

HANNA KOWALSKA

## WPLYW STĘŻENIA ROZTWORU, TEMPERATURY I CZASU PROCESU NA ODWADNIANIE OSMOTYCZNE JABŁEK

### Streszczenie

Celem pracy było określenie wpływu stężenia roztworu, temperatury i czasu procesu na efektywność odwadniania osmotycznego jabłek. Próbki w kształcie prostopadłościanu o wymiarach 25×25×10 mm odwadniano osmotycznie w roztworach sacharozy o stężeniach 20, 40 lub 60 % w temperaturze 20, 40 lub 60 °C przez 60, 180 lub 300 min. Podczas odwadniania osmotycznego jabłek, wraz ze wzrostem stężenia roztworu sacharozy i podwyższaniem temperatury, zwiększeniu ulegała ilość usuwanej wody i większe było wnikanie substancji osmotycznej. Wpływ stężenia roztworu sacharozy na wymianę masy w odwadnianych jabłkach był większy niż wpływ temperatury. Prowadzenie procesu w 20 % roztworze sacharozy było niewystarczające do skutecznego odwadniania tkanki jabłek. W jabłkach przetrzymywanych w tym roztworze w większym stopniu następowało wnikanie substancji osmotycznej niż usuwanie wody. Prawdopodobnie w niektórych przypadkach zamiast usuwania wody z jabłek następowało zwiększenie w nich zawartości wody i w konsekwencji efektywność procesu wyrażona stosunkiem ubytku wody do przyrostu suchej masy przyjmowała wartości ujemne. Wraz ze wzrostem stężenia roztworu i podwyższaniem temperatury odwadniania następowało zwiększenie szybkości usuwania wody z badanych jabłek. Szybkość wnikania substancji osmotycznej do jabłek odwadnianych w temperaturze 20 °C nie zależała od stężenia roztworu sacharozy i czasu procesu. Stosując stałą temperaturę odwadniania jabłek (20 °C) i zmienne stężenie sacharozy (20, 40 lub 60 %), największą szybkość wnikania uzyskano w jabłkach odwadnianych przez 60 min w 40 % roztworze sacharozy. Natomiast przy odwadnianiu w niezmiennym 40 % roztworze sacharozy i temperaturze 20, 40 lub 60 °C największą szybkość wnikania osiągnięto w jabłkach odwadnianych przez 60 min w temperaturze 40 °C.

**Słowa kluczowe:** jabłka, odwadnianie osmotyczne, ubytek wody, przyrost suchej masy

### Wprowadzenie

Temperatura i stężenie roztworu oraz czas to niezwykle ważne parametry stosowane do odwadniania osmotycznego tkanki roślinnej. W znacznej mierze determinują one szybkość odwadniania i mają wpływ na otrzymanie produktu o pożądanych właściwościach sensorycznych. Analiza ich oddziaływania na wymianę masy w odwad-

nianym materiale służy optymalizacji odwadniania osmotycznego. Wyższe stężenie roztworu osmotycznego warunkuje uzyskanie większej siły napędowej procesu. Może też wpływać negatywnie, głównie poprzez zwiększone wnikanie substancji osmotycznej do odwadnianego materiału, szczególnie do warstw powierzchniowych, prowadząc do wytworzenia bariery utrudniającej wymianę masy pomiędzy tkanką roślinną a roztworem [1, 10, 16].

Siłą napędową wymiany masy w procesie odwadniania osmotycznego stanowi gradient ciśnienia osmotycznego pomiędzy roztworem osmotycznym a sokiem komórkowym tkanki roślinnej. Wraz ze zwiększaniem stężenia roztworu zmniejszeniu ulega zawartość wody w materiale, zaś zawartość suchej substancji ulega zwiększeniu [6]. Stężenie i temperatura roztworu osmotycznego mają wpływ na jego lepkość. Duża lepkość utrudnia wymianę masy oraz w większym stopniu sprzyja gromadzeniu się substancji osmotycznej na powierzchni odwadnianej próbki. Mechanizm hydrodynamiczny, towarzyszący odwadnianiu tkanki roślinnej, może być utrudniony wskutek zakłócenia dyfuzji wynikającej ze zmian lepkości roztworu osmotycznego i wnikania substancji osmotycznej, głównie do zewnętrznych warstw próbek odwadnianego materiału [1, 6, 12].

Przyrost suchej masy owoców lub warzyw w roztworze osmotycznym o małej lepkości następuje bardziej efektywnie ze względu na początkowo niskie ciśnienie. Jednocześnie przyrost suchej masy do odwadnianej tkanki przyczynia się do zmian w składzie próbki i ma znaczący wpływ na zmiany efektywnego współczynnika dyfuzji. Przy zastosowaniu zbyt niskiego stężenia roztworu osmotycznego jego wnikanie może być nieznaczne, a jego penetracja w materiale, ułatwiona niższą lepkością, może polegać na wymywaniu z odwadnianej tkanki roślinnej cennych, naturalnie występujących składników odżywczych. W bardziej stężonych roztworach penetracja substancji osmotycznej jest w większym stopniu ograniczona lepkością i dodatkowo sztywnością zewnętrznych warstw komórek tkanki, która zwiększa się z powodu szybkiego zagęszczenia materiału w tych warstwach. Prowadzi to zarazem do zmniejszenia szybkości wymiany masy [5, 6].

Podwyższenie temperatury wpływa na intensyfikację procesu wymiany masy poprzez zwiększenie ubytku wody w wyniku powiększenia porów i plastyfikacji membran komórkowych, zwiększenie szybkości dyfuzji wody w produkcie oraz lepszą wymianę masy z powodu mniejszej lepkości roztworu osmotycznego [4, 7, 8, 10, 16].

