

## OSMOTYCZNO-KONWEKCYJNE SUSZENIE JABŁEK

H. Lisowa, T. Lis, G. Kasiak, K. Mulak

Katedra Techniki Ciepłej, A. R. w Lublinie

**Synopsis:** zbadano wpływ rodzaju czynnika osmotycznego na kinetykę odwadniania jabłek, jak również na kinetykę wnikania substancji z uwzględnieniem szybkości procesów, zbadano również wpływ rodzaju czynnika osmotycznego i sposobu jego usunięcia na kinetykę dosuszania konwekcyjnego, a w szczególności na czas procesu suszenia (do wilgotności końcowej, wynoszącej 16%) oraz na cechy jakościowe suszu w porównaniu do uzyskanego w suszarce konwekcyjnej.

**Słowa kluczowe:** suszenie, osmoza, konwekcja, owoce, ciśnienie osmotyczne.

### Wprowadzenie

Konwekcyjne suszenie owoców w wysokiej temperaturze powoduje zmiany chemiczne i biochemiczne, utratę substancji lotnych oraz duży wzrost sił napięcia powierzchniowego, wywołujących zapadanie się i kurczenie struktury materiału. Susze uzyskane metodą osmotyczno-konwekcyjną zachowują naturalny zapach i miodowo-owocowy smak, kruchość oraz jasną barwę bez wstępnej obróbki  $\text{SO}_2$  jednakże stopień ich rehydratacji jest niższy od suszów z suszarek konwekcyjnych [Lis H., T. Lis, 1991; Lenart, 1990, 1993].

### Wyniki badań

#### Kinetyka osmotycznego odwadniania

Van' Hoff ustalił, iż ciśnienie osmotyczne ( $p_{os}$ ) ma taką wartość, jak ciśnienie gazu, utworzonego z substancji rozpuszczonej w czynniku osmotycznym, gdy gaz ten zachowa taką temperaturę (T) i objętość (V), jaką ma czynnik. Przy uwzględnieniu stężenia molowego czynnika osmotycznego w roztworze ( $\eta_L/V$ ,

kmol/m<sup>3</sup>) i uniwersalnej stałej gazowej MR (J/kmol\*K) uzyskuje się prosty, lecz niezbyt wygodny wzór o postaci

$$p_{os} = \frac{\eta_L}{V} (MR)T, \quad N/m^2 \quad (1)$$

Można udowodnić, iż ciśnienie osmotyczne zależy od gęstości roztworu osmotycznego ( $\rho$ , kg/m<sup>3</sup>), zawartości wody ( $u$ , kg H<sub>2</sub>O/kg s.m.), masy molowej czynnika osmotycznego ( $M_L$ , kg/kmol) i temperatury bezwzględnej  $T$ , gdyż

$$p_{os} = \rho \left(1 + \frac{1}{u} \frac{1}{M_L}\right) (MR)T \quad N/m^2 \quad (2)$$

$$\eta_L = \frac{G_L}{M_L}, \quad V = \frac{G}{\rho}, \quad \frac{G_L}{G} = \frac{G_L}{G_L + G_w} = 1 + \frac{G_L}{G_w}, \quad u = \frac{G_w}{G_L},$$

$$\rho = \rho_L \frac{\eta_L}{\eta} + \rho_w \frac{\eta_w}{\eta}$$

przy czym:  $G$  - masa roztworu (kg), indeks (w) dotyczy wody (rozpuszczalnika) natomiast indeks (L) dotyczy czynnika rozpuszczanego (suchej masy).

Własne równanie (2) daje podstawę do sformułowania równań 3-6 (tab.1). Szybkość odwadniania, jak również szybkość dyfuzji czynnika osmotycznego do odwadnianego surowca, maleje w miarę zmniejszania się zawartości wody w materiale (tab. 1, zależności 3÷6 o charakterze logarytmicznym, rys. 1).

