

DOROTA NOWAK, MAGDALENA SYTA

## KINETYKA SORPCJI PARY WODNEJ PRZEZ SUSZE Z BURAKA ĆWIKŁOWEGO JAKO NARZĘDZIE OCENY ICH JAKOŚCI

### Streszczenie

Badano kinetykę sorpcji pary wodnej przez susze z buraka ćwikłowego, otrzymane w procesie suszenia konwekcyjnego i przy użyciu promieniowania podczerwonego. Surowiec po obróbce cieplnej w parze wodnej był krojony na plastry o grubości 5 mm - gładkie i karbowane - oraz wióry. Suszeniu poddano również karbowane plastry buraka bez obróbki cieplnej. Stwierdzono wpływ kształtu cząstek oraz obróbki cieplnej, zarówno na szybkość sorpcji wody, jak i na zawartość wody uzyskaną przez materiał po 24 h procesu. Metoda suszenia powodowała istotne różnice zdolności sorpcji pary wodnej tylko w przypadku buraka w postaci wiórów. Najwyższą zawartość wody po 24 h sorpcji – blisko 0,8 g/g<sub>ss</sub> osiągnął susz konwekcyjny w postaci wiórów. W tym przypadku stwierdzono również najwyższe szybkości przyrostu zawartości wody, niezależnie od zawartości wody w materiale. Suszem, który był najmniej wrażliwy na podwyższoną wilgotność otoczenia były plastry gładkie i karbowane suszone w warunkach konwekcji. Brak obróbki cieplnej przed suszeniem spowodował prawie dwukrotny wzrost szybkości przyrostu zawartości wody oraz o 40 % wyższą zawartość wody po 24 h procesu sorpcji.

**Słowa kluczowe:** suszenie, konwekcja, podczerwień, kinetyka sorpcji, burak ćwikłowy

### Wprowadzenie

Parametrem decydującym o zapewnieniu odpowiedniej jakości suszu w czasie przechowywania jest aktywność wody w nim zawartej. Zawartość wody w suszu warzywnym, bezpośrednio po suszeniu, przyjmuje wartości na poziomie 10 - 12 %, co odpowiada aktywności wody w zakresie 0,25 - 0,40 [4]. Taki poziom aktywności wody uniemożliwia rozwój drobnoustrojów, nie oznacza jednak trwałości fizykochemicznej i mikrobiologicznej suszu w czasie przechowywania. Susz warzywny jest materiałem mocno porowatym, a wiele związków chemicznych, stanowiących składniki suchej substancji, ma postać amorficzną bezpośrednio po suszeniu, zwłaszcza realizowanym przy dużych szybkościach suszenia. Przy znacznym rozdrobnieniu warzywa przed

suszeniem jego powierzchnia właściwa jest bardzo rozwinięta. Dlatego zjawisko sorpcji pary wodnej przez susze warzywne ma bardzo duże znaczenie praktyczne - jeżeli środowisko, w którym susz jest przechowywany (bez opakowania barierowego) ma wilgotność względną wyższą od równowagowej wilgotności względnej produktu, następuje przenikanie wody z otoczenia do produktu aż do uzyskania stanu równowagi, a tym samym następuje wzrost aktywności wody w nim zawartej [9]. W produkcji może więc wzrosnąć zawartość wody wolnej stanowiącej środowisko reakcji biochemicznych, rozwoju drobnoustrojów czy przemian fizycznych i tym samym mogą nastąpić przemiany powodujące obniżenie wartości i jakości produktu [2]. Najważniejszymi drobnoustrojami, które należy brać pod uwagę przy ocenie suszu, ze względu na bezpieczeństwo zdrowia człowieka, są bakterie z grupy *coli* (*E. coli*, *S. faecalis*, *C. perfringens*) i pałeczki *Salmonella*. Ponadto częste zanieczyszczenie mikrobiologiczne suszu stanowią bakterie z rodzaju *Bacillus*, *Pseudomonas*, *Micrococcus*, *Achromobacter*, a także drożdże i pleśnie [4].