Stosowanie wysokiej temperatury procesu odwadniania osmotycznego może sprzyjać powiększaniu objętości, uplastycznieniu i zmianom fizykochemicznym błon komórkowych, co może prowadzić do zwiększenia ich przepuszczalności, a nawet całkowitej utraty ich selektywnego charakteru. Jednocześnie podwyższenie temperatury zmniejsza lepkość, poprawiając szybkość wymiany masy głównie w powierzchniowych warstwach próbki. Zmniejszeniu ulega opór przepływu roztworu osmotycznego

i w konsekwencji następuje większe wnikanie substancji osmotycznej do tkanki roślinnej [7, 10, 18].

Zastosowanie niewłaściwej temperatury i stężenia roztworu może wywoływać niekorzystne zmiany w materiale oraz prowadzić do niekontrolowanego przebiegu odwadniania osmotycznego. W konsekwencji może to prowadzić do zmian właściwości ścian komórkowych, straty składników odżywczych, zmian barwy i przyspieszenia niekorzystnych reakcji chemicznych, np. reakcji brązowienia [2, 14].

Celem pracy było określenie wpływu temperatury i stężenia roztworu osmotycznego oraz czasu procesu na zawartość wody i przyrost suchej masy w jabłkach podczas odwadniania osmotycznego w roztworze sacharozy.

### Material i metody badań

Do badań zastosowano kostki jabłka odmiany Idared w kształcie prostopadłościanu o wymiarach 25×25×10 mm. Odwadnianie osmotyczne prowadzono w 20, 40 lub 60 % roztworze sacharozy. Temp. procesu wynosiła 20, 40 lub 60 °C. Próbkę umieszczano w specjalnym koszyku z możliwością ich separacji i prowadzono wymuszony ruch roztworu o strumieniu przepływu wynoszącym 1 dm<sup>3</sup>/min. Stosunek masowy roztworu do masy próbek wynosił 20:1. Oznaczanie zawartości suchej masy wykonywano metodą wagową według PN-90/A-75101.03 [15]. Przy zastosowaniu powyższych parametrów wykonano trzy powtórzenia, wyniki przedstawiono jako wartości średnie.

W celu statystycznego opracowania wyników przeprowadzono wieloczynnikową analizę wariancji (Multifactor ANOVA) i weryfikację hipotez przy zastosowaniu testu istotności ( $\alpha = 0,05$ ) za pomocą programu Statgraphics Plus. Analizowano następujące wielkości:

– ubytek masy ( $\Delta M$ ):

$$\Delta M = \frac{(m_o - m_\tau)}{m_o} \cdot 100 \quad [\%] \quad (1)$$

– bezwymiarowa zawartość wody ( $WC$ ):

$$WC = \frac{(100 - sm_\tau)}{sm_\tau} / \frac{(100 - sm_o)}{sm_o} \quad [\text{wartość bezwymiarowa}] \quad (2)$$

– ubytek wody ( $WL$ ):

$$WL = \frac{m_o \cdot (100 - sm_o) - m_\tau \cdot (100 - sm_\tau)}{m_o \cdot sm_o} \quad [\text{gH}_2\text{O/g p.s.m.}] \quad (3)$$

– przyrost suchej masy ( $SG$ ):

$$SG = \frac{m_{\tau} \cdot sm_{\tau} - m_o \cdot sm_o}{m_o \cdot sm_o} \quad [\text{gH}_2\text{O/g p.s.m.}] \quad (4)$$

gdzie:

$m_o$  – początkowa masa próbki [g],

$m_{\tau}$  – masa próbki po czasie  $\tau$  [g],

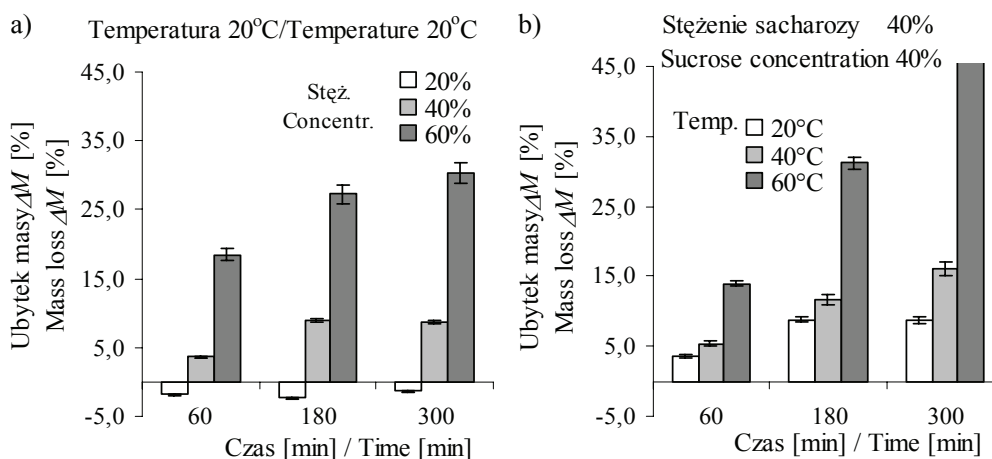
$sm_o$  – początkowa zawartość suchej masy [%],

$sm_{\tau}$  – zawartość suchej masy po czasie  $\tau$  [%],

p.s.m. – początkowa zawartość suchej masy w surowcu [g].