Ze względu na dość wysoki koszt czynników osmotycznych bardziej racjonalny wydaje się być jednodobowy czas odwadniania osmotycznego, niż np. 4-godzinny, gdyż w pierwszym przypadku różnica między wilgotnością początkową i końcową dla sacharozy wynosi ok. 32%, a dla syropu skrobiowego ok. 26%, natomiast w drugim przypadku odpowiednio 10,0% i 6,6%. Jeżeli początkową masę H<sub>2</sub>O w materiale przyjąć za 100%, to w ciągu 4 godz. do roztworu sacharozy i syropu skrobiowego dyfunduje odpowiednio 33% i 26%; natomiast po 24 godz. odpowiednio 71% i 69%.

### Wpływ odwadniania osmotycznego na przebieg dosuszania konwekcyjnego oraz cechy jakościowe suszu

Owadnianie osmotyczne jabłek w roztworze sacharozy zachodziło szybciej, niż w syropie skrobiowym, ale nie miało to istotnego wpływu na czas dosuszania konwekcyjnego (tab. 2, rys. 1). Konieczne jest splukanie czynnika osmotycznego przed dosuszaniem.

Tabela 1

Wpływ zawartości wody w jabłkach ( $u$ ) na szybkość osmotycznego odwadniania ( $du/d\tau$ ), na przyrosty suchej substancji w stosunku do stanu początkowego ( $\Delta G_L$ ) oraz na szybkość dyfuzji ( $dG_L/d\tau$ )

Table 1

Influence of water content in apples ( $u$ ) on the rate of osmotic dehydration ( $du/d\tau$ ), on the increase of dry substance in relation to initial state ( $\Delta G_L$ ), and on diffusion rate ( $dG_L/d\tau$ )

dla 60% roztworu sacharozы									
Czas procesu	h	0	0,5	1	2	3	4	24	
$u$	kg/kg	6,52	5,31	4,58	4,45	3,65	3,29	1,21	
$du/d\tau$	kg/kg s.m.×h	0	2,430	1,460	0,550	0,390	0,360	0,105	
Równanie krzywej aproksym.		$du/d\tau = 0,0323 e^{0,7685 u}$							(3)
$\Delta G_L$	kg s.m./kg s.m.p.	-	0,090	0,065	0,073	0,053	0,043	0,220	
$dG_L/d\tau$	kg/kg s.m.×h	0	0,180	0,130	0,073	0,053	0,043	0,011	
Równanie krzywej aproksym.		$dG_L/d\tau = 0,0045 e^{0,6931 u}$							(4)
dla syropu skrobiowego									
$u$	kg/kg	6,52	5,81	5,23	4,69	4,31	4,04	1,55	
$du/d\tau$	kg/kg s.m.×h	0	1,41	1,16	0,54	0,39	0,26	0,13	
Równanie krzywej aproksym.		$du/d\tau = 0,0323 e^{0,7685 u}$							(5)
$\Delta G_L$	kg s.m./kg s.m.p.	-	0,058	0,045	0,037	0,030	0,030	0,115	
$dG_L/d\tau$	kg/kg s.m.×h	0	0,115	0,090	0,037	0,030	0,030	0,021	
Równanie krzywej aproksym.		$dG_L/d\tau = 0,0045 e^{0,6931 u}$							(6)

Dla  $\tau \geq 10$  min. stwierdzono jedynie okres malejącej szybkości suszenia, a zależność  $u(\tau)$  została podana nad krzywymi suszenia (rys. 1). Wartości współczynników tego równania, np. dla jabłek po odwodnieniu w syropie skrobiowym usuniętym następnie wodą wynosiły:  $x_1=1,40998$ ,  $x_2=0,9618$ ,  $x_3=50,797$ ,  $x_4=0,1142$ , przy odchyleniu standardowym 0,000678.

Odwadnianie osmotyczne jabłek w syropie skrobiowym wpłynęło korzystnie na cechy sensoryczne suszu (tab. 2), który w tym przypadku miał również dość wysoki stopień rehydratacji.

