

Mgr inż. Kinga CZAJKOWSKA

Dr hab. inż. Hanna KOWALSKA

Mgr inż. Joanna CICHOWSKA

Mgr Mariusz WOJNOWSKI

Katedra Inżynierii Żywności i Organizacji Produkcji, Wydział Nauk o Żywności  
Szkoła Główna Gospodarstwa Wiejskiego w Warszawie

## ODWADNIANIE OSMOTYCZNE JABŁEK W KONCENTRACIE SOKU Z ARONII®

### Osmotic dehydration of apple in chokeberry juice concentrate®

*Badania były: Wspierane finansowo przez SUSFOOD ERA-NET/NCBiR (Narodowe Centrum Badań i Rozwoju); Projekt 5/SH/SUSFOOD1/2014. Okres realizacji: 2014-2016, Polska*

*Współfinansowane z dotacji MNISW na działalność statutową Wydziału Nauk o Żywności Szkoły Głównej Gospodarstwa Wiejskiego w Warszawie*

**Słowa kluczowe:** odwadnianie osmotyczne, jabłka, koncentrat soku z aronii, wymiana masy.

*Celem pracy przedstawionej w artykule była ocena wpływu zastosowania koncentratu soku z aronii na wymianę masy podczas odwadniania osmotycznego tkanki jabłek poprzez analizę ubytków wody i przyrostu masy suchej substancji. W celu określenia przydatności koncentratu soku z aronii jako substancji osmotycznej równoległe prowadzono badania z zastosowaniem roztworu sacharozu. Odwadnianie osmotyczne prowadzono w roztworach wodnych o stężeniu 60% i temperaturze 30, 45 i 60°C przez 360 min. Odwadnianie osmotyczne tkanki jabłek w roztworze koncentratu soku z aronii polegało głównie na obniżaniu zawartości wody. Efekt odwadniania zwiększał się wraz z podwyższaniem temperatury. Zastosowanie roztworu koncentratu soku z aronii w temperaturze 60°C przez 240 i 360 min spowodowało uzyskanie największego przyrostu masy suchej substancji. Najwyższą zawartością polifenoli ogółem charakteryzowały się jabłka odwadnianie w temperaturze 45°C przez 240 minut.*

**Key words:** osmotic dehydration, apple, chokeberry juice concentrate, mass transfer.

*The aim of this work was to evaluate the effect of chokeberry juice concentrate on mass transfer during osmotic dehydration of apple tissue. The impact of the dehydration temperature and time on changes in water loss and solids gain was examined. In order to determine the suitability of the chokeberry juice concentrate as osmotic agent during osmotic dehydration, apple was dehydrated in sucrose solution in parallel to the main analysis. Osmotic dehydration was performed in 60% chokeberry juice concentrate at temperatures: 30, 45 and 60°C for 360 min. Using chokeberry juice concentrate in the process of osmotic dehydration resulted in a higher level of water loss as compared to solids gain. The level of water loss was higher at higher temperatures. The greatest solids gain was observed in osmotically dehydrated apples at 60°C for 240 and 360 min. The highest polyphenols content was found for osmotically dehydrated apple in chokeberry juice at 45°C for 240 min.*

### WSTĘP

Intensywna urbanizacja i zmiana trybu życia powoduje wzrost liczby czynników wpływających na zdrowie człowieka. Większość chorób cywilizacyjnych związana jest ze zmianą sposobu odżywiania. Cukrzyca, nowotwory, nadciśnienie, choroby serca i układu pokarmowego oraz miażdżycy to główne przyczyny zgonów. Prawdopodobieństwo wystąpienia chorób wzrasta wraz z niedoborem określonych substancji w diecie [16].

Wzrost świadomości żywieniowej konsumentów przyczynił się do powstania rynku żywności funkcjonalnej. Znalazienie nowych rozwiązań technologicznych, w efekcie których produkt będzie nie tylko wartościowy żywieniowo, ale będzie charakteryzował się także odpowiednimi walorami sensorycznymi, jest zadaniem trudnym. Jednym ze sposobów, dzięki któremu można projektować i modyfikować skład surowców i tym samym produktów końcowych, jest odwadnianie osmotyczne. Proces ten stosowany jest również jako obróbka wstępna przed procesem suszenia.

**Adres do korespondencji – Corresponding author:** Kinga Czajkowska, Szkoła Główna Gospodarstwa Wiejskiego w Warszawie, Wydział Nauk o Żywności, Katedra Inżynierii Żywności i Organizacji Produkcji, ul. Nowoursynowska 159 C, 02-776 Warszawa, e-mail: kinga\_czajkowska@sggw.pl

Polega na częściowym usunięciu wody z tkanki roślinnej w postaci niezwiązanej i wnikanii strumienia substancji osmotycznej, inicjującej transfer masy, z roztworu do odwadnianej tkanki. W czasie procesu odwadniania może dochodzić do ubytku substancji niskocząsteczkowych, tj. witamin, cukrów, soli mineralnych, kwasów, które przenikają z wnętrza odwadnianej tkanki roślinnej do otaczającego roztworu [2, 4, 9, 21]. Proces odwadniania osmotycznego i zmiany składu chemicznego surowca zależą od wielu czynników, m.in. od rodzaju i stężenia substancji osmotycznej, temperatury i czasu odwadniania, stopnia rozdrobnienia surowca, właściwości tkanki roślinnej, stosunku masy odwadnianego surowca do masy roztworu osmotycznego [1, 10].