### Wyniki i dyskusja

Wraz ze zwiększaniem stężenia i temperatury roztworu osmotycznego zmianie ulegają warunki wymiany masy w kierunku zwiększenia jej intensywności. Wpływa to na zwiększenie obniżenia zawartości wody i wnikanie substancji osmotycznej w odwadnianym materiale, a w konsekwencji do zwiększenia ubytku masy [11, 20]. W jabłkach odwadnianych osmotycznie w roztworze sacharozy ubytek masy zależał statystycznie istotnie od stężenia roztworu, temperatury i czasu trwania procesu (tab. 1). Wraz ze wzrostem stężenia roztworu sacharozy i podwyższaniem temperatury oraz wydłużaniem czasu odwadniania następowało zwiększenie ubytku masy w jabłkach (rys. 1).



Rys. 1. Wpływ stężenia i temperatury procesu na ubytek masy jabłek odwadnianych osmotycznie.

Fig. 1. Effect of sucrose concentration and process temperature on mass loss in osmotically dehydrated apples.

Podczas osmotycznego odwadniania jabłek w temperaturze 20 °C przy zastosowaniu 20 % stężenia sacharozy ubytek masy przyjmował wartości ujemne (rys. 1a).

Proces odwadniania w tym przypadku miał bardzo niewielkie znaczenie. Prawdopodobnie następowało niekorzystne „wypłukiwanie” tkanki roślinnej z rozpuszczalnych składników soku komórkowego ze względu na zbliżone stężenie roztworu osmotycznego i soku komórkowego. Może to świadczyć o braku zmian struktury membran ścian komórkowych, dzięki czemu następował przepływ wody i cukru pomiędzy tkanką a roztworem. Natomiast zwiększenie masy próbek (ujemny ubytek masy) może być wynikiem tego, że w większym stopniu następowało wnikanie substancji osmotycznej do tkanki jabłek w porównaniu z usuwaniem z nich wody.

Tabela 1

Wyniki analizy statystycznej odwadniania osmotycznego jabłek.  
Statistical analysis results of osmotic dehydration of apples.

Czynniki Factors	$\Delta M$			$WC$			WL/SG			
	Wartość P P- value	Różnica Difference	NIR LDR	Wartość P P- value	Różnica Differ- ence	NIR LDR	Wartość P P- value	Różnica Differ- ence	NIR LDR	
Stęż. % Concentration, %	20-40		8,942	12,471		*-0,269	0,062		*3,157	1,253
	20-60	0,0023	*-18,268	12,471	0,0001	*0,171	0,062	0,0000	*-3,780	1,253
	40-60		*-27,210	15,273		*0,440	0,075		*-6,938	1,534
Temp. °C Temp. °C	20-40		-3,936	12,471		*0,254	0,062		0,764	1,253
	20-60	0,0039	*-23,728	12,471	0,0000	*0,271	0,062	0,0309	*-1,418	1,253
	40-60		*-19,791	15,273		0,017	0,075		*-2,183	1,534
Czas, min Time, min	60-180		-7,359	9,2723		*0,105	0,058		*-1,490	1,188
	60-300	0,0443	*-12,2718	9,2723	0,0003	*0,1824	0,0584	0,0571	-0,7594	1,1885
	180-300		-4,9131	9,2723		*0,0768	0,0584		0,7310	1,1885

Objaśnienia: / Explanatory notes:

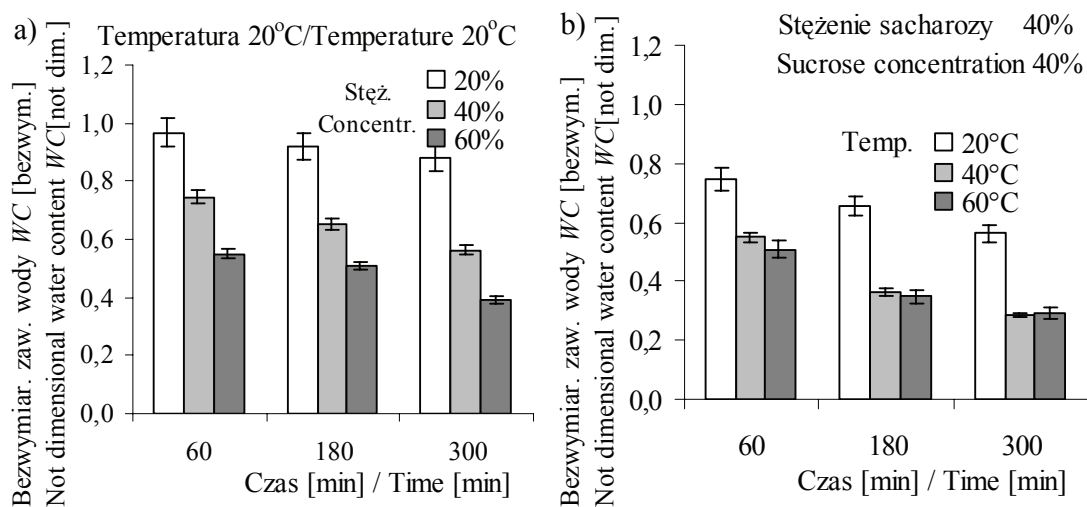
\* - oznacza różnice statystycznie istotne / means the statistically significant differences; NIR - najmniejsza istotna różnica / LSD – the lowest significant difference.

Zwiększenie stężenia sacharozy do 40 % spowodowało uzyskanie ubytku masy z jabłek na poziomie około 3,6 % po 60 min odwadniania. Natomiast po dłuższym czasie (180 i 300 min) ubytek masy był porównywalny, ale w odniesieniu do krótszego czasu ponad 2-krotnie większy i wynosił około 8,8 %. Kolejne zwiększenie stężenia sacharozy do 60 % wpłynęło na ponad 5-krotne, w porównaniu z 40 % stężeniem roztworu, zwiększenie ubytku masy w jabłkach odwadnianych przez 60 min. Po dłuższym

czasie odwadniania ubytek masy z jabłek odwadnianych w 60 % roztworze był ponad 3-krotnie większy niż przy zastosowaniu roztworu 40 %.

