

KAROLINA MICHALSKA, ROBERT KLEWICKI, MACIEJ WOJTCZAK

## ODWADNIANIE OSMOTYCZNE MROŻONYCH GRUSZEK W ROZTWORACH SACHAROZY Z DODATKIEM WYBRANYCH SOLI WAPNIA

### Streszczenie

Odwadnianie osmotyczne może być wykorzystywane m.in. jako technika suplementacji owoców i warzyw w wapń, co korzystnie wpływa na ich jakość i wartość odżywczą. Celem pracy było określenie wpływu wybranych parametrów procesu (temperatury, czasu i stężenia soli wapnia) na przebieg odwadniania osmotycznego mrożonych gruszek oraz poziom wapnia w odwadnianym materiale. W doświadczeniach użyto roztworów sacharozy o stężeniu 50 °Bx i temp. 20 ÷ 50 °C, zawierających mleczan lub glukonian wapnia o stężeniu 0,014 ÷ 0,072 M. Wykazano, że mrożone gruszki łatwo poddają się odwadnianiu w testowanych warunkach. We wszystkich zastosowanych wariantach uzyskano ponad dwukrotny wzrost zawartości suchej substancji już po 1 h odwadniania. Po 2 ÷ 3 h wzrost zawartości suchej substancji był już znikomy. Nie obserwowano zależności ilości suchej substancji migrującej do owoców z syropu od temperatury procesu ani zastosowanej soli. W obecności mleczanu wapnia wahała się ona w granicach 1,01 ÷ 1,48 g s.s./g p.s.s, w obecności glukonianu wapnia – 0,92 ÷ 1,56 g s.s./g p.s.s. Średni ubytek wody po pierwszej godzinie odwadniania w temp. 20, 30, 40 i 50 °C wyniósł w przypadku mleczanu wapnia odpowiednio: 2,43; 2,70; 2,70 i 2,84 g H<sub>2</sub>O/g p.s.s, a w przypadku glukonianu wapnia: 2,27; 2,74; 2,78 i 2,50 g H<sub>2</sub>O/g p.s.s. W tym czasie wystąpił jednocześnie największy przyrost zawartości wapnia w owocach, chociaż występował on także w dalszym etapie. Najwyższy poziom wapnia odnotowano po 5 h procesu prowadzonego w temp. 50 °C z użyciem 0,072 M glukonianu wapnia – wyniósł on 1808 mg/kg. W analogicznych warunkach w obecności mleczanu wapnia zawartość ta wzrosła do 1720 mg/kg. Po pierwszej godzinie w przypadku obydwu soli poziom wapnia osiągnął wartość ok. 1300 mg/kg.

**Słowa kluczowe:** gruszki mrożone, odwadnianie osmotyczne, wapń, ubytek wody, przyrost suchej masy

### Wprowadzenie

Odwadnianie osmotyczne jest techniką utrwalania i przetwarzania żywności, która polega na usunięciu części wody w wyniku zanurzenia materiału o strukturze tkan-

---

*Mgr inż. K. Michalska, dr hab. inż. R. Klewicki, dr inż. M. Wojtczak, Instytut Technologii i Analizy Żywności, Wydz. Biotechnologii i Nauk o Żywności, Politechnika Łódzka, ul. Stefanowskiego 4/10, 90-924 Łódź. Kontakt: robert.klewicki@p.lodz.pl*

kowej w stężonym roztworze substancji osmoaktywnej, najczęściej sacharydów lub soli. Brak przemiany fazowej wody czyni tę technikę atrakcyjną, ponieważ pozwala zachować w znacznym stopniu cechy wyjściowe surowca [10] oraz obniżyć zużycie energii. W celu intensyfikacji wymiany masy oraz polepszenia jakości materiału odwadnianego testowane są różne dodatkowe techniki, jak użycie pola elektrycznego, podciśnienia [21] czy obróbki enzymatycznej [15, 27].

Ważną zaletą odwadniania osmotycznego jest możliwość migracji substancji o działaniu prozdrowotnym, jeśli są obecne w roztworze hipertonicznym, do odwadnianego materiału [22]. Do takich związków, wpływających na zdrowie człowieka, a jednocześnie modyfikujących właściwości produktów żywnościowych, należą sole wapnia. Pierwiastek ten ważny jest m.in. dla utrzymania należytego stanu kości, gdyż zapobiega osteoporozie i łamliwości. Jak wskazują badania, ilość wapnia w produktach spożywanych przez ludzi młodych, gdy następuje formowanie się kośćca, jest poniżej zalecanych wartości [4]. Zwraca się też uwagę na prawdopodobną rolę wapnia w zmniejszaniu ryzyka występowania nowotworów [13]. W grupie osób spożywających więcej tego pierwiastka obserwowano także efekt obniżania ciśnienia krwi [12]. Wapń ważny jest także dla właściwej przepuszczalności błon komórkowych, w utrzymaniu pobudliwości tkanek, przewodnictwie tkanki nerwowej, kurczliwości tkanki mięśniowej, w utrzymywaniu równowagi kwasowo-zasadowej oraz w wykorzystaniu żelaza. Wapń jest aktywatorem lub inhibitorem wielu enzymów [8].

Pod względem technologicznym dodatek wapnia do owoców też może okazać się korzystny. Wiadomo, że pierwiastek ten łączy się z pektynami tworząc mostki, wzmacniając ścianę komórkową i poprawiając strukturalną integralność tkanki. Owoce odwadniane osmotycznie w obecności soli wapnia wykazują większą twardość [24]. Traktowanie solami wapnia przed magazynowaniem może także zwiększyć trwałość materiału roślinnego, co wykazali Chardonnet i wsp. [7], którzy stosowali ciśnieniową impregnację jabłek roztworem  $\text{CaCl}_2$ . Według Martín-Diana i wsp. [17], z uwagi na kształtowanie pożądanych cech sensorycznych produktu końcowego korzystniejsze jest stosowanie soli wapnia kwasu mlekowego i glukonowego niż chlorku wapnia, którego użycie wiąże się z powstawaniem gorzkiego smaku produktów. Osmotycznie odwodnione owoce traktowane są najczęściej jako półprodukt do dalszego wykorzystania, np. jako wkład owocowy do jogurtów lub po dodatkowym suszeniu konwekcyjnym jako składniki musli albo batonów.

Celem pracy było określenie wpływu dodatku dwóch rodzajów soli wapnia (mleczanu i glukonianu), o różnych stężeniach, na przebieg odwadniania osmotycznego mrożonych gruszek oraz poziom wapnia w owocach.

### Material i metody badań

Materiałem doświadczalnym były gruszki odmiany ‘Concorde’ w fazie dojrzałości konsumpcyjnej. Świeże owoce obierano, krojono w kostkę o boku 1 cm i umieszczano w torebkach foliowych z zamknięciem strunowym. Torebki umieszczano w zamrażarce w temp.  $-18\text{ }^{\circ}\text{C}$  i w tych warunkach przechowywano przez okres prowadzenia doświadczeń (dwa miesiące). Używano owoców mrożonych i krojonych w kostkę ze względu na to, że w takiej postaci jabłka i gruszki znajdują się na rynku jako półprodukt wykorzystywany w przemyśle spożywczym. Modyfikacja ich cech poprzez odwadnianie umożliwi projektowanie i wytwarzanie produktu końcowego o założonych właściwościach, np. prozdrowotnych (w przypadku podjętych badań – o odpowiednim poziomie wapnia).

Zamrożone owoce w ilości  $10 \pm 1\text{ g}$  umieszczano w zakręcanych pojemnikach. Do każdego pojemnika dodawano roztwór sacharozy o stężeniu  $50\text{ }^{\circ}\text{Bx}$  tak, aby stosunek masy surowca do masy roztworu wynosił 1 : 4. Roztwór zawierał dodatkowo mleczan wapnia lub glukonian wapnia o stężeniu [M]: 0,014, 0,043 lub 0,072, co odpowiada zawartości ok. [% (m/v)]: 0,3, 0,9 i 1,5 w przypadku mleczanu wapnia oraz ok. [% (m/v)]: 0,6, 1,9 i 3,1 w przypadku glukonianu wapnia. Wartości te zawierają się w zakresie stężeń soli wapnia (do 4 %) najczęściej stosowanych w odwadnianiu osmotycznym [5, 6, 11, 19, 20, 24, 25, 26]. Odwadnianie prowadzono w łaźni wodnej z wytrząsaniem (150 cykli/min) (GFL 1086, Gesellschaft für Labortechnik mbH, Niemcy) przez 5 h w temp. 20, 30, 40 i  $50\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Po każdej godzinie pobierano dwie próbki (dwa pojemniki). Kostki oddzielano od roztworu na sicie, dwukrotnie zanurzano w wodzie destylowanej i osuszano na bibule filtracyjnej. Każda z dwóch pobranych próbek była oddzielnie rozdrabniana i dzielona na dwie części. Jedna część była poddawana analizie na zawartość suchej substancji, druga na zawartość wapnia.

Oznaczenie zawartości suchej substancji wykonywano metodą suszarkową w temp.  $105 \pm 1\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Do naczynek wagowych odważano ok. 4 g próbki i suszono do stałej masy (4 h) [2].