Do odwadniania osmotycznego najczęściej wykorzystuje się roztwory: cukrów (sacharoza, glukoza, fruktoza, laktoza), soli (głównie chlorek sodu) oraz zagęszczone soki owocowe (jabłkowy, bananowy) [12]. Szybkość procesu odwadniania osmotycznego zależy od masy cząsteczkowej użytej substancji osmotycznej. Przy tych samych stężeniach cukry o mniejszej masie cząsteczkowej wywołują wyższe ciśnienie osmotyczne, a tym samym początkowa szybkość usuwania wody jest większa niż przy substancjach o wyższych masach cząsteczkowych. Jednocześnie w przypadku substancji niskocząsteczkowych obserwuje się ich większe wnikanie do wnętrza materiału [15].

Zastosowanie koncentratu soku z aronii do procesu odwadniania osmotycznego może znaleźć zastosowanie w technologii żywności, nie tylko jako substancja osmoaktywna, ale również jako nośnik związków biologicznie aktywnych. Badania mające na celu dobór optymalnych warunków obróbki osmotycznej w roztworze koncentratu soku z aronii umożliwiają określenie nowych kierunków wykorzystania owoców w przemyśle spożywczym. Ze względu na wysokie koszty zakupu koncentratu z aronii, technologia odwadniania osmotycznego, wydaje się być ekonomicznie nieopłacalną. Jednakże prozdrowotne składniki zawarte w produktach mogą wpłynąć na wzrost zainteresowania tym produktem, niezależnie od jego ceny.

**Celem artykułu jest przedstawienie wyników badań dotyczących wpływu koncentratu soku z aronii na wymianę masy w odwadnianych osmotycznie jabłkach poprzez analizę zmiany ubytków wody, przyrostu masy suchej substancji, zmiany parametrów barwy oraz zawartości polifenoli.**

## MATERIAŁY I METODY

Do badań użyto jabłek odmiany Idared, które pozyskano z Pola Doświadczalnego SGGW. Surowiec przechowywano w atmosferze kontrolowanej, a następnie w warunkach chłodniczych w temperaturze 4-5°C przy wilgotności względnej powietrza 80-90% bez dostępu światła. Przed każdym procesem jabłka myto, obierano i krojono na kształt walców o średnicy 15 mm i wysokości 20 mm.

Tkankę jabłek odwadniano osmotycznie w roztworze koncentratu soku z aronii oraz sacharozy o stężeniu 60% i temperaturze: 30, 45 i 60°C. Proces odwadniania realizowano przez 0, 30, 60, 120, 240 i 360 min. Stosunek masy surowca do masy roztworu osmotycznego wynosił 1:4. W czasie odwadniania osmotycznego utrzymywano stałą

temperaturę oraz ciągle mieszanie z częstotliwością 2 Hz. Następnie odwodnione osmotycznie próbki przenoszono na sito, oddzielając od roztworu osmotycznego, przepłukiwano trzykrotnie zanurzając w zimnej wodzie i osuszano na bibule filtracyjnej.

### Oznaczenie wskaźników wymiany masy

W celu analizy wskaźników wymiany masy podczas odwadniania osmotycznego oznaczono następujące wielkości technologiczne:

- ubytek masy  $dM$  [%]:

$$dM = \frac{m_o - m_\tau}{m_o} \cdot 100\% \quad (1)$$

- zawartość suchej substancji –  $ss$  [ułamek] oznaczono metodą suszenia według PN-ISO 1026:2000 w dwóch równoległych powtórzeniach:

$$ss = \frac{m_s}{m_p} \quad (2)$$

gdzie:  $m_p$  – masa próbki przed suszeniem [g];

$m_s$  – masa próbki po suszeniu [g];

- ubytek wody w gramach wody na początkową masę suchej substancji –  $WL$  [g H<sub>2</sub>O/g p. s.s.]:

$$WL = \frac{m_o \cdot (1 - ss_o) - m_\tau \cdot (1 - ss_\tau)}{m_o \cdot ss_o} \quad (3)$$

gdzie:  $m_o$  – początkowa masa próbki [g];

$ss_o$  – początkowa zawartość suchej substancji [ułamek];

$m_\tau$  – masa próbki po odwadnianiu [g];

$ss_\tau$  – zawartość suchej substancji jabłek po odwadnianiu osmotycznym [ułamek];

- przyrost suchej substancji w gramach na początkową masę suchej substancji –  $SG$  [g/g p.s.s.]:

$$SG = \frac{m_\tau \cdot ss_\tau - m_o \cdot ss_o}{m_o \cdot ss_o} \quad (4)$$

gdzie:  $m_o$  – początkowa masa próbki [g];

$ss_o$  – początkowa zawartość suchej substancji [ułamek];

$m_\tau$  – masa próbki po odwadnianiu [g];

$ss_\tau$  – zawartość suchej substancji jabłek po odwadnianiu osmotycznym [ułamek].

### Oznaczenie parametrów barwy

Barwę surowca oraz suszu oznaczono w systemie CIE L\*a\*b\* za pomocą Chroma-Meter serii CR-300 firmy Minolta.