Podwyższenie temperatury z 20 do 40 °C podczas odwadniania osmotycznego jabłek w 40 % roztworze sacharozy spowodowało 25 - 45 % zwiększenie ubytku masy (rys. 1b). Natomiast zastosowanie temp. 60 °C wpłynęło na blisko 4-krotne zwiększenie ubytku masy z jabłek odwadnianych prze 60 min w porównaniu z próbkami odwadnianymi w temp. 20 °C. Zastosowanie dłuższego czasu odwadniania jabłek, szczególnie 300 min, wpłynęło istotnie na ubytek masy, który w przypadku jabłek odwadnianych w temp. 40 °C był blisko 2-krotnie większy w porównaniu z niższą temperaturą oraz około 3-krotnie mniejszy w odniesieniu do temperatury wyższej (rys. 1b).

Zwiększenie intensywności odwadniania wraz z podwyższaniem temperatury wynika głównie z zaburzenia wybiórczego charakteru błon półprzepuszczalnych, które w wyższej temperaturze zmieniają swą selektywność oraz z obniżenia lepkości roztworu, a tym samym zmniejszania oporu wnikania substancji osmotycznej w głąb materiału. W badaniach Ozena i wsp. [13] największe znaczenie zmian temperatury w zakresie 20 - 40 °C wykazano w ciągu pierwszych 15 min procesu. Natomiast nie stwierdzono znaczącego wpływu temperatury na wymianę masy w owocach odwadnianych w dłuższym czasie (do 20 h).



Rys. 2. Wpływ stężenia i temperatury na bezwymiarową zawartość wody w jabłkach odwadnianych osmotycznie

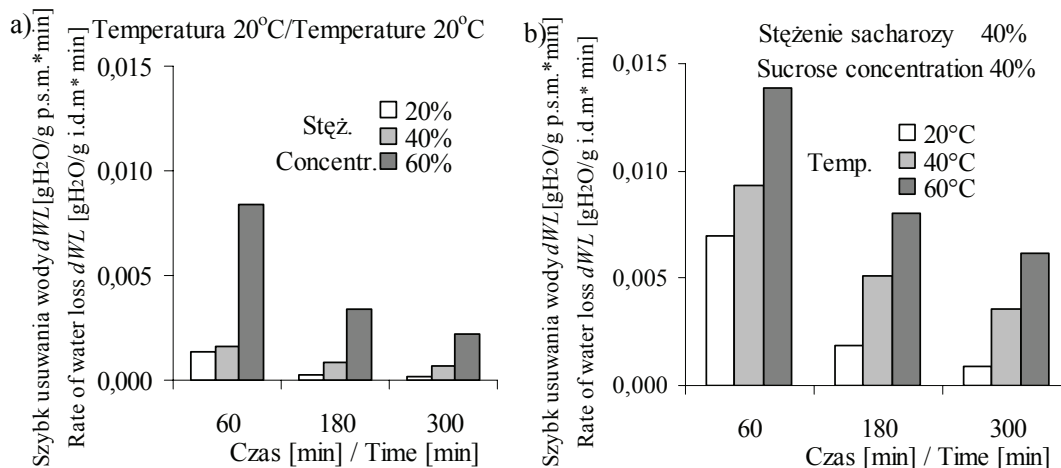
Fig. 2. Effect of sucrose concentration and temperature on non-dimensional water content in osmotically dehydrated apples

Zmiany bezwymiarowej zawartości wody  $WC$  w jabłkach odwadnianych osmotycznie (rys. 2a) przy zastosowaniu łagodnych parametrów (20 % stężenie sacharozy, temperatura 20 °C), pomimo różnic statystycznie istotnych (tab. 1), były niewielkie, rzędu 3 - 12 %. Potwierdza to przypuszczenia, że odwadnianie tkanki jabłek w tych warunkach nastąpiło tylko w bardzo niewielkim stopniu, zaś ujemny ubytek masy świadczy o większym strumieniu substancji osmotycznej, która wniknęła do próbki w porównaniu z ilością usuniętej wody z badanego materiału (rys. 1).

Zwiększanie stężenia sacharozy i podwyższenie temperatury procesu wpłynęło odwrotnie proporcjonalnie na obniżanie bezwymiarowej zawartości wody w jabłkach. W temp. 20 °C bezwymiarną zawartość wody, o około 61 % mniejszą w porównaniu z surowcem, uzyskano w jabłkach odwadnianych przez 300 min przy zastosowaniu 60 % stężenia roztworu osmotycznego (rys. 2a). Natomiast bezwymiarną zawartość wody w jabłkach odwadnianych w temp. 60 °C (roztwór 40 %) była o około 72 % mniejsza w porównaniu z jabłkami niepoddawanyymi odwadnianiu (rys. 2b). Jednocześnie bezwymiarną zawartość wody w większym stopniu zależała od stężenia roztworu osmotycznego, a w mniejszym od temperatury. Wartości tego wskaźnika były porównywalne przy zastosowaniu temp. w zakresie 40 - 60 °C.

