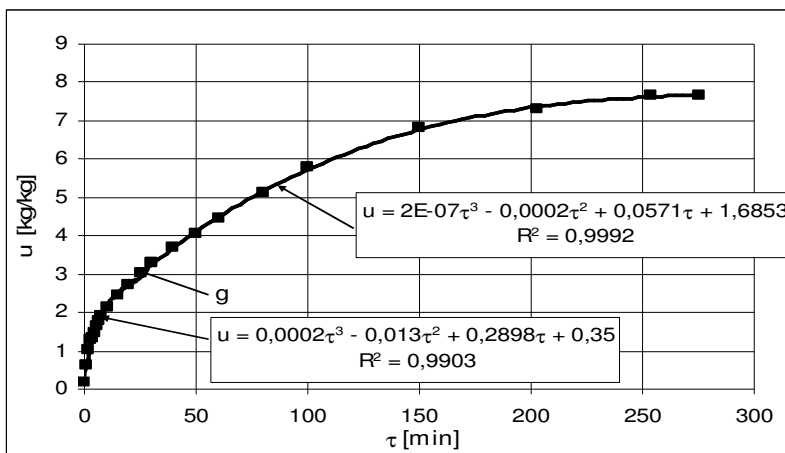
Rys. 1. Porównanie wyglądu zewnętrznego cząstek pietruszki: 1 – świeżej, 2 – wysuszonej metodą mikrofalowo-podciśnieniową, 3 – wysuszonej konwekcyjnie

Fig. 1. The comparison of appearance parsley-cubes: 1 – fresh, 2 – microwave-vacuum dried, 3 – air-convectional dried

Innym wyróżnikiem zmian kształtu cząstek po suszeniu jest zmiana tzw. średnicy zastępczej. Po suszeniu mikrofalowo-podciśnieniowym wyniosła ona 37%, a po suszeniu konwekcyjnym 57%.

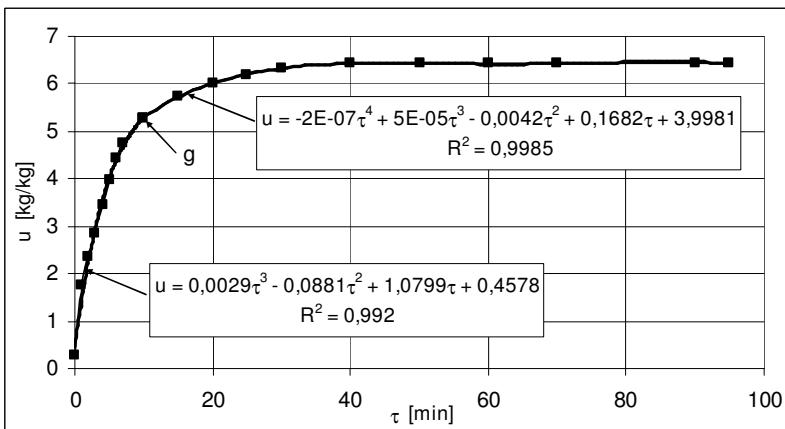
Przedstawione wyniki badań skurczu suszarniczego mogą świadczyć o tym, że rozłożenie suchej masy w wysuszonych metodą mikrofalowo-podciśnieniową cząstkach jest odmienne od jej rozłożenia w cząstkach wysuszonych metodą konwekcyjną. O ile w cząstkach wysuszonych konwekcyjnie należy spodziewać się jednolitej zbitnej struktury, o tyle sposób rozłożenia suchej masy w cząstkach wysuszonych metodą mikrofalowo-podciśnieniową będzie można poznać po przeprowadzeniu badań ich struktury wewnętrznej.

Rehydracja. Na rysunku 2 przedstawiono przebieg rehydracji cząstek pietruszki wysuszonych w warunkach mikrofalowo-podciśnieniowych uwadnianych w wodzie o temperaturze 20°C. Na przedstawionym rysunku przebieg rehydracji opisano równaniami empirycznymi. Granicą ważności poszczególnych równań jest punkt g, dla którego zawartość wody w próbce wynosiła około 3 kg·kg⁻¹ s.s.