### Oznaczenie zawartości polifenoli ogółem

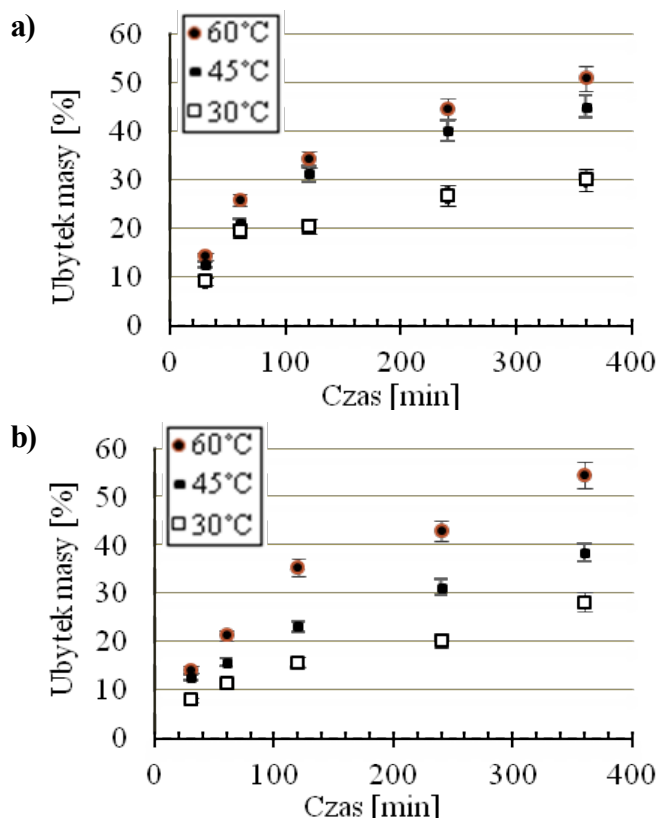
Zawartość polifenoli ogółem oznaczano w tkance świeżych jabłek oraz odwadnianych przez 120 i 240 min., zgodnie z metodą Folina-Ciocalteusa, wykorzystując jako

wzorec kwas galusowy [19]. Pomiaru absorbancji roztworu dokonano w spektrofotometrze Hełios ThermoSpectronic  $\gamma$ , przy długości fali 750 nm. Oznaczenie przeprowadzono w czterech powtórzeniach.

**Analiza statystyczna**

Wyniki opracowano statystycznie wykorzystując wieloczynnikową analizę wariancji ANOVA przy wykorzystaniu oprogramowania Statistica ver. 12. Jednorodność wariancji została sprawdzona testem Levene'a. W celu wyznaczenia grup jednorodnych zastosowano test NIR. Wnioskowanie statystyczne przeprowadzono na poziomie istotności  $\alpha = 0,05$ .

**WYNIKI I DYSKUSJA**



**Rys. 1. Ubytek masy podczas odwadniania osmotycznego jabłek w roztworze: a) koncentratu soku z aronii i b) sacharozy w temperaturze 30, 45 i 60°C.**

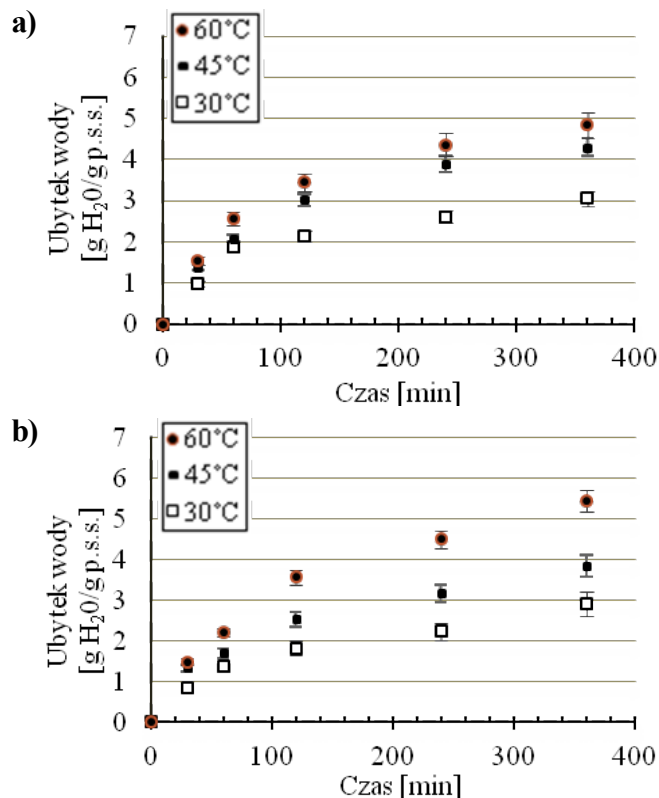
**Fig. 1. Mass loss during osmotic dehydration of apple in: a) chokeberry juice concentrate and b) sucrose solution at 30, 45 and 60°C.**

**Źródło:** Opracowanie własne

**Source:** Own study

W czasie odwadniania osmotycznego jabłek w roztworze koncentratu soku z aronii oraz sacharozy o stężeniu 60°Brix wraz z podwyższaniem temperatury od 30 do 60°C i z wydłużaniem czasu od 0 do 360 min w badanych owocach następowało zwiększanie ubytku masy (rysunek 1). Wieloczynnikowa analiza wariancji wykazała istotny wpływ rodzaju roztworu osmotycznego, temperatury i czasu odwadniania na zmiany badanego wskaźnika. Znaczące zmiany ubytku masy z jabłek nastąpiły już po 60 min procesu. W jabłkach odwadnianych w koncentracie soku z aronii przez 60 min w temperaturze 60°C sięgał on 50%

całkowitej wartości ubytku masy, jaką uzyskano po 360 min, zaś po 120 min procesu wskaźnik ten zwiększył się w mniejszym stopniu tj. o kolejne 20%. W porównaniu do roztworu sacharozy, zastosowanie roztworu koncentratu soku z aronii spowodowało uzyskanie nieznacznie wyższych wartości ubytków masy.