W celu zbadania przebiegu procesu odwadniania osmotycznego wyznaczano następujące wielkości [14]:

– ubytek wody (WL) [g  $\text{H}_2\text{O}$  /g p.s.s.]:

$$\text{WL} = \frac{m_o(1 - s_o) - m_k(1 - s_k)}{m_o s_o}$$

– przyrost rozpuszczalnej suchej masy (SG) [g s.s. /g p.s.s.]:

$$\text{SG} = \frac{m_k s_k - m_o s_o}{m_o s_o}$$

gdzie:

$m_o$  – początkowa masa próbki [g],

$m_k$  – masa próbki po odwadnianiu [g],

$s_o$  – początkowa zawartość suchej substancji [g s.s./g],

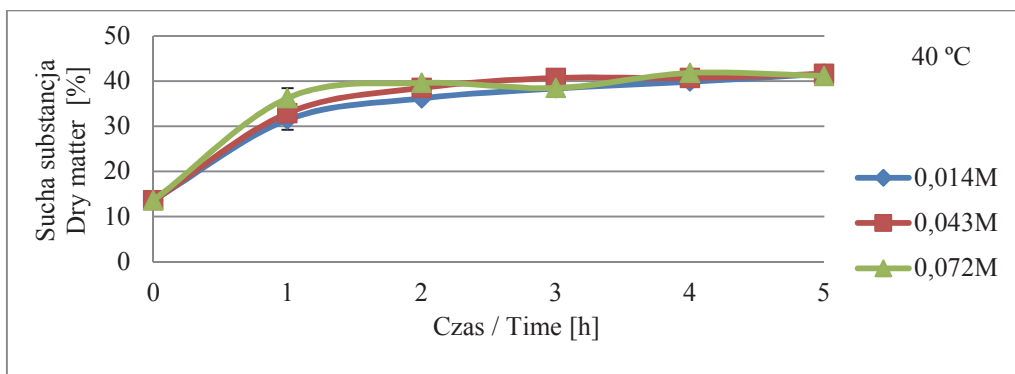
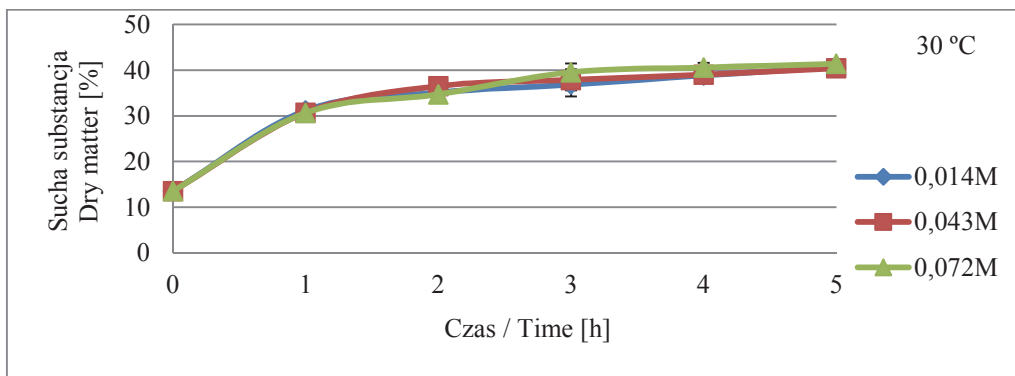
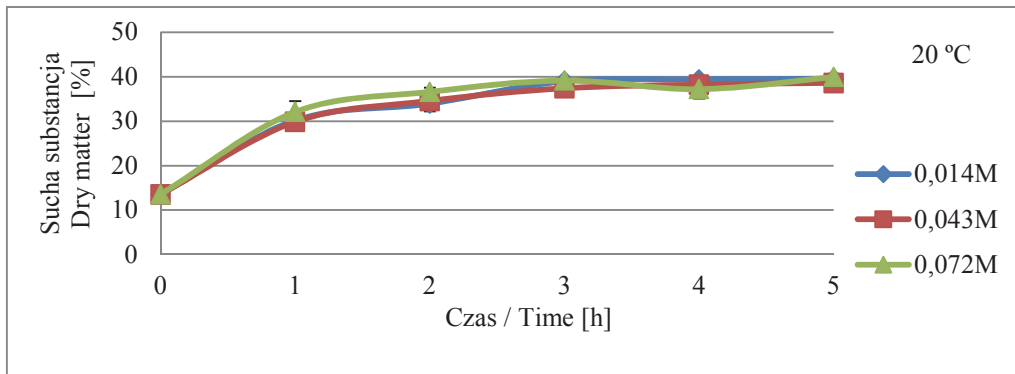
$s_k$  – końcowa zawartość suchej substancji [g s.s./g].

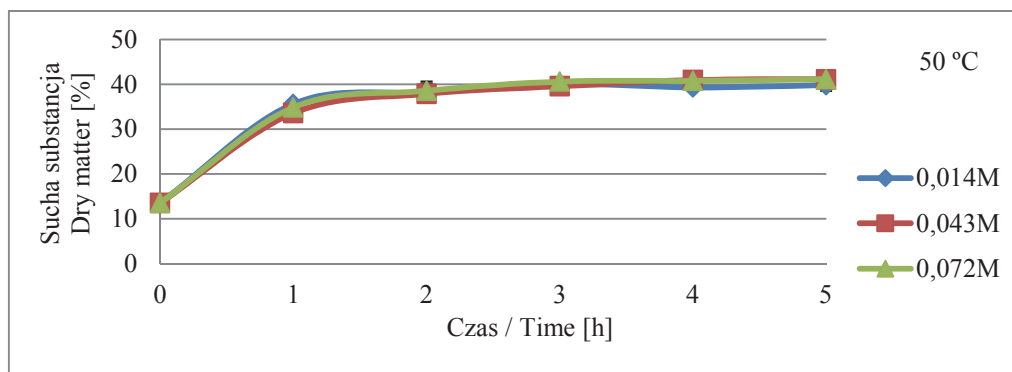
W celu oznaczenia zawartości wapnia w próbkach przeprowadzano ich mineralizację na mokro. W kolbie Kieldahla o pojemności 100 ml umieszczano ok. 4 g próbki, 30 ml 96-procentowego  $\text{HNO}_3$  i 0,5 ml 30-procentowej  $\text{H}_2\text{O}_2$ . Mieszaninę ogrzewano za pomocą czasy grzejnej do zakończenia wydzielania brunatnych dymów, następnie dodawano 20 ml wody redestylowanej i utrzymywano w stanie wrzenia przez 10 min. Po ostudzeniu całość przenoszono do kolby miarowej 100 ml za pomocą wody redestylowanej. Następnie wykonywano pomiar za pomocą spektrometru absorpcji atomowej UNICAM 969 (Unicam, Wielka Brytania) [28].

Analizę statystyczną wyników (ANOVA, test Duncana) wykonano z użyciem programu Statistica 10 (Stat Soft Polska, Sp. z o.o.).

### Wyniki i dyskusja

Z danych przedstawionych na rys. 1. i 2. wynika, że mrożone gruszki łatwo poddają się odwadnianiu osmotycznemu w roztworze sacharozy o stężeniu 50 °Bx z dodatkiem soli wapniowych, także w niskich temperaturach. Największy wzrost zawartości suchej substancji zaobserwowano w czasie pierwszej godziny, niezależnie od zastosowanej temperatury oraz użytej soli wapniowej. W obecności mleczanu wapnia w temp. 20 i 30 °C zawartość ta wzrosła w tym czasie z 13,6 % do ok. 30 %, a w przypadku temp. 40 °C – do 31,4 ÷ 36,2 %. Stężenie ok. 35 % uzyskano po godzinnym odwadnianiu w temp. 50 °C. Podobne rezultaty osiągnięto po zastąpieniu mleczanu wapnia glukonianem wapnia. W przypadku obydwu soli maksymalna zawartość suchej substancji wyniosła ok. 40 %, w temp. 20 °C w obecności mleczanu wapnia wahała się w granicach 38,6 ÷ 39,9 %, natomiast w pozostałych przypadkach przekroczyła 40 %. Największą zawartość suchej substancji w owocach odnotowano po zastosowaniu roztworu sacharozy z dodatkiem glukonianu wapnia o temp. 50 °C po 5 h odwadniania (41,4 ÷ 42,6 %). Ze względu na to, że po 2 ÷ 3 h wzrost zawartości suchej substancji był już znikomy, przedłużanie czasu procesu ponad tę wartość nie jest wskazane.