Rys. 2. Krzywa rehydracji kostki pietruszki w temperaturze 20°C
 Fig. 2. The curve of rehydration by 20°C of parsley-cubes

Z kolei na rysunku 3 przedstawiono przebieg rehydracji cząstek pietruszki wysuszonej w warunkach mikrofalowo-podciśnieniowych uwadnianych w wodzie o temperaturze 90°C. Na przedstawionym rysunku przebieg rehydracji opisano również równaniami empirycznymi. Granicą ważności poszczególnych równań jest punkt g, dla którego zawartość wody w próbce wynosiła około 5,3 kg·kg⁻¹ s.s.

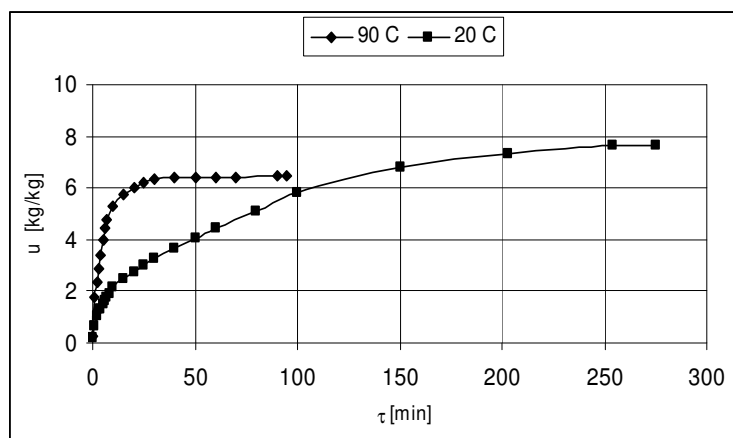


Rys. 3. Krzywa rehydracji kostki pietruszki w temperaturze 90°C
 Fig. 3. The curve of rehydration by 90°C of parsley-cubes

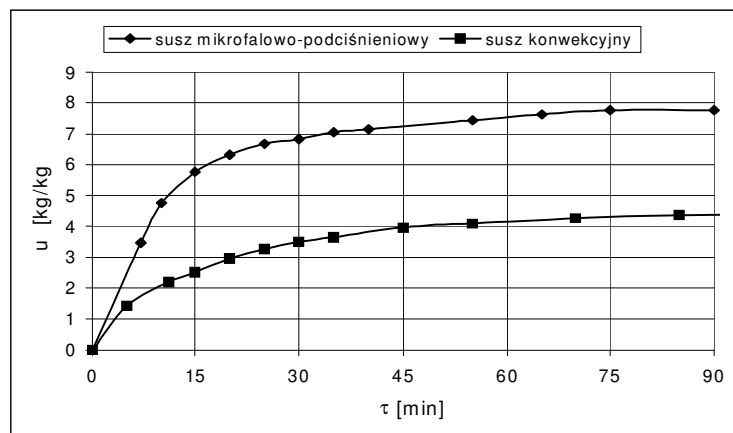
Z przedstawionych rysunków wynika, że podczas rehydracji suszu uzyskanego na drodze mikrofalowo-podciśnieniowej można wyróżnić dwie fazy: wstępną – szybkiego wchłaniania wody przez wysuszone cząstki, trwającą od kilku do kilkunastu minut

w zależności od temperatury wody, i końcową – charakteryzującą się spowolnionym nawilżaniem. Występowanie odmiennych faz w rehydracji mogą wyjaśnić badania struktury wewnętrznej cząstek wysuszonych i cząstek zrehydrowanych.

Rysunek 4 przedstawia porównanie wyżej opisanych przebiegów rehydracji suszu nawilżanego w wodzie o temperaturze 20°C i w wodzie o temperaturze 90°C. Porównanie krzywych przebiegu rehydracji prowadzonej w różnych temperaturach wskazuje na silne uzależnienie tego procesu od temperatury wody.