**Rys. 2. Ubytek wody z jabłek podczas odwadniania osmotycznego w roztworze: a) koncentratu soku z aronii i b) sacharozy w temperaturze 30, 45 i 60°C.**

**Fig. 2. Water loss from apple during osmotic dehydration in: a) chokeberry juice concentrate and b) sucrose solution at 30, 45 and 60°C.**

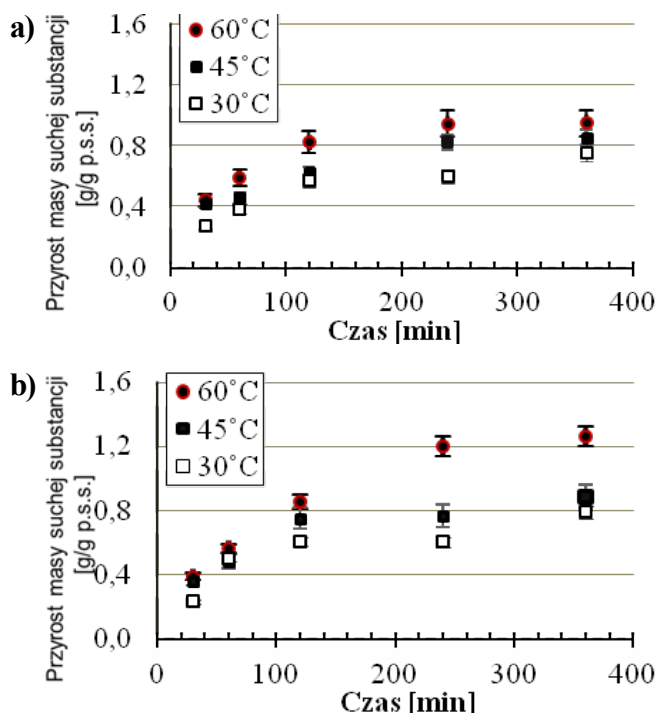
**Źródło:** Opracowanie własne

**Source:** Own study

W czasie odwadniania osmotycznego jabłek w roztworze sacharozy i koncentratu soku z aronii o stężeniu 60°Brix wraz z podwyższaniem temperatury od 30 do 60°C i z wydłużaniem czasu od 0 do 360 min w badanych owocach następowało zwiększanie ubytku wody (rysunek 2). Wieloczynnikowa analiza wariancji wykazała istotny wpływ temperatury i czasu procesu odwadniania na zmiany ubytków wody, zaś rodzaj zastosowanego roztworu był nieistotny. Najwyższą wartość ubytku wody (około 5,4 g H<sub>2</sub>O/g p.s.s.) odnotowano w jabłkach odwadnianych w roztworze sacharozy przez 360 min w temperaturze 60°C (rysunek 2). Zastosowanie temperatury podwyższonej do 60°C powodowało dwu-trzykrotnie większy ubytek wody w porównaniu z odwadnianiem jabłek w temperaturze 30°C. W przypadku zastosowania roztworu koncentratu soku z aronii w zakresie podwyższania temperatury od 45 do 60°C obserwowano mniejsze różnice ubytku wody niż w zakresie 30 do 45°C. W pierwszym przypadku wzrost temperatury spowodował zwiększenie ubytku wody w jabłkach o 13-28%, a w drugim o 5-44%. Ubytek wody w jabłkach

odwadnianych przez 60 min w stosunku do wartości tego wskaźnika po 360 min odwadniania w temperaturze 30, 45 i 60°C wynosił odpowiednio około 61, 48 i 52% dla roztworu koncentratu soku z aronii oraz 47, 44 i 40% dla roztworu sacharozy. Po 120 min ubytek wody jabłek zwiększył się do 70, 71 i 72% w przypadku zastosowania koncentratu soku z aronii oraz do 66, 64 i 67% w przypadku roztworu sacharozy.

Zmiany przyrostu masy suchej substancji były dość zróżnicowane i kształtowały się inaczej niż ubytek wody (rysunek 2 i 3). W przeprowadzonych badaniach wykazano brak wpływu rodzaju zastosowanego roztworu oraz istotny wpływ temperatury i czasu na przyrost masy suchej substancji w próbkach jabłek. Wskaźnik ten w przypadku jabłek odwadnianych przez 60 min w stosunku do wartości tego wskaźnika po 360 min odwadniania w temperaturze 30, 45 i 60°C był większy odpowiednio o około 38, 53 i 58% w przypadku zastosowania roztworu koncentratu soku z aronii oraz 35, 39 i 43% wobec roztworu sacharozy. Po 120 min procesu przyrost suchej substancji do jabłek zwiększył się o 73, 71 i 89% w przypadku zastosowania koncentratu soku z aronii oraz o 81, 83 i 69% w przypadku roztworu sacharozy. Po dłuższym czasie odwadniania osmotycznego jabłek (120, 240 i 360 min) zaobserwowano, że podwyższenie temperatury powodowało zwiększenie przyrostu masy suchej substancji do jabłek, ale w mniejszym stopniu niż w początkowej fazie odwadniania do 120 min.



**Rys. 3.** Przyrost masy suchej substancji podczas odwadniania osmotycznego jabłek w roztworze a) koncentratu soku z aronii i b) sacharozy w temperaturze 30, 45 i 60°C.

**Fig. 3.** Solid gain during osmotic dehydration of apple in a) chokeberry juice concentrate and b) sucrose solution at 30, 45 and 60°C.

**Źródło:** Opracowanie własne

**Source:** Own study

W porównaniu z osmotycznym odwadnianiem jabłek w roztworze sacharozy prowadzonym w temperaturze 60°C, przy zastosowaniu temperatury 30°C, po dłuższym czasie odwadniania (240, 360 min), zaobserwowano wyraźnie większy przyrost masy suchej substancji (1,2-1,3 g/g p.s.s.) przy ubytku wody na poziomie 4,5-5,4 g H<sub>2</sub>O/g p.s.s. W pozostałych warunkach odwadniania jabłek w roztworze sacharozy przyrost masy suchej substancji mieścił się w zakresie od około 0,3 do około 0,9 g/g p.s.s.