Celem pracy było określenie wpływu parowania materiału poprzedzającego proces suszenia, stopnia rozdrobnienia oraz parametrów procesu suszenia na zdolność materiału suszonego do sorpcji pary wodnej z otoczenia o podwyższonej wilgotności względnej. Higroskopijność suszy wyrażano poprzez wzrost zawartości wody i szybkość sorpcji wody w funkcji zawartości wody w materiale.

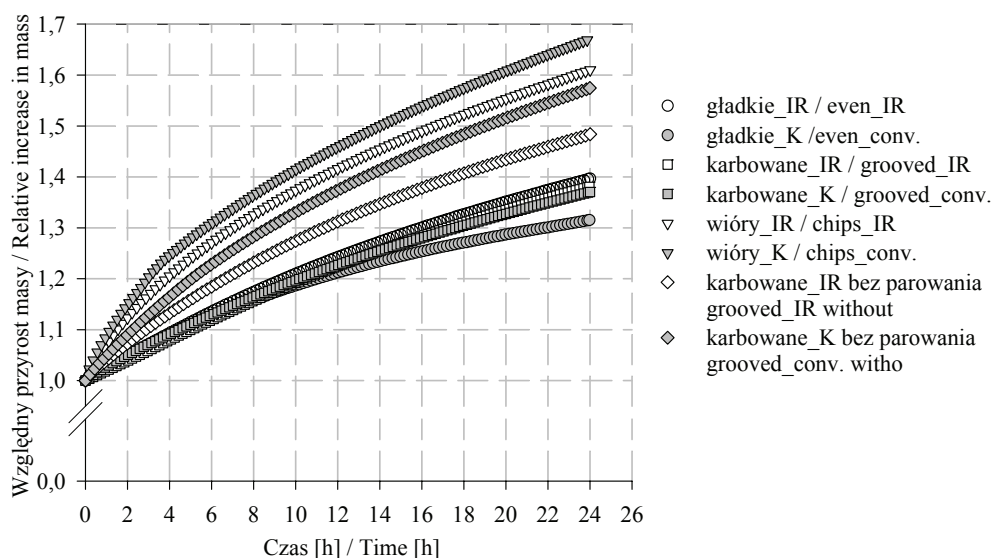
### **Materiał i metody badań**

Materiał do badań stanowił burak ćwikłowy odmiany Bikores. Surowiec rozdrabniano do trzech różnych wielkości cząstek (plastry gładkie i plastry karbowane o grubości 5 mm oraz wióry o grubości 2 - 3 mm), a przed rozdrobnieniem poddawano wstępnej obróbce cieplnej (para wodna, 40 min) [8]. Suszeniu poddawano również plastry karbowane bez obróbki cieplnej.

Suszenie prowadzono dwoma istotnie różniącymi się sposobami, tj. konwekcyjnie (temp. powietrza 70 °C, prędkość - 1,5 m/s) oraz przy użyciu promieni podczerwonych, z zachowaniem temperatury materiału, porównywalnej z suszeniem konwekcyjnym [7], ustalonej doświadczalnie. Susze w ilości ok. 2 g o znanej zawartości wody umieszczano na podwieszanej szalce wagi analitycznej, w otoczeniu o aktywności wody równej 1, w temp. 25 °C i w tych warunkach przetrzymywano 24 h. W trakcie doświadczenia mierzono w sposób ciągły masę wody zaadsorbowanej przez badany materiał, dzięki czemu wyznaczono zmiany zawartości wody w próbce oraz szybkość zmian przyrostu zawartości wody jako pochodną funkcji opisującej zmiany zawartości wody w czasie. Oznaczenia wykonano w trzech powtórzeniach.