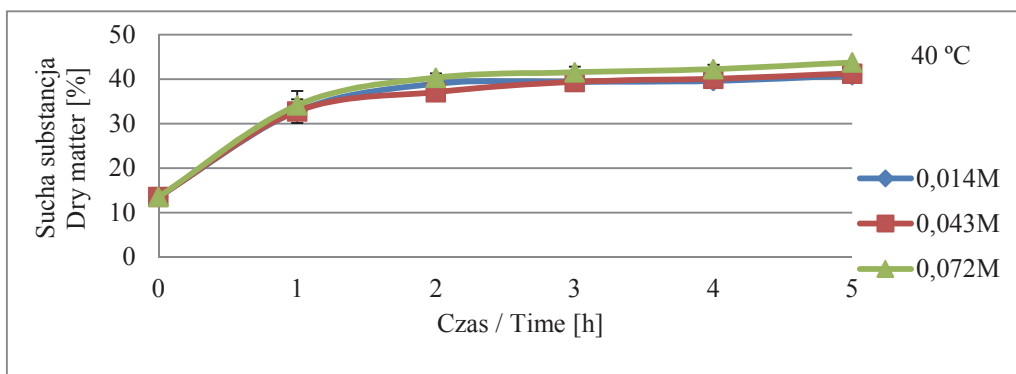
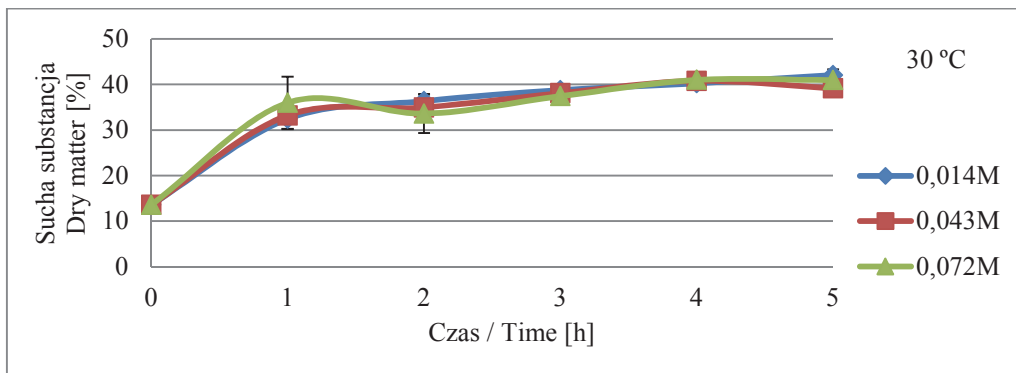
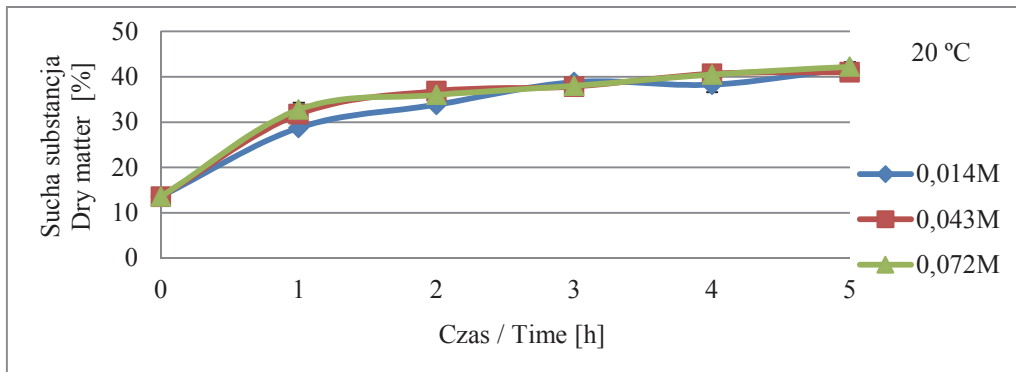


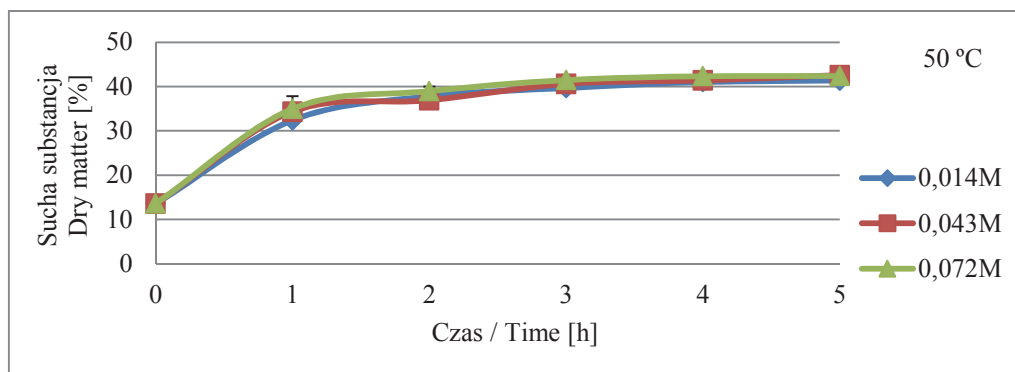


Rys. 1. Zmiany zawartości suchej substancji w mrożonych gruszkach odwadnianych osmotycznie w roztworach sacharozy o stężeniu 50 °Bx, zawierających mleczan wapnia o różnych stężeniach (0,012 ÷ 0,072 M). Temperatura procesu: 20 ÷ 50 °C, czas: 1 ÷ 5 h

Fig. 1. Changes in dry matter content in frozen pears osmodehydrated in 50 °Bx sucrose solutions containing calcium lactate of different concentrations (0.012 ÷ 0.072 M). Process temperature: 20 ÷ 50 °C, time: 1 ÷ 5 h

Stwierdzono stosunkowo niewielki wpływ temperatury prowadzenia odwadniania osmotycznego na wzrost zawartości suchej substancji, chociaż dane literaturowe wskazują raczej na istotną rolę tego parametru w skracaniu analizowanego procesu [1]. Może to być spowodowane faktem, że mrożenie przed odwadnianiem narusza w znacznym stopniu tkankę owoców (błony komórkowe), co sprzyja zwiększonej migracji roztworu hipertonicznego do tkanki poprzez dyfuzję [14]. W przypadku mrożonych gruszek uzyskiwano, niezależnie od temperatury oraz zastosowanej soli wapniowej i jej stężenia, porównywalne wartości przyrostu rozpuszczalnej suchej substancji spowodowanego migracją sacharozy i soli wapnia do owoców (tab. 1 i 2). Analiza danych wskazuje, że w przypadku obydwu stosowanych soli istotne zmiany tego parametru występowały przede wszystkim w ciągu pierwszej i drugiej godziny odwadniania. Na przykład wartości te po 3 h odwadniania w temp. 20, 30, 40 i 50 °C w roztworze zawierającym mleczan wapnia zawierały się w granicach odpowiednio [g s.s./g p.s.s.]: 1,26 ÷ 1,47, 1,01 ÷ 1,37, 1,34 ÷ 1,48 i 1,42 ÷ 1,45. W roztworach z glukonianem wapnia były to wartości odpowiednio [g s.s./g p.s.s.]: 1,46 ÷ 1,51, 1,11 ÷ 1,46, 1,15 ÷ 1,50 i 0,92 ÷ 1,56.





Rys. 2. Zmiany zawartości suchej substancji w mrożonych gruszkach odwadnianych osmotycznie w roztworach sacharozy o stężeniu 50 °Bx, zawierających glukonian wapnia o różnych stężeniach (0,012 ÷ 0,072 M). Temperatura procesu: 20 ÷ 50 °C, czas: 1 ÷ 5 h

Fig. 2. Changes in dry matter content in frozen pears osmodehydrated in 50 °Bx sucrose solutions containing calcium gluconate of different concentrations (0.012 ÷ 0.072 M). Process temperature: 20 ÷ 50 °C, time: 1 ÷ 5 h

Głównym czynnikiem decydującym o poziomie suchej substancji owoców odwadnianych osmotycznie jest ubytek wody. Już po pierwszej godzinie procesu był on porównywalny do wartości otrzymanywanych w dalszych etapach odwadniania. Po tym czasie w obecności mleczanu wapnia (w danym przedziale stężeń soli 0,014 ÷ 0,072 M) ubytek wody wahał się w granicach [g H<sub>2</sub>O/g p.s.s.]: 2,36 ÷ 2,55, 2,38 ÷ 3,17, 2,39 ÷ 2,94 i 2,36 ÷ 3,50 w temp. odpowiednio [°C]: 20, 30, 40 i 50. W obecności glukonianu wapnia było to odpowiednio [g H<sub>2</sub>O/g p.s.s.]: 1,95 ÷ 2,43, 2,02 ÷ 3,30, 2,64 ÷ 2,90 i 2,28 ÷ 2,67. Stosowanie różnych stężeń danej soli pozostało bez istotnego wpływu na ilość migrującej wody. Porównanie wyników otrzymanych po zastosowaniu mleczanu i glukonianu wapnia (analizę statystyczną wykonano dla dwóch pierwszych godzin) prowadzi do stwierdzenia, że obecność różnych soli nie miała także istotnego wpływu na wartość tego parametru. Wykazano również, że pomimo obserwowanej zmienności uzyskanych wartości, w większości badanych przypadków (przy porównaniu wyników uzyskanych dla danej soli o stałym stężeniu, po danym czasie) nie uzyskano różnic statystycznie istotnych po zastosowaniu różnych temperatur. Średni ubytek wody po godzinie odwadniania w temp. [°C]: 20, 30, 40 i 50, liczony z wartości dla trzech stężeń soli wapniowej, wyniósł w przypadku mleczanu wapnia odpowiednio [g H<sub>2</sub>O/g p.s.s.]: 2,43, 2,70, 2,70 i 2,84, a w przypadku glukonianu wapnia [g H<sub>2</sub>O/g p.s.s.]: 2,27, 2,74, 2,78 i 2,50.