Jednocześnie zaobserwowano, że przy zastosowaniu temperatury 60°C ubytek wody z jabłek był około pięć razy większy niż przyrost masy suchej substancji, co skutkowało spadkiem masy próbek po procesie odwadniania. Znaczącą intensywność odwadniania osmotycznego jabłek zaobserwowano na początku procesu (do 120 min), szczególnie w przypadku zastosowania koncentratu soku z aronii, który w swoim składzie zawiera cukry o niższej masie cząsteczkowej. Zwykle na początku procesu następuje dyfuzja wody z powierzchniowych warstw komórek i wnikanie substancji osmotycznej do wnętrza porowatej tkanki owoców. W większości stosowanych substancji osmotycznych w początkowych minutach procesu odwadniania jabłek obserwowano dość gwałtowne zwiększanie tego wskaźnika sięgające około 70% maksymalnej wartości przyrostu masy suchej substancji (po całkowitym czasie odwadniania wynoszącym 180 min) [6].

Lenart [8] w swoich badaniach wykazał, że strumień usuwanej wody był znacznie większy niż strumień wnikającej substancji osmotycznej do tkanki roślinnej. Stwierdzono, że po upływie około 180 min odwadniania przyrost masy suchej substancji ulegał stabilizacji i wzrastał tylko nieznacznie. Z kolei inni badacze [13] wykazali, że podczas pierwszych 120 min odwadniania osmotycznego występują największe zmiany zawartości wody w tkance roślinnej. Podobne wyniki uzyskała Kowalska i Gierada [6] odwadniając osmotycznie tkankę jabłek w roztworze syropu skrobiowego i sacharozy.

Marani i in. [11] wykazali, że zastosowanie cukrów o różnych masach cząsteczkowych wpływa na proces odwadniania osmotycznego kiwi, truskawek i brzoskwiń. Zastosowanie sacharozy i cukrów o dużej masie cząsteczkowej umożliwiło uzyskanie przez badaczy dużego stopnia odwodnienia przy niewielkim wnikaniu substancji osmotycznej. Stosując koncentrat soku z aronii do odwadniania osmotycznego owoców można uzyskać produkt lub półprodukt (do dalszego przetwarzania) o znaczącym ubytku wody przy określonym wnikaniu substancji osmotycznej.

### Barwa

Jasność barwy  $L^*$  jabłek świeżych mieściła się w zakresie 70,7±3,35, wartość  $a^*$  w zakresie: -2,41±0,80 oraz  $b$  w zakresie: 16,27±1,96. Próbkę jabłek charakteryzowała niestabilność parametru  $L^*$  obrazującego pociemnienie owoców wywołane odwadnianiem osmotycznym (tab. 1). Wieloczynnikowa analiza wariacji wykazała istotny wpływ rodzaju roztworu na jasność barwy odwadnianych owoców. Najbardziej ciemniały jabłka odwadniane w koncentracie soku z aronii w wyniku obecności w roztworze osmotycznym barwników – antocyjanów [16]. Wartość parametru  $L^*$  była ponad trzykrotnie niższa od jasności barwy jabłek

odwadnianych w roztworze sacharozy. Nie wykazano wpływu czasu i temperatury na zmiany parametru  $L^*$  w próbkach odwadnianych w koncentracie soku z aronii, zaś wpływ czasu i temperatury, w przypadku użycia roztworu sacharozy, był istotny. W przypadku zastosowania roztworu sacharozy najbardziej pociemniały próbki jabłek odwadniane w temperaturze 60°C przez 360 min. W przypadku zastosowania roztworu sacharozy, zmiany barwy wywołane były przemianami barwników, w wyniku reakcji enzymatycznego brunatnienia, w szczególności polifenolooksydaz obecnych w owocach, istotnych zwłaszcza w owocach rozdrobnionych [17].

Wahania wielkości nasycenia barwy  $C_{ab}^*$  statystycznie istotnie zależały od wszystkich analizowanych zmiennych procesowych (rodzaju roztworu osmotycznego, temperatury i czasu odwadniania) (tab. 1). W porównaniu do roztworu koncentratu soku z aronii, wartości tego wskaźnika w przypadku zastosowania roztworu sacharozy były wyższe. Wzrost temperatury od 30 do 45°C wpłynął na wartość nasycenia barwy, zaś wzrost temperatury z 45 do 60°C nie powodował zmian wartości analizowanego parametru. Ponadto zastosowanie krótszego czasu prowadzenia procesu wpłynęło na większe nasycenie barwy.

Antocyjany są związkami nietrwałymi i w środowisku wodnym, w zależności od pH, ulegają przemianom powodującym zmiany barwy produktów. W środowisku kwaśnym (pH < 3) mają barwę czerwoną, w środowisku obojętnym (pH = 7) – fioletową, a w środowisku zasadowym (pH > 11) ich barwa staje się niebieska [16, 17]. Ogrzewanie produktów owocowych w czasie zagęszczania lub termicznego utrwalania przyspiesza procesy oksydatywnej polimeryzacji antocyjanów i powoduje zmiany barwy surowca. Jednak

krótkie ogrzewanie, np. kilkanaście minut w temperaturze 100°C, nie wpływa na zmiany barwy [16, 18].

Niezależnie od zastosowanego roztworu odwadnianie osmotyczne owoców wpłynęło na zauważalną zmianę barwy jabłek (parametru  $\Delta E$ ) w porównaniu do surowca. Jednakże analiza wieloczynnikowa nie wykazała wpływu temperatury i czasu na zmiany wartości tego parametru.