## Wyniki i dyskusja

Zawartość wody w suszach z buraka po suszeniu wynosiła  $0,09 \pm 0,01$  g/g s.s. W efekcie trwającej 24 h sorpcji wody susze zwiększyły swoją masę o 30 do 68 % (rys. 1), co oznaczało, że zawartość w nich wody wynosiła w granicach 0,45 do 0,8 g wody/g s.s. (rys. 2 i 3). Najmniejszy przyrost zawartości wody (0,45 do 0,55 g/g s.s. po 24 h sorpcji) stwierdzono w przypadku plastrów gładkich oraz karbowanych, niezależnie od sposobu suszenia. Susze w postaci plastrów karbowanych bez obróbki cieplnej, otrzymanych przy użyciu promieni podczerwonych, uzyskały końcową zawartość wody 0,584 g H<sub>2</sub>O/g s.s. (rys. 3) i 0,698 g H<sub>2</sub>O/g s.s., gdy suszone były konwekcyjnie (rys. 2). Największą zawartość wody miały wióry suszone konwekcyjnie - 0,792 g H<sub>2</sub>O/g s.s. (rys.2).

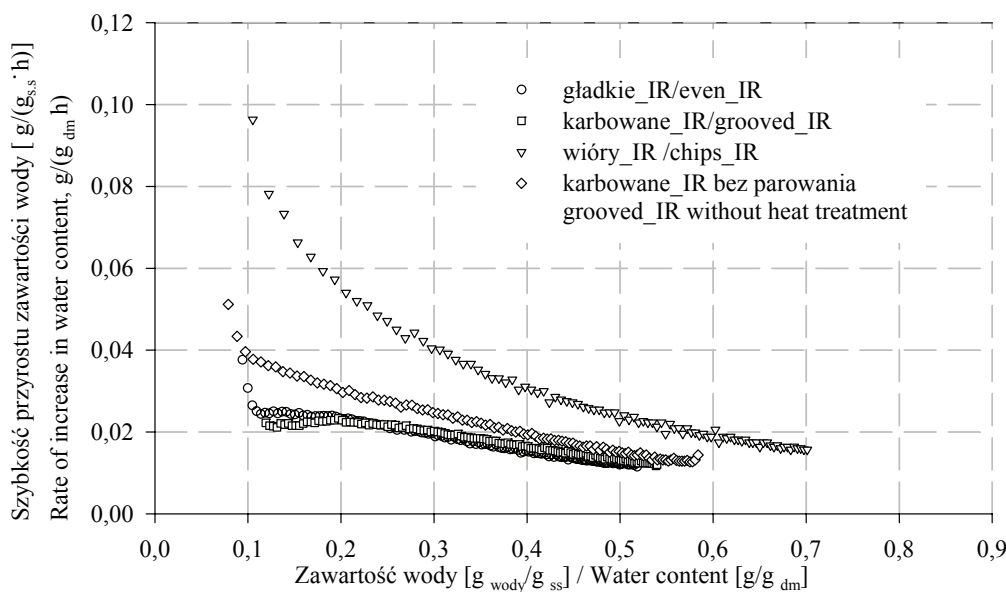


Rys. 1. Wpływ przygotowania surowca i metody suszenia na względny przyrost masy wskutek sorpcji; IR – próbki suszone podczerwienią, K – próbki suszone konwekcyjnie.

Fig. 1. Effect of material treatment and drying method on the relative increase in mass as a result of sorption, IR – samples dried by infrared, conv.- samples dried by convection.