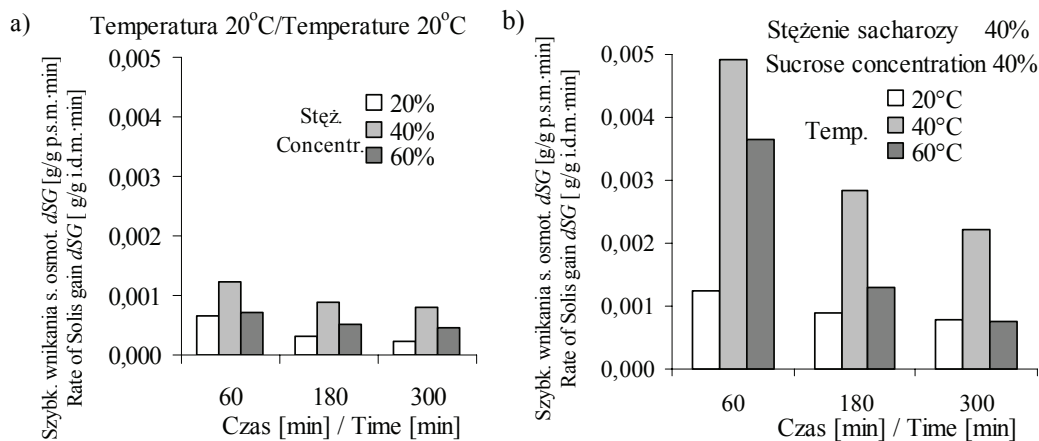
Szybkość usuwania wody z jabłek odwadnianych w przypadku zastosowania temp. 20 °C, niezależnie od stężenia roztworu osmotycznego oraz w roztworze 40 %, niezależnie od temperatury, charakteryzowała się największymi wartościami na początku procesu (po 60 min) (rys. 3). Jednocześnie zaobserwowano znaczący wpływ stężenia roztworu osmotycznego podczas odwadniania jabłek w stałej temperaturze (20 °C) oraz temperatury przy zastosowaniu stałej wartości stężenia sacharozy (40 %) na szybkość usuwania wody z badanych jabłek.

Odwadnianie osmotyczne jabłek przez 60 min w temp. 20 °C, w 20 % roztworze sacharozy spowodowało uzyskania szybkości usuwania wody na poziomie 0,0013 [g H<sub>2</sub>O/g p.s.m.·min], a przedłużenie czasu odwadniania jabłek do 180 i 300 min wpłynęło na 5- i 10- krotne obniżenie tego wskaźnika (rys. 3a). Przy zastosowaniu większego, 40 % stężenia sacharozy, szybkość usuwania wody z jabłek odwadnianych przez 60 min była tylko nieznacznie większa (ok. 0,0016 [g H<sub>2</sub>O/g p.s.m.·min]), zaś w jabłkach przetrzymywanych w 60 % roztworze ponad 6-krotnie większa. Po dłuższym czasie uległa ona około 2- do 4-krotnemu obniżeniu. Jednakże przy zastosowaniu temp. 60 °C szybkość ta była blisko 2-krotnie większa w porównaniu z odwadnianiem w temp. 20 °C.



Rys. 3. Wpływ stężenia i temperatury na szybkość usuwania wody z jablek odwadnianych osmotycznie.  
Fig. 3. Effect of sucrose concentration and temperature on rate of removing water (water loss) from osmotically dehydrated apples.

Inne zależności stwierdzono, analizując wpływ temperatury na szybkość usuwania wody z jablek odwadnianych w 40 % roztworze sacharozy (rys. 3b). Wraz z podwyższaniem temperatury następowało zwiększanie tego wskaźnika. Po 60 min odwadniania jablek w temp. 20 °C szybkość usuwania wody wynosiła około 0,0070 g H<sub>2</sub>O/g p.s.m.·min i ulegała ona zwiększeniu o około 28 i 51% odpowiednio przy podwyższeniu temp. o kolejne 20 °C, tj. do 40 i 60 °C. Natomiast wydłużenie czasu odwadniania jablek prowadziło do 2-3-krotnego obniżenia tego wskaźnika.



Rys. 4. Wpływ stężenia i temperatury na szybkość wnikania substancji osmotycznej do jablek odwadnianych osmotycznie.  
Fig. 4. Effect of sucrose concentration and temperature on penetration rate of osmotic substance (rate of solids gain) in osmotically dehydrated apples.



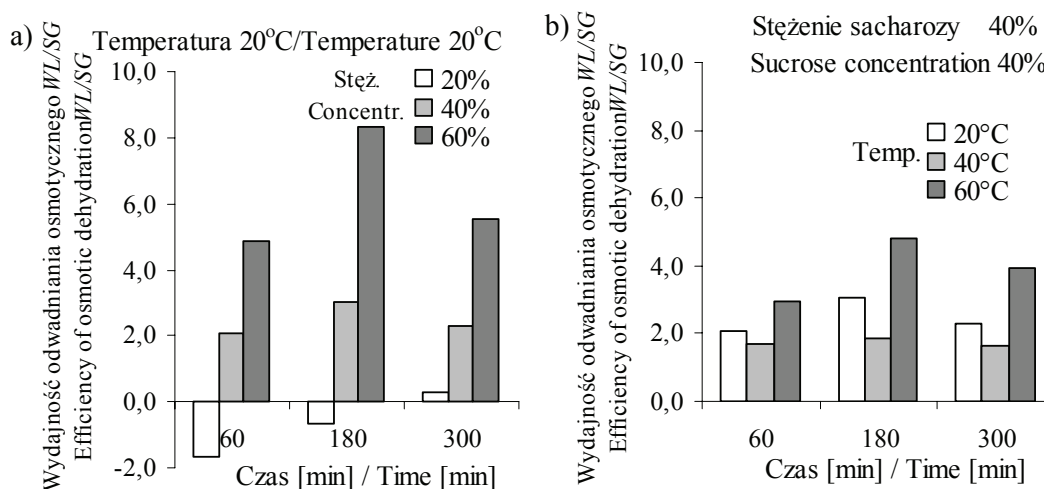
Szybkość wnikania substancji osmotycznej do jabłek odwadnianych w temp. 20 °C nie zależała od stężenia roztworu sacharozy i czasu odwadniania (rys. 4). W jabłkach odwadnianych w temp. 20 °C największą szybkość wnikania uzyskano w 40 % roztworze sacharozy. Natomiast przy uwzględnieniu stałego stężenia sacharozy, 40 %, największa szybkość wnikania substancji osmotycznej do jabłek miała miejsce przy zastosowaniu temp. 40 °C. W przypadku analizowania wpływu stężenia w zakresie 20 - 60 % w temp. 20 °C na szybkość wnikania substancji osmotycznej do jabłek, zaobserwowano znacznie mniejsze zmiany w uzyskanych wartościach tego wskaźnika, tj. od 0,0002 do 0,0012 g/g p.s.m.·min (rys. 4a) w porównaniu z temperaturą w zakresie 20 - 60 °C w przypadku jabłek odwadnianych w 40 % roztworze sacharozy (0,0007-0,0049 g H<sub>2</sub>O/g p.s.m.·min) (rys. 4b).

