

Dr inż. Andrzej WESOŁOWSKI  
 Katedra Podstaw Bezpieczeństwa, Wydział Nauk Technicznych  
 Uniwersytet Warmińsko-Mazurski w Olsztynie  
 Dr inż. Agnieszka SZPARAGA  
 Katedra Biochemii i Biotechnologii  
 Dr inż. Maria DYMKOWSKA-MALESA  
 Katedra Procesów i Urządzeń Przemysłu Spożywczego  
 Wydział Mechaniczny, Politechnika Koszalińska

## WPŁYW GRUBOŚCI PLASTRÓW JABŁEK PRZED SUSZENIEM PROMIENNIKOWYM NA ICH REHYDRACJĘ®

The influence of apple slices' thickness before being dried with infrared radiation on their rehydration®

**Słowa kluczowe:** suszenie, promieniowanie podczerwone, rehydracja, grubość, jabłka, owoce.

*Praca przedstawia wyniki badań autorów będące kontynuacją badań wpływu mocy promienników podczerwieni na zdolność pochłaniania wody przez plastry jabłek odmiany Lobo. Do badań użyto plasterów jabłek odmiany Lobo o średnicy 40mm i grubościach 2,5mm, 5,0mm, 10mm. Materiał naświetlano promiennikami podczerwieni o łącznej mocy 500W. Stwierdzono, że grubość materiału przed suszeniem ma wpływ na jego późniejszą rehydrację. Zależność ta jest liniowa. Zdolność pochłaniania wody maleje wraz ze wzrostem grubości materiału. Przedłużanie procesu suszenia ma negatywny wpływ na zdolność pochłaniania wody, co świadczy o naruszeniu lub zniszczeniu struktury materiału.*

**Key words:** dehydration, infrared radiation, rehydration, thickness, apples, fruits.

*This elaboration shows the results of author's research work on the influence of infrared radiators power on the ability of absorbing water by slices of lobo apples. The samples were prepared the same way as during previous research. The total power of radiators was 550 W, optimal according to the previous research. It was found that the thickness of slices was important for their ability of absorbing water. It's the maximum rehydration coefficient. The character of that is linear. The ability of absorbing water is going lower together with the thickness of sample. Making the drying process longer makes the ability of absorbing water worse, that means the structure of sample gets damaged or destroyed. The optimal time of rehydration the dried apples, with water of a temperature 20° C, takes 5 hours.*

### Oznaczenia

$\delta$  (delta) – błąd,  
 a, b, c – współczynniki równania,  
 s – grubość plasterów jabłek [m],  
 $m_0$  – masa początkowa [kg],  
 $m_{ss}$  – masa suchej substancji [kg],  
 m(t) – masa suszonego materiału [kg],  
 RC – współczynnik rehydracji [-],

$RC_{max}$  – największa, uzyskana w badaniach wartość współczynnika rehydracji [-],  
 $RC_{teoret}$  – teoretycznie największa wartość współczynnika rehydracji [-],  
 r – współczynnik korelacji,  
 $r^2$  – współczynnik determinacji,  
 $t_{sr}$  – średni czas suszenia [s],  
 $d(RC)/dt$  – szybkość nawilżania [ $kg \cdot kg^{-1} \cdot s^{-1}$ ].

### WPROWADZENIE

Rehydracja jest procesem niezwykle złożonym. W jej trakcie mamy do czynienia z dwoma strumieniami masy przemieszczającymi się w przeciwnych kierunkach. Woda z otoczenia jest wchłaniania przez odwodniony materiał, natomiast rozpuszczone w materiale składniki (cukry, kwasy, minerały, witaminy) przedostają się do otoczenia [8, 11]. Przebieg procesu zależy więc zarówno od cech surowca jak i od warunków procesu suszenia i zabiegów wstępnych [12, 13, 14]. Szybkość i stopień rehydracji zależy od warunków, w jakich przeprowadzany jest proces suszenia, a także od zastosowanej metody suszenia [10]. Nieprawidłowy ich dobór

może powodować rozrywanie wewnętrznej struktury sieci komórkowej, co osłabia zdolność materiału do wiązania i zatrzymywania wody, wpływając jednocześnie na jakość produktu [3, 4, 5]. Jednym z podstawowych celów procesu suszenia jest częściowe usunięcie wilgoci z materiału. Proces ten ma na celu m.in. uzyskanie warunków niekorzystnych dla rozwoju drobnoustrojów powodujących psucie się żywności. Dzięki temu możliwe jest jego długotrwałe przechowywanie w celu zastosowania i późniejszego wykorzystania w żywności wygodnej w postaci przekąsek, suchych mieszanek, zup czy suszu owocowego [9].