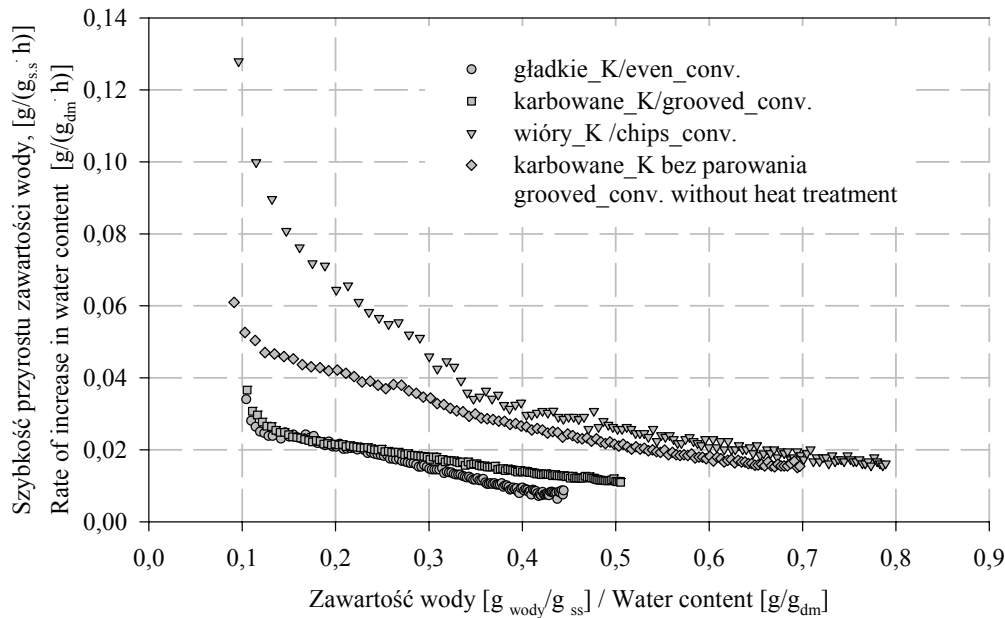
Biorąc pod uwagę intensywność sorpcji należy stwierdzić, że najwyższe szybkości przyrostu zawartości wody w przypadku plastrów gładkich i karbowanych (niezależnie od metody suszenia) uzyskano w początkowym etapie sorpcji i przyjmowały wartości w wąskim zakresie zawartości wody w materiale, tj. poniżej 0,12 g H<sub>2</sub>O/g s.s. Podczas sorpcji przy wartościach wyższych od 0,12 g H<sub>2</sub>O/g s.s. szybkość przyrostu zawartości wody zmniejszała się proporcjonalnie do zawartości wody. Zdecydowanie bardziej intensywnie sorpcja przebiegała w przypadku wiórów, a jej wysoka intensywność

ność utrzymywała się do osiągnięcia zawartości wody ok. 0,3 - 0,4 g H<sub>2</sub>O/g s.s. Wartości te były zdecydowanie niższe od wartości uzyskanych przez Nowak i Lewickiego [6] w porównywalnych warunkach w przypadku suszy z jabłek, co świadczy o tym, że o zdolności do adsorpcji decyduje rodzaj materiału roślinnego. Wpływ pochodzenia błonnika roślinnego na zdolność do adsorpcji na przykładzie karotenoidów wykazały Nowak i Thi Thu Huong [5].



Rys. 2. Wpływ przygotowania surowca na szybkość sorpcji wody przez susz promiennikowy.  
Fig. 2. Effect of material treatment on the water sorption rate by red beets dried using infrared.

Szybkość przyrostu zawartości wody przy dwóch wybranych poziomach zawartości wody przedstawiono w tab. 1. Próbuąc ocenić wpływ badanych zmiennych niezależnych należy stwierdzić, że w przypadku buraków poddanych obróbce cieplnej zastosowanie kształtu karbowanego, mimo że zwiększyło powierzchnię właściwą w porównaniu z plasterami gładkimi prawie 3-krotnie, nie wpłynęło znacząco na szybkość procesu sorpcji. Natomiast w przypadku wiórów, przy dwukrotnym wzroście powierzchni właściwej w stosunku do plasterów karbowanych, nastąpił ponad 3-krotny wzrost szybkości sorpcji przy zawartości wody 0,2 i 2-krotny przy zawartości wody 0,4 g H<sub>2</sub>O/g s.s.



Rys. 3. Wpływ przygotowania surowca na szybkość sorpcji wody przez susz konwekcyjny.  
Fig. 3. Effect of material treatment on the water sorption rate by convectively dried red beets.