W wielu pracach [4, 8, 10, 16] wykazano, że szybkość usuwania wody i wnikania substancji osmotycznej jest zwykle największa na początku procesu, co jest wynikiem dużej różnicy ciśnień osmotycznych oraz małych oporów przenoszenia masy. W miarę upływu czasu substancja osmoaktywna powoduje silną egzoosmozę powierzchniowych warstw komórek prowadzącą do znacznego zagęszczenia soku komórkowego, a tym samym następuje zmniejszenie półprzepuszczalności błon komórkowych.

Z badań przeprowadzanych w niniejszej pracy wynika, że łagodne warunki odwadniania osmotycznego, szczególnie, gdy zbyt małe było stężenie roztworu, mogą być niewystarczające do uzyskania określonego efektu odwodnienia tkanki. Dodatkowo może następować niekorzystne wymywanie składników odżywczych. Lazarides i wsp. [10] wykazali, że zbyt niska temperatura, prowadząca do zwiększenia lepkości roztworu, może zakłócać transport masy pomiędzy roztworem osmotycznym a zanurzonym w nim materiałem i w efekcie spowolnić dyfuzję wody w próbkach. Niskie stężenie roztworu osmotycznego powoduje mały, ale szybki przyrost suchej masy, a wysokie jest powodem znacznie większego wnikania substancji osmotycznej do odwadnianego materiału. Zjawisko to tłumaczone jest głównie penetracją kapilarną [6, 16].

Efektywność odwadniania osmotycznego jabłek przez 60 i 180 min określana jako stosunek ubytku wody do przyrostu suchej masy WL/SG w przypadku zastosowania 20 % stężenia roztworu sacharozy oraz temperatury 20 °C wykazywała wartości ujemne (odpowiednio około -1,7 i -0,7) (rys. 5a). Świadczy to, podobnie, jak przy analizie ubytku masy i bezwymiarowej zawartości wody, o nasączeniu tkanki jabłek substancją osmotyczną w porównywalnym lub większym stopniu niż usuwanie wody z badanych próbek. Wydłużenie czasu odwadniania osmotycznego jabłek do 300 min umożliwiło nieznaczne, statystycznie nieistotne, zwiększenie strumienia usuwanej wody z próbek w porównaniu ze strumieniem wnikającej substancji osmotycznej (tab. 1; rys. 5a). Zastosowanie większego stężenia sacharozy (40 %) spowodowało uzyskanie statystycznie istotnie większej efektywności odwadniania osmotycznego jabłek

przez 60 min do wartości około 2,1 i 3,0 po 180 min. Po 300 min trwania procesu efektywność ta uległa obniżeniu do około 2,3. Największym stosunkiem ubytku wody do przyrostu suchej masy, w zakresie 4,9 - 8,3, charakteryzowały się jabłka odwadniane w 60 % roztworze sacharozy w temperaturze 20 °C (rys. 5a). Jednakże podobnie, jak przy zastosowaniu 40 % stężenia roztworu osmotycznego, wartość uzyskanego stosunku  $WL/SG$  w jabłkach odwadnianych przez 300 min była o ponad 34 % mniejsza niż w próbkach odwadnianych przez 180 min.



Rys. 5. Wpływ stężenia i temperatury na efektywność odwadniania osmotycznego jabłek.

Fig. 5. Effect of sucrose concentration and temperature on efficiency of osmotic dehydration of apples.

Podczas osmotycznego odwadniania jabłek w 40 % roztworze sacharozy wykazano mniejszy wpływ temp. w zakresie 20 - 60 °C na efektywność procesu w porównaniu z innym stosowanym stężeniem (20 i 60 %) (rys. 5b; tab.1). Efektywność ta w jabłkach odwadnianych przez 60 min była najmniejsza i w zależności od temperatury mieściła się w zakresie 1,7 - 2,9. Niezależnie od temperatury, największe wartości tego wskaźnika uzyskano w przypadku jabłek odwadnianych przez 180 min (1,8 - 4,8). Natomiast w przypadku zastosowania temperatury 40 °C efektywność procesu  $WL/SG$  w jabłkach odwadnianych w zakresie 60 - 300 min była bardzo zbliżona (1,6 - 1,8) i nie wykazano w tym przypadku statystycznie istotnego wpływu czasu na uzyskane wartości  $WL/SG$  (tab.1).