Tabela 2

Kryteria optymalizacji: średnia ocena cech sensorycznych ( $L_p$ ); stopień rehydratacji ( $X$ ); łączna ocena cech jakościowych ( $\Sigma$ ), przy możliwie najkrótszym czasie ( $\tau$ ) suszenia konwekcyjnego [min]

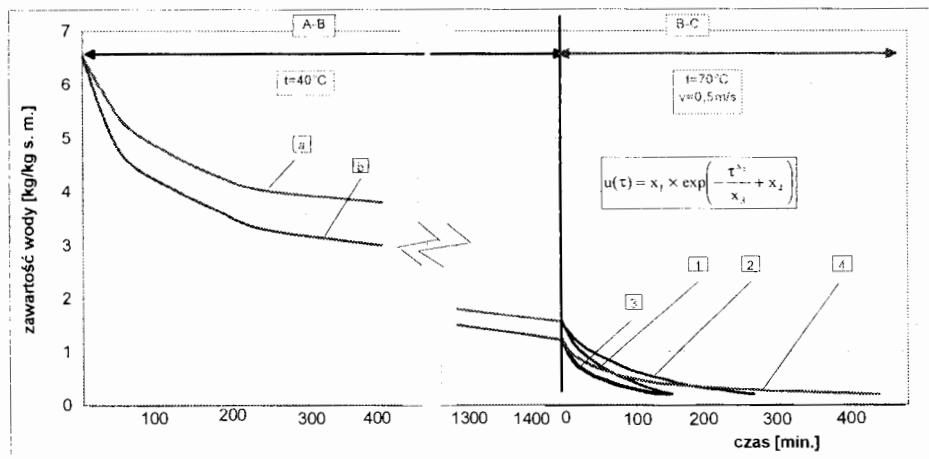
Table 2

Criteria of optimisation: mean evaluation of sensoric features ( $L_p$ ), degree of rehydration ( $X$ ), total evaluation of qualitative features ( $\Sigma$ ), at possibly shortest time ( $T$ ) of convection drying (min)

	Zabiegi wstępne przed suszeniem konwekcyjnym	$L_p$	$\frac{L_p}{L_{p_{max}}}$	$X$	$\frac{X}{X_{max}}$	$\Sigma$	$\tau$	$1 - \frac{\tau}{\tau_{max}}$
1.	Odwodnienie osmot. w syropie skrobiowym							
1.1.	Obmycie z syropu wodą	4,22	1	396,9	0,75	1,75	147	0,65
1.2.	Oczyszczenie mechaniczne	3,28	0,78	360,0	0,68	1,46	255	0,39
2.	Odwodnienie osmot. w 60% roztworze sacharozы							
2.1.	Obmycie wodą	4,08	0,97	260,0	0,49	1,46	142	0,66
2.2.	Oczyszczenie mechaniczne	3,35	0,79	223,3	0,42	1,21	421	0,00
3.	Bez odwodnienia osmotycz.	3,32	0,79	527,0	1	1,79	196	0,53

### Wybór technologii uzyskiwania suszu z jabłek

Przy założeniu, iż wskaźnik oceny wszystkich badanych cech jakościowych suszu powinien być odpowiednio wysoki ( $L_p/L_{p_{max}} + X/X_{max} = 1,75 - 2$ ), jak również wysoką wartość powinien mieć wskaźnik ograniczający czas suszenia ( $1 - \tau/\tau_{max} \geq 0,65$ ), przy ograniczeniu przyrostu suchej substancji produktu wskutek dyfuzji czynnika osmotycznego do  $\Delta G_L \leq 0,12$ , najlepsza wydaje się być technologia polegająca na osmotycznym odwodnieniu jabłek w syropie skrobiowym (24 h), wypłukaniu syropu wodą i dosuszeniu konwekcyjnym (tab.1). Suszenie konwekcyjne (tab. 2) pozwoliło wprawdzie uzyskać susz o najwyższym stopniu rehydratacji, ale o nisko ocenionej barwie i zapachu i zbyt małej wartości wskaźnika czasowego (0,53). Zamieszczone w tab. 2 komb. 1.2. i 2.2. są nie do przyjęcia ze względu na bardzo długi czas suszenia (wskaźnik czasowy odpowiednio 0,39 i 0,00) i niskie oceny jakości.