Tabela 1

Przyrost zawartości wody w suszach buraczanych, w zależności od stopnia rozdrobnienia i metody suszenia, podczas sorpcji wody, przy wybranych poziomach zawartości wody w materiale.  
Increase in water content in dried red beets, depending on the level of size reduction and drying method, during the water sorption process, with respect to some selected water content levels.

Stopień rozdrobnienia suszu buraczanego Level of red beet size reduction	Suszu z podczerwieni Infrared drying		Suszu konwekcyjny Convective drying	
	Szybkość przyrostu zawartości wody [g H <sub>2</sub> O/(g <sub>s.s.</sub> ·h)] przy zawartości wody [g/g s.s.] Rate of increase in water content [g H <sub>2</sub> O/(g <sub>d.m.</sub> ·h)] with respect to water content level [g/g <sub>d.m.</sub> ]			
	0,2	0,4	0,2	0,4
Plastry gładkie / Even slices	0,023	0,015	0,021	0,009
Plastry karbowane Grooved slices	0,023	0,016	0,022	0,014
Plastry karbowane bez obróbki cieplnej Grooved slices without heat treatment	0,030	0,019	0,042	0,027
Wióry / Chips	0,057	0,031	0,064	0,033

Susze z buraków wykazują zróżnicowaną zdolność do adsorpcji w zależności od zastosowanej technologii. Zależność tej właściwości od zmiennych parametrów procesowych innych materiałów roślinnych została wykazana przez innych badaczy na przykładzie bananów suszonych w różnych zakresach temperatury [1] czy na przykładzie włókien błonnika z marchwi, kapusty czy jabłek poddanych obróbce cieplnej [3].

W efekcie zastosowania suszenia podczerwienią uzyskano susz charakteryzujący się porównywalną lub mniejszą higroskopijnością w odniesieniu do suszu pochodzącego z suszenia konwekcyjnego, zwłaszcza w przypadku największego, spośród zastosowanych, stopnia rozdrobnienia. Może to być związane ze zjawiskami występującymi na powierzchni podczas suszenia - w przypadku adsorpcji promieniowania podczerwonego może dochodzić do przegrzania powierzchni i w efekcie ograniczenia zdolności materiału do sorpcji pary wodnej. Innym lub dodatkowym powodem mogą być różnice w porowatości materiału spowodowane różną metodą suszenia (efekt zróżnicowanej szybkości odparowania). Zróżnicowanie zdolności do adsorpcji wody przez materiał suszony w zależności od sposobu dostarczania ciepła wykazali Nowak i Lewicki na przykładzie suszy z jabłek [6].

Brak obróbki cieplnej buraków przed suszeniem spowodował zdecydowany wzrost szybkości przyrostu zawartości wody, zwłaszcza poniżej zawartości 0,3 g wody/g s.s. W procesie obróbki cieplnej zachodzą więc zmiany bądź porowatości materiału, bądź właściwości biopolimerów stanowiących błonnik pokarmowy i odpowiedzialnych w dużej mierze za sorpcję.

Nie zaobserwowano wyraźnej zależności pomiędzy wielkością powierzchni właściwej (stopniem rozdrobnienia) a zdolnością sorpcji pary wodnej, co może sugerować, że o właściwościach suszu decyduje wymiar cząstki warunkujący opory ruchu masy, a tym samym szybkość suszenia w drugim okresie, w którym ruch masy jest głównie ograniczony oporami wewnątrz materiału.

## **Wnioski**

1. Podwyższenie wilgotności otoczenia, w którym przechowywany jest susz, nawet przez okres kilkunastu godzin, może spowodować istotny wzrost zawartości wody, a w rezultacie ograniczyć efekt utrwalenia przez suszenie i doprowadzić do niekorzystnych zmian jakości.
2. Zdolność suszu z buraka ćwikłowego do sorpcji pary wodnej z otoczenia zależy od stopnia rozdrobnienia, zastosowania wstępnej obróbki cieplnej oraz metody suszenia.
3. W przypadku dużego rozdrobnienia surowca lub braku wstępnej obróbki cieplnej, w zakresie parametrów zastosowanych w pracy, suszenie podczerwienią ogranicza higroskopijność produktu w porównaniu z suszeniem konwekcyjnym.