Według Pastuszaka [14] bezwzględna różnica barw  $\Delta E$  rzędu 2,0 – 3,5 jest różnicą niewielką, a wartość  $\Delta E > 5$  wskazuje na bardzo dużą różnicę barw w porównaniu do surowca i jest wyraźnie zauważalna przez ludzkie oko. Obecność antocyjanów, zawartych w koncentracie, istotnie wpłynęła na całkowitą różnicę barwy próbek jabłek (wartości rzędu 52-58). Uzyskanie tak znaczących zmian barwy owoców świadczy o wnikięciu bioskładników z koncentratu soku aroniowego do odwadnianych jabłek.

Intensywność zmiany barwy owoców odwadnianych w roztworach bezbarwnych (np. sacharozy) zależy od temperatury i czasu trwania procesu. Zwiększenie tych parametrów wpływa na intensyfikację wymiany masy w jabłkach, głównie w kierunku obniżenia zawartości wody, a także; ciemnienie powierzchni próbek spowodowane reakcjami nieenzymatycznego brunatnienia (reakcje Maillarda) i reakcjami enzymatycznymi. Jednakże zastosowanie sacharozy do odwadniania osmotycznego jako obróbki wstępnej wpływa na ograniczenie zmian i poprawę barwy suszonych owoców. Potwierdzają to badania przeprowadzone przez Falade i in. [3]. Badacze wykazali, że intensywność zmian barwy tkanki arbuza poddanej obróbce osmotyczno-konwekcyjnej była mniejsza w przypadku zastosowania wyższego stężenia roztworu osmotycznego.

**Tabela 1. Zmiany parametrów barwy: jasność  $L^*$ , nasycenie  $C_{ab}^*$ , bezwzględna różnica barw  $\Delta E$  jabłek odwadnianych osmotycznie**

**Table 1. Colour coefficients: lightness coefficient  $L^*$ , chroma  $C^*_{ab}$ , relative colour difference index  $\Delta E$  of osmotically dehydrated apple**

Substancja osmotyczna	Temperatura [°C]	Czas odwadniania [min]	$L^*$	$C_{ab}^*$	$\Delta E$
sacharoza	30	30	69,26±2,21 <sup>(b)</sup>	22,93±3,10 <sup>(a,b,d)</sup>	7,92±3,25 <sup>(c,d)</sup>
		360	73,75±2,65 <sup>(b,c)</sup>	25,33±1,69 <sup>(b,d)</sup>	11,04±1,71 <sup>(c,d,e)</sup>
	45	30	73,63±2,57 <sup>(b,c)</sup>	21,49±1,85 <sup>(a,b,c,d)</sup>	7,53±2,01 <sup>(c)</sup>
		360	74,65±1,81 <sup>(c)</sup>	21,76±9,61 <sup>(a,b,c,d)</sup>	12,32±1,77 <sup>(d,e)</sup>
	60	30	69,63±4,51 <sup>(b)</sup>	22,05±3,36 <sup>(a,b,c,d)</sup>	8,34±3,55 <sup>(c,d)</sup>
		360	62,22±1,98 <sup>(d)</sup>	23,44±2,96 <sup>(a,b,d)</sup>	13,85±3,2 <sup>(e)</sup>
koncentrat soku z aronii	30	30	21,26±1,32 <sup>(a)</sup>	28,66±2,16 <sup>(d)</sup>	58,64±0,59 <sup>(b)</sup>
		360	19,55±0,39 <sup>(a)</sup>	19,58±0,54 <sup>(b,d)</sup>	56,09±0,32 <sup>(a,b)</sup>
	45	30	20,24±1,04 <sup>(a)</sup>	22,12±2,33 <sup>(a,b,c,d)</sup>	56,85±1,00 <sup>(a,b)</sup>
		360	22,75±2,27 <sup>(a)</sup>	15,61±2,53 <sup>(a,c)</sup>	52,79±1,96 <sup>(a)</sup>
	60	30	19,66±0,89 <sup>(a)</sup>	18,97±3,35 <sup>(a,b,c)</sup>	55,76±0,66 <sup>(a,b)</sup>
		360	19,23±0,44 <sup>(a)</sup>	14,34±3,16 <sup>(c)</sup>	54,96±0,94 <sup>(a,b)</sup>

Źródło: Opracowanie własne

Source: Own study

## Zawartość polifenoli

Proces odwadniania osmotycznego prowadzony w roztworze koncentratu soku z aronii oprócz obniżenia zawartości wody w badanych jabłkach, spowodował wzbogacenie ich w polifenole (tab. 2). Po 240 min odwadniania osmotycznego w temperaturze 30, 45 i 60°C stwierdzono odpowiednio około 1,5; 2-2,5 i 1,5-2-krotne zwiększenie zawartości polifenoli ogółem. Najwyższą zawartość polifenoli odnotowano w próbkach owoców odwodnionych w temperaturze 45°C przez 240 minut, co stanowiło 26% ogólnej zawartości polifenoli w koncentracie soku z aronii. Inaczej oddziaływał roztwór sacharozy, powodując zmniejszenie zawartości polifenoli w jabłkach, tym większe im dłużej trwał proces i wyższa była temperatura odwadniania osmotycznego. Porównując uzyskane wyniki stwierdzono, że proces osmotycznego odwadniania owoców w roztworze sacharozy przez 120 min w temperaturze 30 i 45°C spowodował zmniejszenie zawartości polifenoli, odpowiednio o 25 i 30%, zaś podczas odwadniania owoców 240 min odpowiednio o 37 i 36%. Po 240 min odwadniania osmotycznego w roztworze sacharozy o temperaturze 60°C zawartość polifenoli w jabłkach była o około 70% niższa niż w owocach świeżych. Również Ścibisz i Mitek [20] wykazały, że obróbka wstępna owoców przed suszeniem, tj. odwadnianie osmotyczne, spowodowała obniżenie pojemności przeciwutleniającej owoców borówki wysokiej. Autorki uzasadniły to migracją związków polifenolowych do roztworu odwadniającego.