Rys. 1. Krzywe odwadniania osmotycznego i konwekcyjnego suszenia jabłek cv. Jonathan do wilgotności 16% dla różnych roztworów osmotycznych i zróżnicowanych sposobów usunięcia czynnika osmotycznego: A-B - proces odwadniania osmotycznego: a - odwadnie syropem skrobiowym, b - odwadnianie 60% roztworem sacharozy; B-C - proces suszenia konwekcyjnego

Fig. 1. Curves of osmotic and convection drying of apples cv. Jonathan to moisture level of 16 %, for different osmotic solutions and different methods of osmotic factor removing: A-B - process of osmotic dehydration, a - dehydration with starch syrup, b - dehydration with 60% saccharose solution, B-C - process of convection drying, 1 - after dehydration in starch syrup (water rinsing), 2 - after dehydration in starch syrup (mechanical cleaning), 3 - after dehydration in 60% saccharose solution (water rinsing), 4 - after dehydration in 60% saccharose solution (mechanical cleaning)

## Wnioski

Na podstawie przeprowadzonych badań można stwierdzić, iż:

1. Ciśnienie osmotyczne zależy od gęstości roztworu osmotycznego, zawartości wody (rozpuszczalnika), masy molowej ciała rozpuszczanego i temperatury bezwzględnej.

2. Wstępne osmotyczne odwadnianie jabłek zdecydowanie skraca czas suszenia konwekcyjnego, niewątpliwie najbardziej energochłonnego (pod warunkiem splukania czynnika osmotycznego wodą), wpływa również dodatnio na cechy sensoryczne suszu, ale zmniejsza stopień rehydratacji, który ma najwyższe wartości dla suszu uzyskanego w suszarce konwekcyjnej. Uzasadnione jest przedłużenie czasu odwadniania do 24 h.

3. Jeżeli za kryterium optymalizacji przyjmie się jakościowe cechy suszu, a czynnikami ograniczającymi będą: krótki czas suszenia konwekcyjnego i

stosunkowo niewielkie wnikanie czynnika osmotycznego do produktu, to optymalna technologia polega na osmotycznym odwodnieniu jabłek w syropie skrobiowym, usunięciu syropu poprzez splukiwanie wodą i na dosuszeniu konwekcyjnym.

## **Bibliografia**

- Lenart A., 1990. Osmotyczne odwodnianie jako obróbka wstępna przed suszeniem konwekcyjnym owoców i warzyw. *Przemysł Spożywczy* 12/90, s. 307.
- Lenart A., B. Iwaniuk, 1993. Właściwości rekonstrykcyjne owoców i warzyw suszonych sposobem osmotyczno-konwekcyjnym. *Przemysł Spożywczy* 1/93, s. 11.
- Lis H., T. Lis, 1991. Badania nad osmotyczno-konwekcyjnym odwadnianiem owoców i warzyw. Sprawozdanie z działalności statutowej. AR Lublin, 1992, maszynopis.

H. Lisowa, T. Lis, G. Kasiak, K. Mulak

## OSMOTIC-CONVECTION DRYING OF APPLES

### Summary

The influence of an osmotic factor type on dehydration kinetics of apples and on penetration kinetics of substance, considering the rate of processes, was investigated. The effects of osmotic factor type and the method of its removing on kinetics of convection drying were also studied, especially the impact on the time of drying process (to final moisture content of 16 %) and on qualitative features of dried fruits, as compared to that obtained in convection drier.