*Praca, współfinansowana ze środków budżetowych przyznanych na lata 2007-2010 na realizację projektu badawczego nr N312 050 32/2700, była prezentowana podczas VI Konferencji Naukowej nt. „Nowoczesne metody analityczne w zapewnieniu jakości i bezpieczeństwa żywności”, Warszawa, 6 - 7 grudnia 2007 r.*

### Literatura

- [1] Borges S.V., Cal-Vidal J.: Kinetics of water vapour sorption by drum-dried banana. *Inter J. Food Sci. Technol.* 1994, **29** (1), 83-90.
- [2] Cybulska E. B.: Woda jako składnik żywności. W: *Chemia żywności: skład, przemiany i właściwości żywności* (pod red. Z. E. Sikorskiego). WNT, Warszawa 2002, s. 59-88.
- [3] Górecka D., Korczak J., Balcerowski E., Decyk K.: Sorption of bile acids and cholesterol by dietary fiber of carrots, cabbage and apples, *EJPAU* 2002, 5(2), #02. Available Online: <http://www.ejpau.media.pl/volume5/issue2/food/art-02.html>
- [4] Jayaraman K.S., Das Gupta D.K.: Drying of fruit and vegetables. In: *Handbook of Industrial Drying* (ed. A.S. Mujumdar), Marcel Dekker, Inc., New York 2007, vol.1, pp 643-690.
- [5] Nowak D., Hoang Thi Thu Huong: Wpływ degradacji enzymatycznej błonnika pokarmowego na jego właściwości sorpcyjne. *Acta Agrophysica* 2006, **8** (4), 893-901.
- [6] Nowak D., Lewicki P.P: Quality of infrared drying apple slices. *Drying Technol.* 2005, **23** (4), 831-846.
- [7] Nowak D.: Promieniowanie podczerwone jako źródło ciepła w procesach technologicznych. *Cz. I. Przem. Spoż.* 2005, **5**, 42-44.
- [8] Pijanowski E., Mrożewski S., Jarczyk A., Drzazga B.: *Technologia produktów owocowych i warzywnych*. T. 2. PWRiL, Warszawa 1976.
- [9] Świtka J.: Woda jako składnik żywności. W: *Chemiczne i funkcjonalne właściwości składników żywności* (pod red. Z. E Sikorskiego). WNT, Warszawa 1994, s. 63-69.

### KINETICS OF WATER SORPTION BY DRIED RED BEET AS A METHOD OF QUALITY ESTIMATION

#### Summary

Under this study, it was researched into the kinetics of water sorption by dried beets produced by the process of convective drying and using infrared radiation. The raw material, after the heat pre-treatment in water vapours, was cut into 5 mm thick, even or grooved slices and into chips. Grooved beet slices were also dried without heat pre-treatment applied. It was proved that the shape of beet pieces and heat treatment impacted both the rate of water sorption and the content of water absorbed by the material after 24 h period of the sorption process. The drying method used caused significant differences in the sorption capacity of water vapour only in the case of chip-shaped beets. The highest water content after 24 h sorption, almost 0.8 g/g<sub>dm</sub>, was found in the convectively dried chip-shaped beets. In this case, the highest rates of rise in water content were proved irrespective of the water content in the material. Even and grooved beet slices, dried under the conditions of convection, appeared to have to lowest sensitivity to raised humidity in their environment. When no heat treatment was applied prior to drying, the rise in the rate of increase in water content almost doubled and the water content was by 40 % higher after 24 h sorption process.

**Key words:** drying, convection, infrared, kinetics of sorption, red beet ☒