Tabela 1. Ubytek wody i przyrost rozpuszczalnej suchej masy podczas odwadniania osmotycznego mrożonych gruszek w roztworach sacharozy o stężeniu 50<sup>Bx</sup>, zawierających mleczan wapnia o różnych stężeniach (0,012 ÷ 0,072 M). Temperatura procesu: 20 ÷ 50 °C, czas: 1 ÷ 5 h  
 Table 1. Water loss and gain in solids during osmotic dehydration of frozen pears in 50<sup>Bx</sup> sucrose solutions containing calcium lactate of different concentrations (0.012 ÷ 0.072 M). Process temperature: 20 ÷ 50 °C, time: 1 ÷ 5 h

Roztwór Solution [M]	T [°C]	Ubytek wody / Water loss [g H <sub>2</sub> O / g p.s.s.] / [g H <sub>2</sub> O / g i.d.m.]					Przyrost rozpuszczalnej suchej masy / Gain in soluble solids [g s.s. / g p.s.s.] / [g d.m. / g i.d.m.]				
		1 h	2 h	3 h	4 h	5 h	1 h	2 h	3 h	4 h	5 h
0,014	20	2,55 <sup>A,a,X*</sup> ± 0,32	2,42 <sup>A,a,X*</sup> ± 0,10	2,74 <sup>A,a,X,Y</sup> ± 0,12	2,57 <sup>A,a,X</sup> ± 0,03	2,68 <sup>A,a,X</sup> ± 0,23	0,65 <sup>A,a,X*</sup> ± 0,07	1,03 <sup>B,a,X*</sup> ± 0,11	1,32 <sup>C,a,X</sup> ± 0,04	1,47 <sup>C,a,X</sup> ± 0,02	1,41 <sup>C,a,X</sup> ± 0,04
		2,36 <sup>A,a,X*</sup> ± 0,05	2,75 <sup>A,a,X*</sup> ± 0,30	2,59 <sup>A,a,X</sup> ± 0,05	2,49 <sup>A,a,X</sup> ± 0,01	2,54 <sup>A,a,X</sup> ± 0,25	0,71 <sup>A,a,X*</sup> ± 0,01	0,92 <sup>A,a,X*</sup> ± 0,22	1,26 <sup>B,a,X,Y</sup> ± 0,07	1,40 <sup>B,a,X</sup> ± 0,07	1,41 <sup>B,a,X</sup> ± 0,04
		2,38 <sup>A,a,X*</sup> ± 0,41	2,32 <sup>A,a,X*</sup> ± 0,09	2,53 <sup>A,a,X</sup> ± 0,18	2,31 <sup>A,a,X</sup> ± 0,20	2,75 <sup>A,a,X</sup> ± 0,29	0,87 <sup>A,b,X*</sup> ± 0,02	1,34 <sup>B,a,X*</sup> ± 0,04	1,47 <sup>B,a,X</sup> ± 0,09	1,40 <sup>B,a,X</sup> ± 0,10	1,41 <sup>B,a,X</sup> ± 0,12
0,014	30	3,17 <sup>A,a,X,Y*</sup> ± 0,53	3,31 <sup>A,a,Y*</sup> ± 0,35	2,93 <sup>A,a,X</sup> ± 0,08	2,68 <sup>A,a,X</sup> ± 0,02	2,88 <sup>A,a,X</sup> ± 0,28	1,19 <sup>A,a,X*</sup> ± 0,40	0,96 <sup>A,a,X*</sup> ± 0,37	1,01 <sup>A,a,Y</sup> ± 0,06	1,00 <sup>A,a,X</sup> ± 0,09	0,58 <sup>A,a,Y</sup> ± 0,09
		2,55 <sup>A,a,X*</sup> ± 0,02	2,99 <sup>A,a,X*</sup> ± 0,30	2,85 <sup>A,a,X</sup> ± 0,38	2,57 <sup>A,a,X,Y</sup> ± 0,07	2,95 <sup>A,a,X</sup> ± 0,28	0,69 <sup>A,a,X*</sup> ± 0,09	0,94 <sup>A,B,a,X*</sup> ± 0,17	1,14 <sup>B,D,a,Y</sup> ± 0,09	1,43 <sup>C,b,X</sup> ± 0,10	1,32 <sup>C,D,b,X</sup> ± 0,01
		2,38 <sup>A,a,X*</sup> ± 0,21	2,60 <sup>A,a,Y*</sup> ± 0,02	2,75 <sup>B,a,X</sup> ± 0,15	2,66 <sup>A,a,X,Z</sup> ± 0,00	2,88 <sup>B,a,X</sup> ± 0,07	0,77 <sup>A,a,X*</sup> ± 0,20	1,01 <sup>A,a,X*</sup> ± 0,09	1,37 <sup>B,a,X</sup> ± 0,16	1,54 <sup>B,b,X</sup> ± 0,11	1,47 <sup>B,b,X</sup> ± 0,02
0,014	40	2,39 <sup>A,a,X*</sup> ± 0,25	2,78 <sup>B,a,b,X*</sup> ± 0,03	2,61 <sup>A,B,a,b,Y</sup> ± 0,10	3,14 <sup>C,a,b,X</sup> ± 0,10	3,14 <sup>C,a,b,X</sup> ± 0,02	0,82 <sup>A,a,X*</sup> ± 0,08	1,03 <sup>B,a,X*</sup> ± 0,03	1,34 <sup>C,a,X</sup> ± 0,09	1,14 <sup>B,D,a,b,X</sup> ± 0,07	1,30 <sup>C,D,a,X</sup> ± 0,01
		2,78 <sup>A,a,X*</sup> ± 0,55	2,94 <sup>A,a,X*</sup> ± 0,01	2,91 <sup>A,a,X</sup> ± 0,10	2,90 <sup>A,a,Y</sup> ± 0,09	2,64 <sup>A,a,X</sup> ± 0,29	0,77 <sup>A,a,X*</sup> ± 0,39	1,15 <sup>A,B,b,X*</sup> ± 0,03	1,37 <sup>B,C,a,X</sup> ± 0,01	1,38 <sup>B,C,a,X</sup> ± 0,04	1,66 <sup>C,b,Y</sup> ± 0,13
		2,94 <sup>A,a,X*</sup> ± 0,16	2,63 <sup>A,b,Y*</sup> ± 0,09	2,40 <sup>B,b,X</sup> ± 0,20	3,56 <sup>C,b,Y</sup> ± 0,22	3,52 <sup>C,b,Y</sup> ± 0,13	0,95 <sup>A,a,X,Y*</sup> ± 0,10	1,24 <sup>B,b,X*</sup> ± 0,03	1,48 <sup>C,a,X</sup> ± 0,04	1,02 <sup>A,B,b,Y</sup> ± 0,17	0,99 <sup>A,c,Y</sup> ± 0,00
0,014	50	3,50 <sup>A,a,Y*</sup> ± 0,09	2,66 <sup>A,a,X*</sup> ± 0,30	2,76 <sup>A,a,X,Y</sup> ± 0,08	3,62 <sup>A,a,X</sup> ± 1,04	2,81 <sup>A,a,X</sup> ± 0,11	0,59 <sup>A,a,X*</sup> ± 0,11	1,30 <sup>A,B,a,X*</sup> ± 0,01	1,42 <sup>A,B,a,X</sup> ± 0,01	2,20 <sup>B,a,X</sup> ± 1,33	1,36 <sup>A,B,a,X</sup> ± 0,06
		2,66 <sup>A,a,b,X*</sup> ± 0,28	2,98 <sup>A,a,X*</sup> ± 0,27	2,64 <sup>A,a,X</sup> ± 0,12	2,81 <sup>A,a,X,Y</sup> ± 0,26	2,97 <sup>A,a,X</sup> ± 0,04	0,88 <sup>A,a,b,X*</sup> ± 0,13	1,07 <sup>A,a,X*</sup> ± 0,15	1,45 <sup>B,a,X</sup> ± 0,11	1,47 <sup>B,a,X</sup> ± 0,13	1,38 <sup>B,a,X</sup> ± 0,03
		2,36 <sup>A,b,X*</sup> ± 0,49	2,80 <sup>A,a,Y*</sup> ± 0,16	2,83 <sup>A,a,X</sup> ± 0,14	2,81 <sup>A,a,Z</sup> ± 0,09	2,90 <sup>A,a,X</sup> ± 0,08	1,15 <sup>A,b,Y*</sup> ± 0,13	1,26 <sup>A,a,X*</sup> ± 0,30	1,43 <sup>A,a,X</sup> ± 0,16	1,46 <sup>A,a,X</sup> ± 0,06	1,43 <sup>A,a,X</sup> ± 0,04

Objaśnienia / Explanatory notes:

W tabeli przedstawiono wartości średnie  $\pm$  odchylenia standardowe / Table shows mean values  $\pm$  standard deviations; s.s. – sucha substancja / d.m. – dry matter; p.s.s. – początkowa sucha substancja / i.d.m. – initial dry matter; A, B, C, D – wartości średnie (uzyskane dla danego stężenia i temperatury oraz różnych wartości czasu) oznaczone różnymi literami różnią się statystycznie istotnie ( $p < 0,05$ ) / mean values (obtained for given concentration and temperature and for different times) denoted by different letters differ statistically significantly ( $p < 0,05$ ); a, b, c – wartości średnie (uzyskane dla danej temperatury i czasu oraz różnych stężeń) oznaczone różnymi literami różnią się statystycznie istotnie ( $p < 0,05$ ) / mean values (obtained for given temperature and time and for different concentrations) denoted by different letters differ statistically significantly ( $p < 0,05$ ); X, Y, Z – wartości średnie (uzyskane dla danego stężenia i czasu oraz różnych wartości temperatury) oznaczone różnymi literami różnią się statystycznie istotnie ( $p < 0,05$ ) / mean values (obtained for given concentration and time and for different temperatures) denoted by different letters differ statistically significantly ( $p < 0,05$ ); \*, \*\* – wartości średnie (uzyskane dla danej temperatury, stężenia i czasu oraz różnych soli – dane w tab. 1 i 2) oznaczone różnymi literami różnią się statystycznie istotnie ( $p < 0,05$ ) / mean values (obtained for given temperature, concentration, and time and for different salts – data in Tab. 1 and 2) denoted by different letters differ statistically significantly ( $p < 0,05$ ).

Tabela 2. Ubytek wody i przyrost rozpuszczalnej suchej masy podczas odwadniania osmotycznego mrożonych gruszek w roztworach sacharozy o stężeniu 50 °Bx, zawierających glukonian wapnia o różnych stężeniach (0,012 ÷ 0,072 M). Temperatura procesu: 20 ÷ 50 °C, czas: 1 ÷ 5 h  
 Water loss and gain in solids during osmotic dehydration of frozen pears in 50 °Bx sucrose solutions containing calcium gluconate of different concentrations (0.012 ÷ 0.072 M). Process temperature: 20 ÷ 50 °C, time: 1 ÷ 5 h

Roztwór Solution [M]	T [°C]	Ubytek wody / Water loss [g H <sub>2</sub> O / g p.s.s.] / [g H <sub>2</sub> O / g i.d.m.]					Przyrost rozpuszczalnej suchej masy / Gain in soluble solids [g s.s. / g p.s.s.] / [g d.m. / g i.d.m.]				
		1 h	2 h	3 h	4 h	5 h	1 h	2 h	3 h	4 h	5 h
		20	1,95 <sup>A,a,X*</sup> ± 0,46	2,28 <sup>A,a,X*</sup> ± 0,25	2,42 <sup>A,a,X*</sup> ± 0,21	2,40 <sup>A,a,X</sup> ± 0,21	2,77 <sup>B,a,X,Y</sup> ± 0,01	0,79 <sup>A,a,X*</sup> ± 0,21	1,09 <sup>B,a,X*</sup> ± 0,07	1,51 <sup>C,a,X</sup> ± 0,10	1,46 <sup>C,a,X,Y</sup> ± 0,05
0,043	2,43 <sup>A,a,X*</sup> ± 0,20	2,70 <sup>B,a,X*</sup> ± 0,03	2,33 <sup>A,a,X*</sup> ± 0,06	2,43 <sup>A,a,X</sup> ± 0,09	2,45 <sup>A,B,b,X</sup> ± 0,02	0,83 <sup>A,a,X*</sup> ± 0,12	1,14 <sup>B,a,X*</sup> ± 0,09	1,47 <sup>C,a,X</sup> ± 0,09	1,70 <sup>D,b,X</sup> ± 0,03	1,73 <sup>D,a,X</sup> ± 0,01	
0,072	2,43 <sup>A,a,X*</sup> ± 0,15	2,42 <sup>A,a,X*</sup> ± 0,25	2,37 <sup>A,a,X</sup> ± 0,11	2,58 <sup>A,a,X</sup> ± 0,05	2,56 <sup>A,a,b,X</sup> ± 0,12	0,93 <sup>A,a,X*</sup> ± 0,15	1,22 <sup>A,B,a,X*</sup> ± 0,18	1,46 <sup>B,C,a,X</sup> ± 0,05	1,58 <sup>B,C,a,b,X</sup> ± 0,11	1,79 <sup>C,a,X</sup> ± 0,25	
0,014	2,02 <sup>A,a,X*</sup> ± 0,02	2,85 <sup>B,a,X*</sup> ± 0,07	2,49 <sup>C,a,X</sup> ± 0,11	2,55 <sup>C,a,X</sup> ± 0,10	2,54 <sup>C,a,X</sup> ± 0,15	1,09 <sup>A,C,a,X*</sup> ± 0,21	1,01 <sup>A,B,a,X*</sup> ± 0,09	1,46 <sup>C,D,a,X,Y</sup> ± 0,08	1,58 <sup>D,a,X</sup> ± 0,02	1,79 <sup>D,a,X</sup> ± 0,25	
0,043	3,30 <sup>A,b,Y*</sup> ± 0,37	2,75 <sup>A,B,a,X*</sup> ± 0,04	2,45 <sup>B,a,X</sup> ± 0,06	2,94 <sup>A,B,a,X</sup> ± 0,48	2,29 <sup>B,a,X</sup> ± 0,35	0,99 <sup>A,a,X*</sup> ± 0,13	0,95 <sup>A,a,Y*</sup> ± 0,00	1,41 <sup>A,B,a,X</sup> ± 0,12	1,37 <sup>A,B,a,X</sup> ± 0,34	1,63 <sup>B,a,X</sup> ± 0,22	
0,072	2,89 <sup>A,b,X*</sup> ± 0,19	2,35 <sup>A,b,X*</sup> ± 0,09	2,85 <sup>A,a,X</sup> ± 0,68	2,82 <sup>A,a,X,Y</sup> ± 0,10	2,53 <sup>A,a,X</sup> ± 0,48	0,97 <sup>A,a,X*</sup> ± 0,39	1,06 <sup>A,a,X*</sup> ± 0,44	1,11 <sup>A,a,X</sup> ± 0,43	1,48 <sup>A,a,X</sup> ± 0,21	1,43 <sup>A,a,X</sup> ± 0,00	
0,014	2,64 <sup>A,a,X*</sup> ± 0,50	2,70 <sup>A,a,X*</sup> ± 0,25	3,06 <sup>A,a,X,Y</sup> ± 0,30	2,87 <sup>A,a,X,Y</sup> ± 0,04	3,01 <sup>A,a,Y</sup> ± 0,05	0,81 <sup>A,C,a,X*</sup> ± 0,03	1,34 <sup>B,a,b,X*</sup> ± 0,13	1,15 <sup>B,C,a,Y,Z</sup> ± 0,21	1,30 <sup>B,a,X,Y</sup> ± 0,14	1,33 <sup>B,a,X</sup> ± 0,14	
0,043	2,90 <sup>A,a,X,Y*</sup> ± 0,09	2,87 <sup>A,a,X*</sup> ± 0,08	2,53 <sup>B,a,X</sup> ± 0,01	2,86 <sup>A,a,X</sup> ± 0,02	2,81 <sup>A,a,X,Y</sup> ± 0,00	0,69 <sup>A,a,X*</sup> ± 0,01	1,07 <sup>B,a,X,Y*</sup> ± 0,04	1,50 <sup>C,a,X</sup> ± 0,07	1,36 <sup>D,a,X</sup> ± 0,06	1,51 <sup>C,a,b,X</sup> ± 0,04	
0,072	2,80 <sup>A,a,X*</sup> ± 0,13	2,81 <sup>A,a,X*</sup> ± 0,26	2,89 <sup>A,a,X</sup> ± 0,10	2,78 <sup>A,a,X,Y</sup> ± 0,27	2,85 <sup>A,a,X</sup> ± 0,11	0,86 <sup>A,a,X*</sup> ± 0,20	1,41 <sup>B,b,X*</sup> ± 0,08	1,47 <sup>B,C,a,X</sup> ± 0,06	1,63 <sup>B,C,a,X</sup> ± 0,09	1,74 <sup>C,b,X</sup> ± 0,08	
0,014	2,28 <sup>A,a,X*</sup> ± 0,07	2,62 <sup>A,a,X*</sup> ± 0,30	3,46 <sup>B,a,Y</sup> ± 0,15	3,18 <sup>B,a,Y</sup> ± 0,01	3,13 <sup>B,a,Y</sup> ± 0,21	0,96 <sup>A,a,X*</sup> ± 0,11	1,28 <sup>A,a,X*</sup> ± 0,18	0,92 <sup>A,a,Z</sup> ± 0,03	1,22 <sup>A,a,Y</sup> ± 0,15	1,29 <sup>A,a,X</sup> ± 0,22	
0,043	2,67 <sup>A,a,X,Y*</sup> ± 0,16	2,72 <sup>A,a,X*</sup> ± 0,21	2,93 <sup>A,b,Y</sup> ± 0,12	2,73 <sup>A,a,X</sup> ± 0,27	3,06 <sup>A,a,Y</sup> ± 0,14	0,94 <sup>A,a,X*</sup> ± 0,11	1,13 <sup>A,C,a,X*</sup> ± 0,06	1,35 <sup>B,C,a,X</sup> ± 0,08	1,58 <sup>B,a,X</sup> ± 0,18	1,46 <sup>B,a,X</sup> ± 0,08	
0,072	2,55 <sup>A,a,X*</sup> ± 0,23	2,76 <sup>A,a,X*</sup> ± 0,19	2,75 <sup>A,b,X</sup> ± 0,05	3,00 <sup>B,a,Y</sup> ± 0,01	2,94 <sup>A,a,X</sup> ± 0,21	1,06 <sup>A,a,X*</sup> ± 0,13	1,31 <sup>A,B,a,X*</sup> ± 0,02	1,56 <sup>B,a,X</sup> ± 0,05	1,48 <sup>B,a,X</sup> ± 0,08	1,53 <sup>B,a,X</sup> ± 0,24	