Jednym z istotnych parametrów jest optymalna grubość materiału, co wykazano dla plasterów pietruszki [1, 2]. W przypadku materiałów tak różnych jak materiały biologiczne, wyników otrzymanych dla jednych materiałów nie powinno uogólniać się na inne materiały biologiczne.

Celem artykułu jest przedstawienie wyników badań dotyczących wpływu grubości plasterów jabłek przed suszeniem na ich zdolność do pochłaniania wody.

## MATERIAŁ I METODY BADAŃ

Do badań użyto plasterów jabłek odmiany Lobo pochodzących z przechowalni Zakładu Doświadczalnego Uniwersytetu Warmińsko-Mazurskiego w Pozortach. Jabłka po zakupie przechowywane były w temperaturze 6°C. Jabłka do badań wybierano losowo. Przy użyciu kralownicy wycinano z nich plastry o grubościach 2,5mm, 5,0mm i 10,0mm. Następnie wybierano plastry o jednorodnym wyglądzie i przy pomocy formy wycinano z nich krążki o średnicy 40mm. Krążki suszono w laboratoryjnej suszarce promiennikowej przy użyciu zestawu promienników o łącznej mocy 550W. Wartość tę dobrano na podstawie otrzymanych wcześniej wyników [7]. Badania zdolności pochłaniania wody przez susz przeprowadzono w wodzie destylowanej o temperaturze 20°C. Użyto 5 krążków suszu dla każdej grubości początkowej. Każdy krążek umieszczano w kuwecie z wodą na odpowiednio oznaczonym miejscu. Pozwoliło to na jednoznaczną identyfikację.

Na podstawie wyników otrzymanych we wcześniejszych badaniach ustalono czas nawilżania na 5 godzin [7]. Co 15 minut krążki wyjmowano z wody i po osuszeniu bibułą ważono i ponownie umieszczano na swoich miejscach. Po 5 godzinach określano masy suchej substancji każdej próbki. Dla każdej grubości cykl pomiarów powtarzano 3 krotnie. Do oceny procesu nawilżania zastosowano współczynnik rehydracji RC opisany zależnością (1):

$$RC = (m(t) - m_0) / m_{SS} \quad (1)$$

Błąd względny wyznaczono wykorzystując równanie (2):

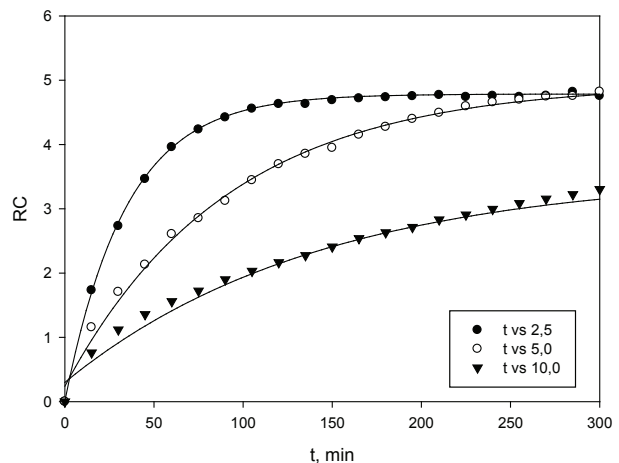
$$\delta RC / |RC| = [(\delta m(t) + \delta m_0) / |m(t) - m_0|] = \delta m_{SS} / |m_{SS}| \quad (2)$$

Otrzymane wyniki poddano analizie statystycznej przy użyciu pakietu Statistica 8 przy poziomie istotności  $p \leq 0,05$ . Do porównań par średnich wykorzystano testy Tukey'a i Newman-Keulesa.