Rys. 4. Krzywe rehydracji kostki pietruszki w temperaturze 20°C i 90°C
 Fig. 4. The comparison of curves of rehydration by 20°C and 90°C of parsley-cubes

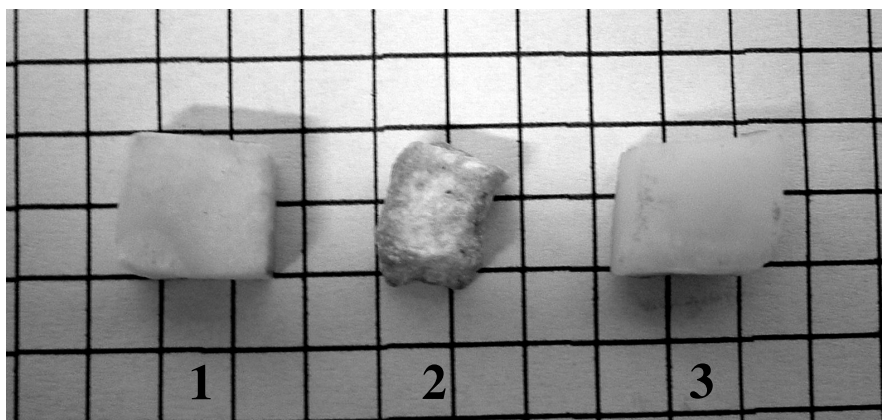


Rys. 5. Krzywe rehydracji suszu uzyskanego metodą mikrofalowo-podciśnieniową oraz metodą konwekcyjną, temperatura wody 90°C
 Fig. 5. The comparison of curves of parsley-cubes rehydration, dried by microwave-vacuum and air-convection process, water temperature 90°C

Różnice w przebiegu rehydracji suszu w wodzie o temperaturze 20°C i rehydracji w wodzie o temperaturze 90°C mogą wynikać ze zmiany wartości współczynnika lepkości dynamicznej wody w zależności od temperatury. Wartość tego współczynnika dla wody o temperaturze 20°C wynosi $\eta_{20} = 10,046 \cdot 10^{-4} \text{ Ns} \cdot \text{m}^{-2}$, a dla wody o temperaturze 90°C spada do wartości $\eta_{90} = 3,146 \cdot 10^{-4} \text{ Ns} \cdot \text{m}^{-2}$.

Interesująco przedstawia się porównanie przebiegu rehydracji cząstek wysuszonych metodą mikrofalowo-podciśnieniową z rehydracją cząstek suchych uzyskanych na drodze konwekcyjnej, co przedstawiono na rysunku 5.

Z przedstawionego porównania przebiegu rehydracji prowadzonej w wodzie o temperaturze 90°C wynika, że w początkowej fazie szybkość procesu wchłaniania wody przez susz pochodzący z suszenia mikrofalowo-podciśnieniowego była znacznie większa niż przez susz pochodzący z suszenia konwekcyjnego. W późniejszej fazie, po około 30 min, szybkości rehydracji obu materiałów wyrównują się, co obrazuje równoległość krzywych na rysunku 5.



Rys. 6. Wygląd zewnętrzny cząstek pietruszki: 1 – świeżej, 2 – po suszeniu mikrofalowo-podciśnieniowym, 3 – po rehydracji

Fig. 6. The appearance of parsley-cubes: 1 – fresh, 2 – after microwave-vacuum drying, 3 – after rehydration

Również stopień rehydracji obu suszy był inny. Stopień rehydracji cząstek suszonych metodą mikrofalowo-podciśnieniową był około dwukrotnie wyższy niż cząstek wysuszonych konwekcyjnie. Końcowa zawartość wody w zrehydrowanych cząstkach pochodzących z suszenia mikrofalowo-podciśnieniowego była zbliżona do początkowej zawartości wody w pietruszce przed suszeniem.

Rysunek 6 przedstawia wygląd zewnętrzny cząstki pietruszki świeżej wykrojonej wykrojnikiem (1), wysuszonej metodą mikrofalowo-podciśnieniową (2) oraz wysuszonej po jej rehydracji (3). Wysuszona w warunkach mikrofalowo-podciśnieniowych cząstka po rehydracji, mimo występującego niewielkiego w porównaniu z suszeniem konwekcyjnym skurczu suszarniczego, powraca do stanu pierwotnego.

WNIOSKI

Przeprowadzone badania pozwalają na następujące stwierdzenia:

1. Skurcz suszarniczy wywołany suszeniem mikrofalowo-podciśnieniowym wynosi około 66% i można uznać go za znacznie ograniczony w stosunku do skurczu wywołanego suszeniem konwekcyjnym wynoszącym około 90%.