**Tabela 2. Zawartość polifenoli w odwadnianych osmotycznie jabłkach oraz surowcach (koncentracie soku z aronii i w świeżych owocach)**

**Table 2. Phenolic content in osmotically dehydrated apples and in raw materials (chokeberry juice and in fresh fruit)**

	Temperatura [°C]	Czas odwadniania [min]	Polifenole ogółem [mg/100g s.m.]
60% roztwór koncentratu soku z aronii	30	120	699,89±4,45 <sup>(e)</sup>
		240	630,73±3,41 <sup>(f)</sup>
	45	120	910,07±11,38 <sup>(b)</sup>
		240	1003,78±4,74 <sup>(a)</sup>
	60	120	732,92±11,34 <sup>(d)</sup>
		240	798,53±3,64 <sup>(c)</sup>
60% roztwór sacharozy	30	120	320,02±17,45 <sup>(g)</sup>
		240	270,73±10,63 <sup>(h)</sup>
	45	120	301,15±9,15 <sup>(g)</sup>
		240	272,44±13,18 <sup>(h)</sup>
	60	120	170,12±13,20 <sup>(i)</sup>
		240	120,53±5,14 <sup>(i)</sup>
Jabłka świeże	-	-	427,68±6,24
Koncentrat soku z aronii	-	-	3872,68±18,6

**Źródło:** Opracowanie własne

**Source:** Own study

Ogólna zawartość polifenoli w odwadnianych jabłkach zależała od temperatury, czasu odwadniania i rodzaju substancji osmotycznej. W czasie odwadniania osmotycznego jabłek w roztworze koncentratu soku z aronii stwierdzono znaczące zwiększenie zawartości polifenoli. Wzrost temperatury z 30 do 40°C i wydłużenie czasu odwadniania z 120 do 240 min wpłynęło istotnie na zwiększenie zawartości polifenoli w tkance jabłek. Przy podwyższeniu temperatury z 45 do 60°C zaobserwowano zmniejszenie zawartości analizowanych związków. Wysoka temperatura jest jednym z najistotniejszych czynników przyspieszających degradację związków antocyjanowych. W pierwszym etapie następuje hydroliza wiązań glikozydowych w cząsteczce barwnika, a następnie utworzenie niestabilnego aglikonu. Podwyższona temperatura powoduje również przemiany antocyjanów w bezbarwne chalkony, które ulegają utlenieniu, tworząc brunatne związki i barwniki o wysokiej masie cząsteczkowej. Analizując wpływ roztworów (soku jabłkowego z udziałem mięty, soku z buraków ćwikłowych i soku z aronii) podczas wstępnej obróbki osmotycznej tkanki roślinnej i suszenia mikrofalowo-próżniowego na zawartość polifenoli w suszu Lech [7] wykazał, że jedynie odwadnianie osmotyczne buraków ćwikłowych w soku z aronii spowodowało wzrost bioaktywności otrzymanego suszu. Z kolei Kopera i Mitek [5] analizując wpływ substancji osmotycznej (sacharozy, soku gruszkowego, mieszaniny soku gruszkowego i sacharozy) na jakość suszu gruszkowego wykazały, że niezależnie od odmiany, susze z owoców odwadnianych w zagęszczonym soku gruszkowym odznaczały się, w porównaniu z produktami odwadnianymi w roztworze sacharozy, wyższą zawartością polifenoli, zarówno po zastosowaniu odwadniania osmotycznego, jak i po suszeniu konwekcyjnym.

## WNIOSKI

Rodzaj zastosowanego roztworu osmotycznego wpłynął istotnie na ubytek masy w tkance jabłek. Wyższe temperatury roztworu i dłuższy czas odwadniania osmotycznego, bez względu na zastosowany rodzaj roztworu, powodowały większy ubytek wody i przyrost masy suchej substancji. Najwyższy ubytek wody, około 5,4 g H<sub>2</sub>O/p.s.s., zaobserwowano w jabłkach odwodnionych w roztworze sacharozy przez 360 min w temperaturze 60°C. Odwadnianie osmotyczne jabłek w koncentracie soku z aronii i roztworu sacharozy przez 360 min przy zastosowaniu temperatury 60°C spowodowało przyrost masy suchej substancji odpowiednio na poziomie około 0,95 i 1,28 g/g p.s.s. Zastosowanie koncentratu soku z aronii do odwadniania osmotycznego jabłek polegało głównie na obniżaniu zawartości wody w jabłkach. Efekt odwadniania (szybkość usuwania wody) zwiększał się wraz z podwyższaniem temperatury w zakresie 30-60°C.

Koncentrat soku z aronii może być wykorzystywany jako substancja osmotyczna do skutecznego usuwania wody, a także do nadania atrakcyjnej barwy owocom. Analiza statystyczna wykazała istotny wpływ rodzaju zastosowanego roztworu osmotycznego na zmianę parametru  $L^*$  (jasności) i nasycenia barwy  $C^*_{ab}$ .