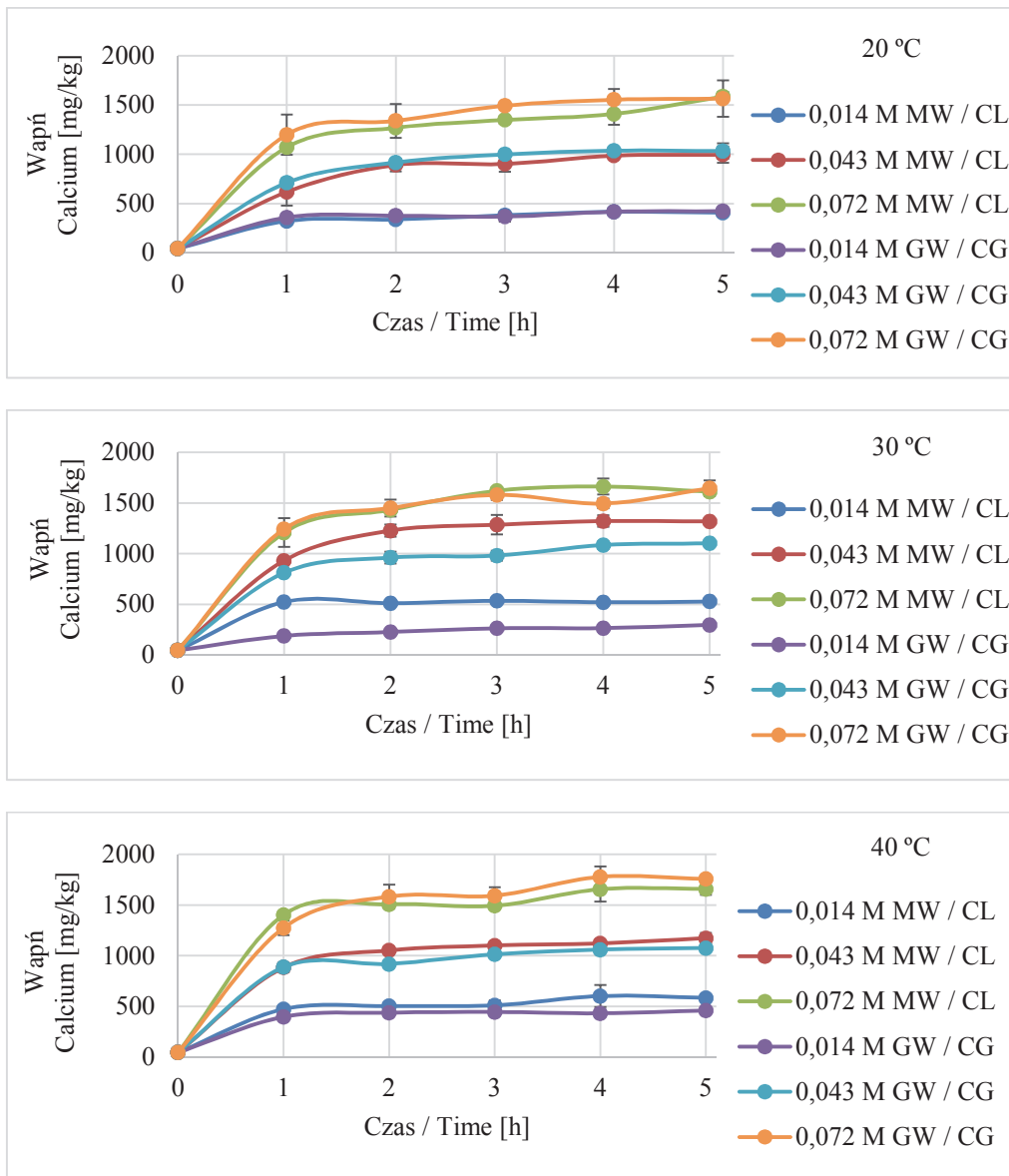
Objasnienia jak pod tab. 1. / Explanatory notes as in Tab. 1.

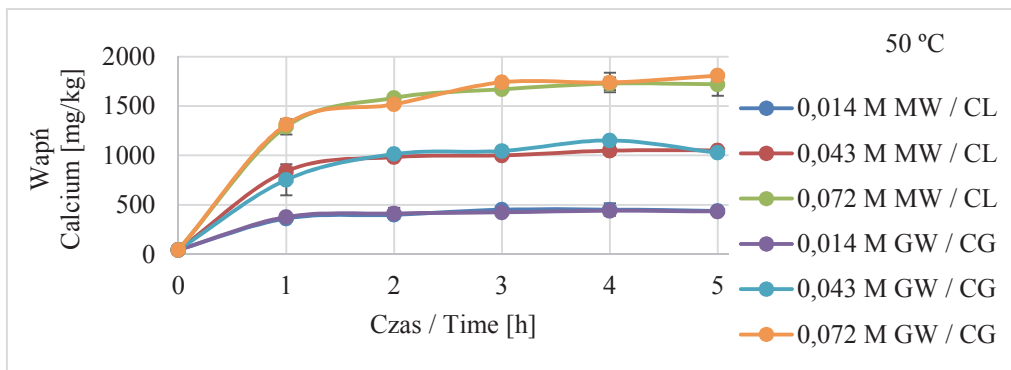
Obecność soli wapniowych w roztworze hipertonicznym może wpływać intensyfikująco, jak i hamująco na transfer masy z i do tkanki materiału odwadnianego. Gu-iamba i wsp. [11] zintensyfikowali utratę wody z owoców mango odwadnianych w roztworze sacharozy o stężeniu 45 °Bx po dodaniu chlorku wapnia (1 %) do roztworu hipertonicznego. Dodatek soli spowodował jednocześnie zmniejszenie ilości cukru transferowanego z roztworu do owoców. Efekt mniejszej migracji sacharozy do owoców mango w podobnych warunkach odwadniania stwierdzili również Torres i wsp. [26], co tłumaczy się mniejszą przepuszczalnością ścian komórkowych po wytworzeniu mostków wapniowych [11]. Zwiększenie ubytku wody i mniejsze ilości migrującej sacharozy obserwowali Mastrantonio i wsp. [18] w przypadku gujawy odwadnianej w roztworze maltozy o stężeniu 40 i 60 °Bx po dodaniu 0,6 ÷ 1,2 % mleczanu wapnia. Lewicki i wsp. [16] porównywali transport masy w pomidorach wstępnie traktowanych 2-procentowym roztworem  $\text{CaCl}_2$  przed odwadnianiem osmotycznym (61,5-procentowym roztworem sacharozy) oraz odwadnianych w obecności soli wapnia. Wykazali, że w pierwszym przypadku zarówno ubytek wody, jak i przyrost sacharozy w warzywach był większy (tworzenie mostków wapniowych na etapie namaczania w chlorku wapnia przed odwadnianiem osmotycznym ma tworzyć bardziej otwartą strukturę ułatwiającą późniejszą wymianę masy). Intensywniejszy ubytek wody i jednocześnie zwiększoną migrację sacharozy wykazali Ferrari i wsp. [9] podczas odwadniania melona w roztworze sacharozy o stężeniu 60 °Bx zawierającym 1 ÷ 1,5 % mleczanu wapnia. Z kolei w przypadku jabłek odwadnianych w roztworze sacharozy o stężeniu 55 °Bx dodatek 1 % mleczanu wapnia spowodował obniżenie tempa zarówno odwadniania, jak i migracji sacharozy [5].

Ze względu na wartość odżywczą w roztworze hipertonicznym istotna jest obecność wapnia, która wpływa na poziom tego pierwiastka w odwadnianym produkcie (rys. 3). W przypadku obydwu użytych soli poziom wapnia w odwadnianych gruszkach uzależniony był od stężenia soli wapnia w roztworze hipertonicznym, czasu odwadniania oraz temperatury. Przykładowo w temp. 20 °C po upływie 3 h uzyskano zawartość wapnia równą 381 mg/kg w przypadku stosowania 0,014 M mleczanu wapnia i 1348 mg/kg – w przypadku stosowania 0,072 M mleczanu wapnia. W przypadku temp. 50 °C wartości te wyniosły odpowiednio: 451 i 1669 mg/kg.