Podwyższenie temperatury powoduje zwiększenie szybkości procesów osmozy i dyfuzji. W optymalnym stopniu tkanka roślinna ulega odwodnieniu w zakresie temperatury 20 - 50 °C [3, 9]. W wielu badaniach [17, 19] wykazano, że wpływ temperatury był tym większy, im wyższe było stężenie roztworu. Potwierdziły te spostrzeżenia

badania Chenlo i wsp. [4], którzy prowadzili odwadnianie kasztanów jadalnych w roztworach sacharozy w zakresie temp. 25 - 45 °C. Najlepsze wartości *WL/SG* uzyskano przy zastosowaniu temp. 25 °C i największego 60 % stężenia roztworu.

### Wnioski

1. Stężenie sacharozy w zakresie 20 - 60 %, temperatura w przedziale 20 - 60 °C oraz czas odwadniania osmotycznego jabłek od 60 do 300 min miały statystycznie istotny wpływ na ubytek masy i obniżenie bezwymiarowej zawartości wody w badanych próbkach.
2. Zastosowanie 20 % stężenia sacharozy i temperatury 20 °C do odwadniania osmotycznego jabłek było niewystarczające do usuwania wody i powodowało uzyskanie ubytku masy o wartościach ujemnych.
3. Zwiększenie stężenia sacharozy z 20 do 40 % spowodowało uzyskanie ubytku masy z jabłek na poziomie 3,6 % po 60 min odwadniania, a po dłuższym czasie (180 - 300 min) ubytek masy był blisko 2-krotnie większy. Największy ubytek masy w jabłkach odwadnianych w temperaturze 20 °C odnotowano przy zastosowaniu 60 % roztworu sacharozy, był ponad 5-krotnie większy w porównaniu z odwadnianiem w 40 % roztworze.
4. Podwyższanie temperatury w zakresie 20 - 40 °C podczas odwadniania osmotycznego jabłek w 40 % roztworze sacharozy spowodowało 25 - 45 % zwiększenie ubytku masy, a zastosowanie temperatury 60 °C wpłynęło na blisko 4-krotne zwiększenie ubytku masy z jabłek odwadnianych przez 60 min w porównaniu z temperaturą 20 °C. Zastosowanie dłuższego czasu odwadniania jabłek, szczególnie 300 min, wpłynęło istotnie na ubytek masy z odwadnianych jabłek.
5. Szybkość usuwania wody z jabłek odwadnianych w temperaturze 20 °C, niezależnie od stężenia roztworu osmotycznego, oraz w roztworze 40 %, niezależnie od temperatury, charakteryzowała się największymi wartościami na początku procesu (60 min). Dłuższy czas odwadniania osmotycznego jabłek, 180 i 300 min, wpłynął na 5- i 10-krotne obniżenie tego wskaźnika. Przy zastosowaniu 40 % stężenia sacharozy szybkość usuwania wody z jabłek odwadnianych przez 60 min była tylko nieznacznie większa, zaś w jabłkach przetrzymywanych w 60 % roztworze uległa ponad 6-krotnemu zwiększeniu w porównaniu ze stężeniem najniższym.
6. Szybkość wnikania substancji osmotycznej do jabłek odwadnianych w stałej temperaturze 20 °C nie zależała od stężenia roztworu sacharozy i czasu odwadniania (zmieniała się w zakresie od 0,0002 do 0,0012 g/g p.s.m.·min), zaś w przypadku zastosowania stałego 40 % roztworu osmotycznego zależała od czasu i temperatury odwadniania, ale z pominięciem temperatury 20 °C. Największą szybkość wnikania do jabłek odwadnianych w temperaturze 20 °C uzyskano przy zastosowaniu

- 40 % roztworu sacharozy i czasu 60 min, a przy odwadnianiu w roztworze 40 %, przy zastosowaniu temperatury 40 °C i tego samego czasu 60 min (0,0049 g/g p.s.m.·min).
7. Efektywność procesu odwadniania osmotycznego jabłek odwadnianych w roztworze sacharozy w mniejszym stopniu zależała od temperatury, a w większym od jej stężenia. W przypadku zastosowania 20 % stężenia roztworu sacharozy i temperatury 20 °C oraz czasu do 180 min wykazywała wartości ujemne. Zastosowanie większego stężenia sacharozy (60 %) spowodowało uzyskanie większej efektywności odwadniania osmotycznego jabłek, przy czym największe wartości uzyskano w jabłkach odwadnianych przez 180 min. Po 300 min trwania procesu efektywność ta uległa obniżeniu o około 30 % w porównaniu z krótszym czasem odwadniania badanych jabłek.

*Praca naukowa finansowana ze środków na naukę w latach 2008-2010 jako projekt badawczy nr NN 312 0351 33; była prezentowana podczas I Sympozjum Żywności z okazji 30-lecia powołania specjalizacji Inżynieria Żywności na Wydziale Nauk o Żywności SGGW, Warszawa, 5 - 6 czerwca 2008 r.*