## WYNIKI I DISKUSJA

Na podstawie otrzymanych wyników badań wyznaczono krzywe przedstawiające zmiany współczynnika rehydracji RC w zależności od grubości materiału (rys. 1). Krzywe opisujące równanie (3) przestawiono na rys. 1. Aproksymujące one wyniki pomiarów ze współczynnikiem korelacji nie niższym niż  $r = 0,993$ .

$$RC = a \cdot (b - \exp(-c \cdot t)) \quad (3)$$



Rys. 1. Krzywe rehydracji.

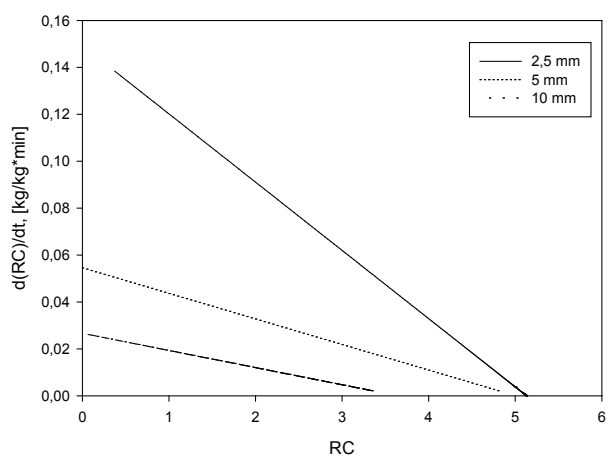
Fig. 1. Rehydration curves.

Źródło: Badania własne

Granica funkcji opisanej równaniem (3) przy  $t \rightarrow \infty$  dąży do wartości iloczynu  $a \cdot b$ . Maksymalne, teoretyczne wartości współczynnika rehydracji wynoszą więc odpowiednio dla:

$$\begin{aligned} \text{Grubości próbki: } 2,5 \text{ mm} & - RC_{\text{teoret}} = 4,76 \\ & 5,0 \text{ mm} & - RC_{\text{teoret}} = 4,78 \\ & 10,0 \text{ mm} & - RC_{\text{teoret}} = 3,55 \end{aligned}$$

Wartość teoretycznego współczynnika rehydracji  $RC_{\text{teoret}}$  próbek o grubości 2,5 mm i 5 mm różni się nieznacznie. Próbka o grubości 10 mm natomiast osiąga znacznie niższy współczynnik  $RC_{\text{teoret}}$ . Powodem takiej sytuacji może być uszkodzenie struktury komórkowej materiału podczas suszenia. Próbka o grubości 10 mm, aby osiągnąć równowagową zawartość wody musiała być naświetlana promieniowaniem podczerwonym przez czas  $t_{\text{sr}} = 880$  min. Odpowiednio próbki o grubości 2,5 mm wymagały naświetlania  $t_{\text{sr}} = 380$  min, a próbki o grubości 5 mm czasu  $t_{\text{sr}} = 460$  min [6]. Grubość plasterów została dobrana w taki sposób, aby promieniowanie nagrzewało je jednocześnie w całej objętości. Gwałtowna migracja wody powoduje prawdopodobnie zapadanie się ścian komórkowych. To z kolei ogranicza zdolność do ponownego uwodnienia materiału.



Rys. 2. Krzywe szybkości rehydracji.

Fig. 2. Rehydration speed curves.

Źródło: Badania własne

Ponieważ zdolność do wiązania i zatrzymywania wody jest wskaźnikiem zniszczenia struktury komórkowej surowca [4] można stwierdzić, że to właśnie wydłużony czas naświetlania podczas suszenia plastrów o grubości 10 mm ogranicza ich zdolność rehydracji.

Szybkość pochłaniania wody jest odwrotnie proporcjonalna do zawartości wody w materiale niezależnie od jego grubości początkowej (rys. 2). Wraz ze wzrostem grubości szybkość rehydracji maleje. Dla próbki o najmniejszej, badanej grubości proces pochłaniania wody jest znacznie bardziej dynamiczny niż dla pozostałych próbek. Zależność szybkości nawilżania od zawartości wody w materiale bardzo dobrze aproksymują proste, których równania zamieszczono w tabeli 1.