Nie zaobserwowano zależności między poziomem wapnia w produkcie odwodnionym a wielkością cząsteczki użytej soli (masa cząsteczkowa mleczanu wapnia – 218, glukonianu wapnia – 430). W przypadku obydwu związków poziomy te były zbliżone. Mniejsze wymiary mleczanu wapnia nie były zatem czynnikiem faworyzującym migrację tego związku do tkanki gruszki w porównaniu z większymi cząsteczkami glukonianu. Na przykład po 3 h odwadniania w obecności 0,014 M roztworu soli uzyskano zawartość wapnia w granicach 381 ÷ 534 mg/kg w przypadku stosowania soli kwasu mlekowego oraz 368 ÷ 443 mg/kg – w przypadku użycia glukonianu (war-

tości w różnych temperaturach). Po 3 h odwadniania w obecności 0,072 M roztworu soli zawartość wapnia wyniosła  $1348 \div 1669$  mg/kg (mleczan wapnia) oraz  $1492 \div 1740$  mg/kg (glukonian wapnia).





Rys. 3. Zmiany zawartości wapnia w mrożonych gruszkach odwadnianych osmotycznie w roztworach sacharozy o stężeniu 50 °Bx, zawierających mleczan (MW) lub glukonian (GW) wapnia o różnych stężeniach (0,012 ÷ 0,072 M). Temperatura procesu: 20 ÷ 50 °C, czas: 1 ÷ 5 h

Fig. 3. Changes in calcium content in frozen pears osmodehydrated in 50 °Bx sucrose solution containing calcium lactate (CL) or gluconate (CG) of different concentrations (0.012 ÷ 0.072 M). Process temperature: 20 ÷ 50 °C, time: 1 ÷ 5 h

Z uwagi na poziom wapnia w produkcie największe znaczenie miała pierwsza godzina odwadniania, chociaż w dalszym etapie także obserwowano wzrost zawartości tego pierwiastka. Największą zawartość wapnia (1808 mg/kg) stwierdzono po 5 h procesu prowadzonego w temp. 50 °C z użyciem 0,072 M glukonianu wapnia. W takich samych warunkach w obecności mleczanu wapnia zawartość wapnia wyniosła 1720 mg/kg. Po pierwszej godzinie procesu wartości te w przypadku obydwu soli wyniosły ok. 1300 mg/kg.

Literatura przedmiotu dostarcza informacji na temat wprowadzania wapnia do owoców, jednak innych niż mrożone gruszki. Silva i wsp. [25] odwadniali ananasy w 50-procentowym roztworze sacharozy o temp. 27 °C, z 4-procentowym dodatkiem mleczanu wapnia. Po 4 h uzyskali zawartość wapnia na poziomie ok. 750 mg/kg produktu. W badaniach przedstawionych w niniejszej pracy, w podobnych warunkach (30 °C, 50-procentowy roztwór sacharozy), wartość ta zawierała się między 519 mg/kg w przypadku 0,014 M mleczanu wapnia a 1321 mg/kg – gdy zastosowano 0,043 M roztwór. Mauro i wsp. [19] prowadzili doświadczenia z wykorzystaniem jabłek, stosując 40-procentowy roztwór sacharozy z dodatkiem 4 % mleczanu wapnia, w temperaturze pokojowej. Po pierwszej godzinie odwadniania uzyskali zawartość wapnia na poziomie 1107 mg/kg, natomiast po 4 h – 1634 mg/kg. W niniejszej pracy podczas odwadniania mrożonych gruszek przy zastosowaniu tego samego roztworu hipertonicznego o stężeniu 50 °Bx, zawierającego 0,072 M mleczanu wapnia, w tej samej temperaturze, otrzymano podobne wyniki (1 h – 1070 mg/kg, 4 h – 1585 mg/kg). Ferrari i wsp. [9] poddawali odwadnianiu owoce melona. Stosowali roztwór sacharozy

o stężeniu 40 lub 60 °Bx (30 °C, 2 h) i uzyskali największą zawartość wapnia (3831 mg/kg s.s.) po zastosowaniu 2 % mleczanu wapnia. Zbliżone do tych wyników zawartości wapnia w gruszkach otrzymano w badaniach własnych po zastosowaniu dwóch wyższych stężeń mleczanu wapnia, tj. 0,043 oraz 0,072 M roztworu. Skutkowało to zawartością wapnia odpowiednio: 3358 i 4124 mg/kg s.s. (obliczoną z wartości na rys. 3. po uwzględnieniu zawartości suchej substancji). Torres i wsp. [26] zastosowali roztwór sacharozy o stężeniu 45 °Bx z 2-procentowym dodatkiem mleczanu wapnia (30 °C, 421 min) i uzyskali zwiększenie zawartości tego pierwiastka do ok. 700 mg/kg. Podkreślić jednak trzeba stosunkowo długi czas procesu (7 h niezbędne do podwojenia zawartości suchej substancji w soku). W przypadku gruszek 0,014 M roztwór mleczanu wapnia już po godzinie zapewnił zbliżoną zawartość wapnia (522 mg/kg), a roztwór 0,043 M – wartość wyższą (930 mg/kg). Jedna godzina odwadniania w takich warunkach wystarcza do dwukrotnego wzrostu zawartości suchej substancji w mrożonych gruszkach. Jednym z najpopularniejszych owoców poddawanych odwadnianiu osmotycznemu są jabłka. Także ten owoc był wykorzystywany jako materiał wzbogacany w wapń. Barrera i wsp. [6] połączyli odwadnianie osmotyczne (55 °Bx, 30 °C, 3 h) z wcześniejszą podciśnieniową impregnacją w roztworze sacharozy (112,3 g/l, 10 min + 10 min wyrównywania ciśnienia) zawierającym mleczan wapnia (44,2 g/l). Po tej operacji jabłka zawierały wapń w ilości ok. 750 mg/kg. Sama podciśnieniowa impregnacja pozwoliła na uzyskanie stężenia rzędu 1200 mg/kg. Także Anino i wsp. [3] zastosowali podciśnieniową impregnację roztworem glukozy z solą wapniową (10,9 %, 5266 ppm, 10 min + 10 min wyrównywania ciśnienia) do wzbogacania jabłek w wapń. Jego zawartość w materiale odwodnionym wahała się w granicach 1150 ÷ 2050 mg/kg, zatem w ilościach porównywalnych z uzyskanymi w przypadku odwadniania mrożonych gruszek. Moraga i wsp. [20] zastosowali podciśnienie przez pierwsze 10 min osmotycznego odwadniania grejpfrutów w roztworze sacharozy o stężeniu 55 °Bx (30 °C, 180 min) z dodatkiem 0,2 % mleczanu wapnia. Stężenie wapnia w produkcie wzrosło do 561 mg/kg, zatem było na poziomie porównywalnym z wartościami uzyskiwanymi w gruszkach odwadnianych z dodatkiem najniższej dawki soli wapniowych (0,014 M). Zaznaczyć należy, że prowadzenie odwadniania osmotycznego bez dodatku wapnia w roztworze hipertonicznym powoduje jego znaczne ubytki w owocach. Dowiedli tego Peirò-Mena i wsp. [23], którzy odwadniali ananasy w 55-procentowym roztworze sacharozy (30 °C). Zawartość wapnia po dwugodzinnym odwadnianiu zmalała o ponad 80 %.

## Wnioski

1. Mrożone gruszki łatwo poddają się odwadnianiu osmotycznemu w roztworze sacharozy o stężeniu 50 °Bx, z dodatkiem 0,014 ÷ 0,072 M mleczanu lub glukonianu wapnia, w przedziale temperatur 20 ÷ 50 °C. Ponad dwukrotny wzrost zawartości

- suchej substancji uzyskano już po 1 h odwadniania. Z uwagi na zawartość suchej substancji nie jest celowe przedłużanie czasu odwadniania ponad 2 ÷ 3 h.
2. Najintensywniejsza migracja wody występowała w pierwszej godzinie procesu. Ubytek wody po tym czasie wahał się w przypadku mleczanu wapnia w granicach 2,36 ÷ 3,50 g H<sub>2</sub>O/g p.s.s., a w przypadku glukonianu wapnia – 1,95 ÷ 3,30 g H<sub>2</sub>O/g p.s.s.
  3. Nie obserwowano zależności ilości suchej substancji migrującej do owoców od temperatury procesu ani zastosowanej soli. Przyrost suchej masy po 3 h odwadniania w przedziale temperatur 20 ÷ 50 °C i w obecności mleczanu wapnia wynosił w granicach 1,01 ÷ 1,48 g s.s./g p.s.s., a w obecności glukonianu wapnia – 0,92 ÷ 1,56 g s.s./g p.s.s.
  4. W przypadku użycia obydwu związków największą zawartość wapnia w gruszkach, ok. 1700 ÷ 1800 mg/kg, uzyskano po 5 h procesu prowadzonego w temp. 50 °C z użyciem 0,072 M soli. Najintensywniejszy wzrost poziomu wapnia – do zawartości ok. 1300 mg/kg – występował w pierwszej godzinie odwadniania.