### Literatura

- [1] Barat J.M., Chiralt A., Fito P.: Equilibrium in cellular food osmotic solution systems as related to structure, *J. Food Sci.*, 1998, **63(5)**, 836-840.
- [2] Biegańska-Marecik R., Czapski J.: Porównanie przydatności odmian jabłek do produkcji plastrów o małym stopniu przetworzenia. *Acta Scientiarum Polonorum, Technologia Alimentaria*, 2003, **2(2)**, 115-127.
- [3] Chenlo F., Moreira R., Fernandez-Herrero C., Vazquez G.: Mass transfer during osmotic dehydration of chestnut using sodium chloride solutions. *J. Food Eng.*, 2006, **73**, 164-173.
- [4] Chenlo F., Moreira R., Fernández-Herrero C., Vázquez G.: Osmotic dehydration of chestnut with sucrose: Mass transfer processes and global kinetics modelling. *J. Food Eng.*, 2007, **78**, 765-774.
- [5] El-Aouar A.A., Moreira Azoubel P., Barbosa Jr. J.L., Xidieh Murr F.E.: Influence of the osmotic agent on the osmotic dehydration of papaya (*Carica papaya* L.). *J. Food Eng.*, 2006 **75**, 267-274.
- [6] Girlando G., Talens P., Fito P., Chiralt A.: Influence of sucrose solution concentration on kinetics and yield during osmotic dehydration of mango. *J. Food Eng.*, 2003, **58**, 33-43.
- [7] Jokić A., Gyura J., Lević L., Zavargo Z.: Osmotic dehydration of sugar beet in combined aqueous solutions of sucrose and sodium chloride. *J. Food Eng.*, 2007, **78**, 47-51.
- [8] Khoyi M.R., Hesari J.: Osmotic dehydration kinetics of apricot using sucrose solution. *J. Food Eng.*, 2007, **78**, 1355-1360.
- [9] Kowalska H., Lenart A., Leszczyk D.: The effect of blanching and freezing on osmotic dehydration of pumpkin. *J. Food Eng.*, 2008, **86**, 30-38.
- [10] Lazarides H.N., Katsanidis E., Nickolaidis A.: Mass transfer kinetics during osmotic preconcentration aiming at minimal solid uptake. *J. Food Eng.*, 1995, **25**, 151-166.
- [11] Lenart A.: Wymiana masy w żywności o stałej konsystencji. Część I. Dyfuzja wody. *Przem. Spoż.* 1990, **10**, 238-240.
- [12] Moreira R., Sereno A.M.: Evaluation of mass transfer coefficients and volumetric shrinkage during osmotic dehydration of apple using sucrose solutions in static and non-static conditions. *J. Food Eng.*, 2003, **57**, 25-31.

- [13] Ozen B.F., Dock L.L., Ozdemir M., Floros J.D.: Processing factors affecting the osmotic dehydration of diced green peppers. *Int. J. Food Sci. Technol.*, 2002, **37**, 497-502.
- [14] Peiró R., Dias V.M.C., Camacho M.M., Martínez-Navarrete N.: Micronutrient flow to the osmotic solution during grapefruit osmotic dehydration. *J. Food Eng.*, 2006, **74**, 299-307.
- [15] PN-90/A-75101.03. Oznaczanie zawartości suchej masy metodą wagową.
- [16] Rastogi N.K., Raghavarao K.S.M.S.: Mass transfer during osmotic dehydration of pineapple: considering Fickian diffusion in cubical configuration. *Food Sci. Technol.*, 2004, **37**, 43-47.
- [17] Sablani S.S., Rahman M.S.: Effect of syrup concentration, temperature and sample geometry on equilibrium distribution coefficients during osmotic dehydration of mango. *Food Res. Int.*, 2003, **36**, 65-71.
- [18] Saurel R., Raoult-Wack A., Rios G., Guilbert S.: Mass transfer phenomena during osmotic dehydration of apple I. Fresh plant tissue. *Int. J. Food Sci. Technol.*, 1994, **29**, 531-542.
- [19] Seguí L., Fito P.J., Albros A., Fito P.: Mass transfer phenomena during the osmotic dehydration of apple isolated protoplasts (*Malus domestica* var. Fuji). *J. Food Eng.*, 2006, **77**, 179-187.
- [20] Singh B., Kumar A., Gupta A.K.: Study of mass transfer kinetics and effective diffusivity during osmotic dehydration of carrot cubes. *J. Food Eng.*, 2007, **79**, 471-480.

#### EFFECT OF SOLUTION CONCENTRATION, TEMPERATURE, AND PROCESS TIME ON OSMOTIC DEHYDRATION OF APPLES

##### Summary

The objective of the study was to determine the effect of the solution concentration, temperature, and process time on changes in water content and on process efficiency of osmotic dehydration of apples. The samples shaped as a 25×25×10 mm plate were osmotically dehydrated in a 20, 40 or 60 % sucrose solution at temperatures of 20, 40 or 60 °C during 60, 180, or 300 minutes. While the apples were osmotically dehydrated, the quantity of removed water (water loss) and solids gain in the apples increased along with the increase in the sucrose concentration level and along with the increasing temperature; also, the penetration of osmotic substance (solids gain) was higher. The effect of sucrose solution concentration on the substance exchange in apples being dehydrated was higher than the effect of temperature. If the process run in a 20 % sucrose solution, the tissues of apples were insufficiently osmotically dehydrated. In the apples kept in the sucrose solution, the penetration degree of osmotic substance (solids gain) was higher than the water removal degree (water loss). Probably, in some cases, the water was not removed from the apples, on the contrary, the water content increased. As a result, the efficiency of the process expressed as a ratio of water loss to solids gain was a negative value. Along with the increase in concentration of the sucrose solution and in the temperature of dehydration process, the rate of removing water from the apples examined increased. The penetration rate of osmotic substance into apples at  $t = 20$  °C did not depend on the sucrose solution concentration nor on the time of dehydration process. The application of a constant temperature of dehydration of apples (20 °C) and a varying concentration value of sucrose solution (20, 40, or 60 %) caused that the penetration rate was the highest in the apples dehydrated during 60 minutes in a 40 % sucrose solution. When the osmotic dehydration process was carried out in a constant (not changed) 40 % sucrose solution and at  $t = 20, 40, \text{ or } 60$  °C, the highest rate of penetration was in the apples that were dehydrated during 60 minutes at  $t = 40$  °C.

**Key words:** apples, osmotic dehydration, water loss, solids gain 