**Tabela 1. Równania krzywych szybkości rehydracji**

**Table 1. Equations of rehydration speed curves**

grubość próbki s	Równanie	Współczynnik korelacji
2,5 mm	$d(RC)/dt = 0,1493 - 0,0291 \cdot RC$	$r = 0,999$
5 mm	$d(RC)/dt = 0,0545 - 0,0109 \cdot RC$	$r = 0,998$
10 mm	$d(RC)/dt = 0,0266 - 0,0073 \cdot RC$	$r = 0,993$

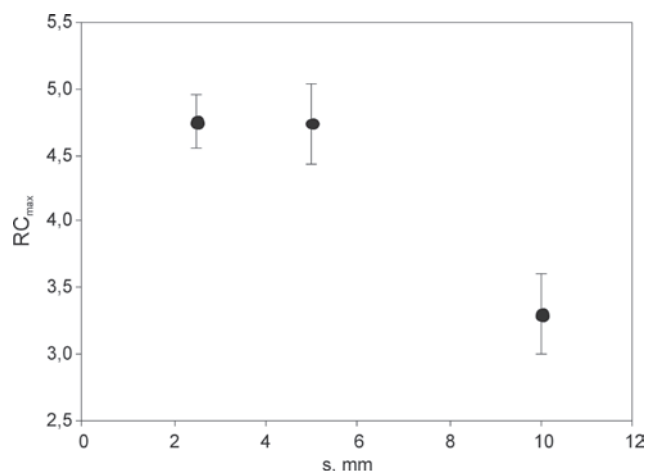
Źródło: Badania własne

**Tabela 2. Maksymalne wartości współczynnika rehydracji**

**Table 2. Maximum value of rehydration coefficient**

s grubość materiału	$RC_{max}$ dla $t = 300$ min	$RC_{teoret}$ dla $t \rightarrow \infty$
2,5 mm	$4,75 \pm 0,2$	4,76
5 mm	$4,74 \pm 0,3$	4,78
10 mm	$3,30 \pm 0,3$	3,55

Źródło: Badania własne



**Rys. 3. Zmiana maksymalnego współczynnika rehydracji dla badanych grubości materiału.**

**Fig. 3. Change of maximal rehydration coefficient for the investigated samples thickness.**

Źródło: Badania własne

W tabeli 2 przedstawiono maksymalne wartości współczynnika rehydracji osiągnięte po 300 min procesu nawilżania oraz teoretycznie możliwego do osiągnięcia współczynnika rehydracji przy założeniu, że czas nawilżania zdąży do nieskończoności.

Zastosowany czas nawilżania wynosił 300 min. W tym czasie materiał wchłonął maksymalną, możliwą ilość wody. Stwierdzono, że wartość maksymalnego współczynnika rehydracji w przypadku plastrów jabłek suszonych promieniami podczerwonymi maleje odwrotnie proporcjonalnie do grubości materiału przed suszeniem.

Zmianę tę opisuje krzywa o równaniu (4).

$$RC = 5,51 - 0,207 \cdot s \quad (4)$$

Współczynnik determinacji wynosi  $r^2 = 0,867$ . Widać, że współczynnik rehydracji maleje wraz ze wzrostem grubości materiału (rys. 3).

## PODSUMOWANIE

Grubość plastrów jabłek przed suszeniem promiennikowym ma znaczny wpływ na proces ich rehydracji. Spośród trzech grubości wybranych do badań plastry o początkowych grubościach równych 2,5 mm i 5,0 mm w ciągu 5h osiągnęły maksymalną, wynikającą z przyjętego modelu zawartość wody wyrażoną współczynnikiem rehydracji  $RC_{teoret}$ . Odpowiednio uzyskano wartości  $4,75 \pm 0,2$  i  $4,74 \pm 0,2$ . Różnice pomiędzy maksymalnym współczynnikiem rehydracji  $RC_{max}$  i wartością  $RC_{teoret}$  odpowiednio 4,76 i 4,78 w obu przypadkach są statystycznie nieistotne. Inaczej dzieje się w przypadku plastrów o grubości początkowej 10,0 mm. Współczynnik rehydracji  $RC_{max}$  jest znacznie niższy od współczynników uzyskanych dla próbek grubości 2,5 mm i 5,0 mm i wynosi  $3,30 \pm 0,3$ . Różni się on statystycznie istotnie od wartości wyznaczonej z modelu  $RC_{teoret} = 3,55$ .