### Literatura

- [1] Ahmed I., Quazi I.M., Jamal S.: Developments in osmotic dehydration technique for the preservation of fruits and vegetables. *Innov. Food Sci. Emerg. Technol.*, 2016, 34, 29-43.
- [2] Ahn J.Y., Kil D.Y., Kong C., Kim B.G.: Comparison of oven-drying methods for determination of moisture content in feed ingredients. *Asian-Australas J. Anim. Sci.*, 2014, 27, 1615-1622.
- [3] Anino S.V., Salvatori D.M., Alzamora S.M.: Changes in calcium level and mechanical properties of apple tissue due to impregnation with calcium salts. *Food Res. Int.*, 2006, 39, 154-164.
- [4] De Assumpção D., Dias M.R., de Azevedo Barros M.B., Fisberg R.M., de Azevedo Barros Filho A.: Calcium intake by adolescents: A population-based health survey. *J. Pediatr. (Rio J.)*, 2016, 92, 251-259.
- [5] Barrera C., Betoret N., Corell P., Fito P.: Effect of osmotic dehydration on the stability of calcium-fortified apple slices (var. Granny Smith): Influence of operating variables on process kinetics and compositional changes. *J. Food Eng.*, 2009, 92, 416-424.
- [6] Barrera C., Betoret N., Fito P.: Ca<sup>2+</sup> and Fe<sup>2+</sup> influence on the osmotic dehydration kinetics of apple slices (var. Granny Smith). *J. Food Eng.*, 2004, 65, 9-14.
- [7] Chardonnet C.O., Charron C.S., Sams C.E., Conway W.S.: Chemical changes in the cortical tissue and cell walls of calcium-infiltrated 'Golden Delicious' apples during storage. *Postharvest Biol. Tec.*, 2003, 28, 97-111.
- [8] Ciborowska H., Rudnicka A.: *Dietetyka żywienie zdrowego i chorego człowieka*, Wyd. Lekarskie PZWL, Warszawa 2007.
- [9] Ferrari C.C., Carmello-Guerreiro S.M., Bolini H.M.A., Hubinger M.D.: Structural changes, mechanical properties and sensory preference of osmodehydrated melon pieces with sucrose and calcium lactate solutions. *Int. J. Food Prop.*, 2010, 13, 112-130.
- [10] García-Martínez E., Martínez-Monzó J., Camacho M.M., Martínez-Navarrete N.: Characterization of reused osmotic solution as ingredient in new product formulation. *Food Res. Int.*, 2002, 35, 307-313.
- [11] Guiamba I., Ahrne L., Khan M.A.M., Svanberg U.: Retention of β-carotene and vitamin C in dried mango osmotically pretreated with osmotic solution containing calcium or ascorbic acid. *Food Bioprod. Process.*, 2016, 98, 320-326.



- [12] Hofmeyr G.J., Seuc A.H., Betrán A.P., Purnat T.D., Ciganda A., Munjanja S.P., Manyame S., Singata M., Fawcus S., Frank K., Hall D.R., Cormick G., Roberts J.M., Bergel E.F., Drebit S.K., von Dadelszen P., Belizan J.M.: The effect of calcium supplementation on blood pressure in non-pregnant women with previous pre-eclampsia: An exploratory, randomized placebo controlled study. *Pregnancy Hypertens Int. J. Women's Cardiovascular Health*, 2015, 5, 273-279.
- [13] Jang Y.-S., Sim J.J., Ji E., Jeong K.-Y., Kim H.M.: Investigation of lactate calcium salt-induced  $\beta$ -catenin destabilization in colorectal cancer cells. *Life Sci.*, 2015, 139, 160-165.
- [14] Kowalska H., Lenart A., Leszczyk D.: The effect of blanching and freezing on osmotic dehydration of pumpkin. *J. Food Eng.*, 2008, 86, 30-38.
- [15] Kucner A., Klewicki R., Sójka M., Klewicka E.: Osmotic concentration of gooseberry fruit. *Food Technol. Biotechnol.*, 2014, 52 (4), 411-419.
- [16] Lewicki P.P., Le H.V., Pomarańska-Lazuka W.: Effect of pre-treatment on convective drying of tomatoes. *J. Food Eng.*, 2002, 54, 141-146.
- [17] Martín-Diana A.B., Ricoa D., Frías J.M., Barab J.M., Henehana G.T.M., Barry-Ryana C.: Calcium for extending the shelf life of fresh whole and minimally processed fruits and vegetables: A review. *Trends Food Sci. Technol.*, 2007, 18, 210-218.
- [18] Mastrantonio S.D.S., Pereira L.M., Hubinger M.D.: Osmotic dehydration kinetics of guavas in maltose solutions with calcium salt. *Aliment. Nutr.*, 2005, 16, 309-314.
- [19] Mauro M.A., Dellarosa N., Tylewicz U., Tappi S., Laghi L., Rocculi P., Dalla Rosa M.: Calcium and ascorbic acid affect cellular structure and water mobility in apple tissue during osmotic dehydration in sucrose solution. *Food Chem.*, 2016, 195, 19-28.
- [20] Moraga M.J., Moraga G., Fito P.J., Martínez-Navarrete N.: Effect of vacuum impregnation with calcium lactate on the osmotic dehydration kinetics and quality of osmodehydrated grapefruit. *J. Food Eng.*, 2009, 90, 372-379.
- [21] Moreno J., Gonzales M., Zúñiga P., Petzold G., Mella K., Muñoz O.: Ohmic heating and pulsed vacuum effect on dehydration processes and polyphenol component retention of osmodehydrated blueberries (cv. Tifblue). *Innov. Food Sci. Emerg. Technol.*, 2016, 36, 112-119.
- [22] Nambiar S.S., Basu A., Shetty N.P., Rastogi N.K., Prapulla S.G.: Infusion of fructooligosaccharide in Indian gooseberry (*Emblica officinalis*) fruit using osmotic treatment and its effect on the antioxidant activity of the fruit. *J. Food Eng.*, 2016, 190, 139-146.
- [23] Peiró-Mena R., Cammacho M.M., Martínez-Navarrete N.: Compositional and physicochemical changes associated to successive osmodehydration cycles of pineapple (*Ananas comosus*). *J. Food Eng.*, 2007, 79, 842-849.
- [24] Silva K.S., Fernandes M.A., Mauro M.A.: Effect of calcium on the osmotic kinetics and quality of pineapple. *J. Food Eng.*, 2014, 134, 37-44.
- [25] Silva K.S., Fernandes M.A., Mauro M.A.: Osmotic dehydration of pineapple with impregnation of sucrose, calcium and ascorbic acid. *Food Bioprocess. Technol.*, 2014, 7, 385-397.
- [26] Torres J.D., Talens P., Escriche I., Chiralt A.: Influence of process conditions on mechanical properties of osmotically dehydrated mango. *J. Food Eng.*, 2006, 74, 240-246.
- [27] Van Buggenhout S., Grauwet T., van Loey A., Hendrickx M.: Use of pectinmethylesterase and calcium in osmotic dehydration and osmodehydrofreezing of strawberries. *Eur. Food Res. Technol.*, 2008, 226, 1145-1154.
- [28] Wojtczak M.: Content and composition of insoluble matter in white sugar. *Zuckerind*, 2006, 131, 567-571.

**OSMOTIC DEHYDRATION OF FROZEN PEARS IN SACCHAROSE SOLUTIONS WITH SELECTED CALCIUM SALTS ADDED**

## S u m m a r y

Osmotic dehydration can be utilized, among other things, as a technique to supplement fruits and vegetables with calcium, which beneficially affects their quality and nutritional value. The objective of the research study was to determine the effect of the selected process parameters (temperature, time, and calcium salts concentration) on the course of osmotic dehydration of frozen pears and the calcium level in the dehydrated material. In the experiments, 50 °Bx saccharose solutions were used containing 0.014-0.072 M calcium lactate or gluconate; the temperature of the solutions ranged between 20 and 50 °C. It was proved that the frozen pears were easy to dehydrate under the tested conditions. In all the variants used, the dry matter content increased more than twice in just one hour after dehydration. After 2-3 hours, the increase in the dry matter content was insignificant. No dependence was found between the amount of solids migrating into the fruits from the syrup and the process temperature nor between it and the kind of salt used. In the presence of calcium lactate, the value of the gain in solids ranged between 1.01 ÷ 1.48 g d.m./g i.d.m., and in the presence of calcium gluconate between 0.92 ÷ 1.56 g d.m./g i.d.m. After the first hour of dehydration at a temperature of 20, 30, 40, and 50 °C, as for the calcium lactate, the mean water loss amounted to: 2.43; 2.70; 2.70 and 2.84 g H<sub>2</sub>O/g i.d.m, respectively; in the case of calcium gluconate, it was: 2.27; 2.74; 2.78 and 2.50 g H<sub>2</sub>O/g i.d.m. During the same time, the highest increase occurred in the calcium level in the fruits although it was also reported at the subsequent stages. The highest level of calcium was recorded after 5 hours of the process carried out at 50 °C with the use of 0.072 M calcium gluconate: the amount of calcium was 1808 mg/kg. Under the same conditions, in the presence of calcium lactate, the content of calcium increased to 1720 mg/kg. After one-hour dehydration, for the two salts, the calcium level was approx. 1300 mg/kg.

**Key words:** frozen pears, osmotic dehydration, calcium, water loss, gain in solids ☒