2. Rehydracja suszu otrzymanego podczas doświadczeń suszenia mikrofalowo-podciśnieniowego przebiegała odmiennie w fazie początkowej i końcowej. Proces rehydracji w fazie początkowej i końcowej opisano równaniami empirycznymi.

3. Szybkość rehydracji suszu jest tym wyższa, im wyższa jest temperatura wody, w której proces jest prowadzony. Można to wyjaśnić tym, że wraz ze wzrostem temperatury maleje jej współczynnik lepkości dynamicznej, co ułatwia penetrację wody do wysuszonych tkanek.

4. Stopień rehydracji suszu uzyskanego metodą mikrofalowo-podciśnieniową był dwukrotnie wyższy w porównaniu ze stopniem rehydracji suszu uzyskanego na drodze konwekcyjnej. Końcowa zawartość wody w zrehydrowanych cząstkach pochodzących z suszenia mikrofalowo-podciśnieniowego była zbliżona do początkowej zawartości wody w pietruszce przed suszeniem, a kształt zrehydrowanych cząstek był podobny do kształtu cząstek świeżych.

PIŚMIENNICTWO

- Carcel J. A., Sanjuan N., Clemente G., Mulet A., 2001. Modelling of the rehydration process of broccolli florets, *Eur. Food Res. Technol.* 212, 449–453.
- Cerkowiak M., Danak A., Witrowa-Rajchert D., Lewicki P., 1998. Struktura i właściwości rekonstrukcyjne suszonego ziemniaka. *Zesz. Probl. Post. Nauk Roln.* 454, 469–475.
- Funebo T., Ohlsson T., 1999. Microwave-asisted air dehydration of apple and mushroom, *J. Food Engng.* 353–367.
- Kamiński E., Szarycz M., 1997. Sprawozdanie dla KBN, maszynopis IIR, AR Wrocław.
- Krzykowski A., Rydzak L., 2001. Skurcz objętościowy i zmiany gęstości marchwi w procesie konwekcyjnego suszenia. *Inżynieria Rolnicza* 2, 147.
- Saravacos G. D., 1998. Physical aspects of food dehydration. *IDS'98, Drying'98*, 35–46, vol. Greece.
- Simal S., Bon J., Mulet A., 1999. Modelling of broccoli steams rehydration process. *J. Food Engng.* 42, 27–31.
- Szarycz M., 1999. Aspekty energetyczne suszenia mikrofalowo-konwekcyjnego. *Inżynieria Chemiczna i Procesowa*. Wyd. Polít. Łódzkiej, 189–196.
- Szarycz M., Kamiński E., Jałoszyński K., Szponarska A., 2003. Analiza mikrofalowego suszenia pietruszki w warunkach obniżonego ciśnienia. Część I. Kinytyka suszenia pietruszki nieblanszowanej i blanszowanej. *Acta Sci. Pol., Technica Agraria* 2(2), 17–27.
- Witrowa-Rajchert D., 1999. Rehydracja jako wskaźnik zmian zachodzących w tkance roślinnej w czasie suszenia. *Rozpr. hab.*, Fundacja Rozwój SGGW, Warszawa.

THE ANALYSIS OF MICROWAVES DRYING OF PARSLEY IN CONDITIONS OF LOW PRESSURE. Part II. THE SHRINKAGE DURING DRYING AND REHYDRATION OF DRIED MATERIAL

Abstract. The analysis of shrinkage and rehydration of parsley were presented. It was found that shrinkage as a result of microwave vacuum drying is smaller than after air-convection drying. The rehydration was described using empirical equations, and differences between first and last stage of process were observed. The stages of rehydration could be explain by character of drying-shrinkage.

Key words: shrinkage, rehydration, parsley

Marian Szarycz, Eugeniusz Kamiński, Klaudiusz Jałoszyński, Anna Szponarska, Instytut Inżynierii Rolniczej, Akademia Rolnicza we Wrocławiu, ul. Chelmońskiego 37/41, 51-630 Wrocław, e-mail: szarycz@imr.ar.wroc.pl