Krzywe rehydracji próbek o grubości 2,5 mm i 5,0 mm wskazują na gwałtowny proces nawilżania w początkowej fazie procesu, przy czym jego nasilenie jest tym większe im grubość próbki jest mniejsza. W kolejnej fazie następuje wyraźne spowolnienie procesu. W przypadku próbki o grubości 2,5 mm już po upływie ok. 150 min osiągnięty jest maksymalny współczynnik rehydracji  $RC_{max}$ . W przypadku próbki o grubości 5,0mm czas ten wynosi ok. 300 minut. Proces rehydracji próbki o grubości 10,0 mm przebiega odmiennie. Podczas jej nawilżania nie można wyodrębnić różnych faz. Proces przebiega wolniej i jest znacznie spokojniejszy. Szybkość rehydracji natomiast jest odwrotnie proporcjonalna do grubości początkowej materiału.

W przypadku suszenia promieniami podczerwonymi plastrów jabłek z przeznaczeniem do późniejszej rehydracji, należy stosować plastry o grubości do 5,0 mm.

## LITERATURA

- [1] GÓRNICKI K. 2010. Effect of convectional drying parameters on rehydration kinetics of parsley dried slices. Ann. Warsaw Univ. of Life Sci. – SGGW, Agricult. 55.

- [2] **KALETA A., GÓRNICKI K., WIERZBICKA A., PACAK-ŻUK S. 2008.** *Investigation of the course of rehydration of dried parsley root slices.* Acta Agrophysica 12(3), 689-698.
- [3] **LENART A. 1988.** Sacharoza jako czynnik modyfikujący osmotyczno-owiewowe utrwalanie jabłek. Wyd. SGGW-AR, Warszawa.
- [4] **LEWICKI P.P., WITROWA-RAJCHERT D., MARIK J. 1997.** *Changes of structure during rehydration of dried apples.* J. Food Eng., 32, 4, 347-350.
- [5] **MCMINN W., MAGEE T. 1997.** *Quality and physical structure of a dehydrated starch-based system.* Drying Technology, 15(6/8), 1961-1972.
- [6] **WESOŁOWSKI A. 2000.** Badania suszenia jabłek promieniami podczerwonymi. Ph. D. Thesis, SGGW Warszawa.
- [7] **WESOŁOWSKI A. 2009.** *The influence of apples slices that were dried using infrared radiation on their ability to absorbing water.* Acta Sci. Pol., Technica Agraria 8(1-2), 23-32.
- [8] **STĘPIEŃ B., PASŁAWSKA M., JAŻWIEC B. 2011.** Wpływ metody suszenia na zdolność do rehydracji suszonej pietruszki. Inżynieria Rolnicza 4 (129).
- [9] **KROKIDA A., MARINOS-KOURIS D. 2003.** Rehydration kinetics of dehydrated products. Journal of Food Engineering 57 (1-7).
- [10] **STĘPIEŃ B. 2007.** Wpływ metody suszenia na rehydrację selera. Inżynieria Rolnicza 8(96).
- [12] **LEWICKI P.P., 1998a.** *Some remarks on rehydration of dried foods.* J. Food Engng., 36, 81-87.
- [13] **MC MINN W.A.M., MAGEE T.R.A. 1997a.** *Quality and physical structure of starch based system.* Drying Technol., 7(3), 537-557.
- [14] **MC MINN W.A.M., MAGEE T.R.A., 1997b.** *Physical characteristics of dehydrated potatoes – Part II.* J. Food Engng., 33, 49-55.