Zawartość polifenoli ogółem po procesie odwadniania osmotycznego tkanki jabłek w koncentracie soku z aronii była blisko 2,5-krotnie większa w porównaniu z owocami

świeżymi. Najwyższą zawartością polifenoli ogółem charakteryzowała się tkanka jabłek odwadnianych przez 240 min w temperaturze 45°C. Wzbogacanie owoców w dodatkowe związki biologicznie aktywne podczas odwadniania osmotycznego jest nowym sposobem uatrakcyjniania owocowych produktów suszonych. Możliwa jest też modyfikacja chemiczna składu żywności w zależności od potrzeb.

## LITERATURA

- [1] **BIEGAŃSKA-MARECIK, R., J. CZAPSKI. 2003.** „Porównanie przydatności odmian jabłek do produkcji plasterków o małym stopniu przetworzenia”. *Acta Scientiarum, Technologia Alimentaria* 2(2): 115-127.
- [2] **ERLE U., H. SHUBERT. 2001.** „Combined osmotic and microwave-vacuum dehydration of apples and strawberries”. *J. Food Eng.* 49: 193-199.
- [3] **FALADE K.O., J.C. IGBEKA, F.A. AYANWUYI. 2007.** „Kinetics of mass transfer, and colour changes during osmotic dehydration of watermelon”. *J. Food Eng.* 80: 979-985.
- [4] **KHIN M.M., W. ZHOU, C.O. PERERA 2007.** „Impact of process conditions and coatings on the rehydration efficiency and cellular structure of apple tissue during osmotic dehydration”. *J. Food Eng.* 79: 817-827.
- [5] **KOPERA M., M. MITEK. 2007.** „Wpływ procesu odwadniania osmotycznego na zawartość polifenoli w suszach gruszkowych (*Pyrus communis* i *Pyrus pyrifolia*)”. *Żywność. Nauka. Technologia. Jakość* 5(54): 213-221.
- [6] **KOWALSKA H., K. GIERADA. 2005.** „Nasycanie jabłek w celu otrzymania żywności wzbogaconej witaminą C”. *Inżynieria Rolnicza* 71(11): 267-275.
- [7] **LECH K. 2013.** Wpływ parametrów suszenia mikrofalowo-próżniowego na jakość suszu z buraków ćwikłowych odwadnianych osmotycznie. Praca doktorska. Dostęp w dniu 16.04.2016. [http://www.dbc.wroc.pl/Content/24056/Lech\\_K\\_doktor\\_112\\_DBC.pdf?handler=pdf](http://www.dbc.wroc.pl/Content/24056/Lech_K_doktor_112_DBC.pdf?handler=pdf)
- [8] **LENART A. 1992.** „Mathematical modeling of osmotic dehydration of apple and carrot”. *Acta Alimen. Polonica* 42(1): 33-44.
- [9] **LENART A. 1990.** „Osmotyczne odwadnianie jako obróbka wstępna przed suszeniem konwekcyjnym owoców i warzyw”. *Przem. Spoż.* 44(12): 307-309.
- [10] **LERICI C.R., C.R. PINNAVAIA, M.D. ROSA, L. BARTOLUCCI. 1995.** „Osmotic dehydration of fruits: influence of osmotic agents on during behavior and product quality”. *J. Food Sci.* 50: 1217-1219.
- [11] **MARANI C.M., M.E. AGNELLI, R.H. MASCHERONI. 2007.** „Osmo-frozen fruits: mass transfer and quality evaluation”. *J. Food Eng.* 79: 1122-1130.
- [12] **MOREIRA R., F. CHENLO, G. PEREIRA. 2003.** „Viscosities of ternary aqueous solutions with glucose and sodium chloride employed in osmotic dehydration operation”. *J. Food Eng.* 57: 173-177.
- [13] **NIETO A.B., D.M. SALVATORI, M. CASTRO, S.M. ALZAMORA. 2003.** „Structural changes in apple tissue during glucose and sucrose OD: Shrinkage, porosity, density and microscopic features”. *J. Food Eng.* 61: 269-278.
- [14] **PASTUSZAK W. 2000.** Barwa w grafice komputerowej. Warszawa, PWN.
- [15] **PĘKOŚLAWSKA-GARSTKA A., A. LENART. 2010.** „Wybrane właściwości fizyczne miąższu dyni odwadnianej osmotycznie w roztworach cukrów”. *Acta Agrophysica* 16(2): 413-422.
- [16] **PIĄTKOWSKA E., A. KOPEĆ, T. LESZCZYŃSKA. 2011.** „Antocyjany – charakterystyka, występowanie i oddziaływanie na organizm człowieka”. *Żywność. Nauka. Technologia. Jakość* 4(77): 24-35.
- [17] **SIKORSKI Z. (RED.). 2002.** Chemia żywności. Składniki żywności. WNT, Warszawa: 401-420.
- [18] **SIKORSKI Z. 1996.** Barwniki. Chemiczne i funkcjonalne właściwości składników żywności. WNT: 414-422.
- [19] **SINGLETON V.L., J.A. ROSSI. 1965.** „Colorimetry of total phenolic with phosphomolibdic-phosphotungstic acid reagents”. *American Journal of Enology and Viticulture* 16: 144-158.
- [20] **ŚCIBISZ I., M. MITEK. 2006.** „Aktywność przeciwutleniająca i zawartość związków fenolowych w suszach z owoców borówki wysokiej (*Vaccinium corymbosum*)”. *Żywność. Nauka. Technologia. Jakość* 4(49): 68-76.
- [21] **TALENS P., N. ESCRICHE, N. MARTINEZ-NAVARRETE, A. CHIRALT. 2003.** „Influence of osmotic dehydration and freezing on the volatile profile of kiwi fruit”. *Food Res. Int.* 36: 635-642.