

HANNA KOWALSKA, EWELINA MASIARZ, ANNA IGNACZAK,
MATEUSZ BARANOWSKI, JOLANTA KOWALSKA

**OCENA EKSPLOATACYJNA LINII TECHNOLOGICZNEJ
DO PRZEMYSŁOWEJ PRODUKCJI SUSZU Z WIŚNI METODĄ
OSMOTYCZNO-KONWEKCYJNĄ, W PORÓWNIANIU
ZE SKALĄ LABORATORYJNĄ**

Streszczenie

Wprowadzenie. Wstępne odwadnianie osmotyczne OD owoców może znacząco wpływać na obniżenie zawartości wody niezwiązanej. Powoduje też wnikanie składników roztworu do owoców, zwiększając wydajność wytwarzanych produktów metodą osmotyczno-konwekcyjną. W celu przeprowadzenia oceny eksploatacyjnej linii technologicznej do produkcji suszu z wiśni badania wykonano w skali laboratoryjnej i przemysłowej. Materiałem badawczym były zamrożone, drylowane wiśnie odmiany Łutówka. Do osmotycznego odwadniania zastosowano roztwór sacharozy, skoncentrowany sok jabłkowy oraz roztwór złożony z sacharozy i syropu glukozowo-fruktozowego o udziale masowym 1:1; wszystkie o stężeniu 70 ± 2 °Brix. Odwadnianie osmotyczne prowadzono w temperaturze 40 i 55 °C (skala przemysłowa) i 50 °C (skala laboratoryjna) do uzyskania ekstraktu w owocach ≥ 60 °Brix. Suszenie konwekcyjne prowadzono tylko w skali przemysłowej w 70 °C, do uzyskania aktywności wody $< 0,6$.

Wyniki i wnioski. Zwiększenie temperatury roztworu osmoaktywnego zwiększało wydajność procesu nakierowanego na wysycenie owoców substancją osmotyczną i skrócenie czasu tej obróbki. Większa wydajność odwadniania wpływała na skrócenie czasu suszenia konwekcyjnego. Nie stwierdzono wpływu typu roztworu osmotycznego na większość wskaźników wymiany masy w odwadnianych owocach. Pomimo istotnie wyższej wydajności procesu obu etapów (wstępnego odwadniania i suszenia), po zastosowaniu koncentratu soku jabłkowego, nieistotny był wpływ typu roztworu na całkowitą wydajność procesu wyrażoną stosunkiem masy owoców suszonych do masy surowca. Pomimo tych samych wariantów osmotycznego odwadniania wiśni w obu skalach produkcji, czas odwadniania w warunkach przemysłowych był nawet 11-krotnie dłuższy. Stan techniczny badanej linii określono jako stan zdatności. Urządzenia do odwadniania osmotycznego i suszenia działały prawidłowo. Wykazano złożoność procesów naprawczych i czasochłonne czyszczenie urządzeń.

Słowa kluczowe: obróbka wstępna, skala produkcji, odwadnianie osmotyczne, przekąski z wiśni, koncentrat soku

Dr hab. inż., prof. SGGW H. Kowalska ORCID: 0000-0002-6732-459; mgr inż. E. Masiarz ORCID: 0000-0003-0279-2577; mgr inż. A. Ignaczak ORCID: 0000-0001-8333-9293; mgr inż. M. Baranowski; dr hab. inż., prof. SGGW Jolanta Kowalska ORCID: 0000-0003-1723-5669, Katedra Inżynierii Żywności i Organizacji Produkcji, Instytut Nauk o Żywności, Szkoła Główna Gospodarstwa Wiejskiego w Warszawie, ul. Nowoursynowska 159c, 02-776 Warszawa; Kontakt: hanna_kowalska@sggw.edu.pl

Wprowadzenie

Suszenie jest jedną z podstawowych metod przetwarzania żywności. Obniżenie wilgotności ma na celu zabezpieczenie żywności przed rozwojem mikroorganizmów. Pozwala także na zatrzymanie niekorzystnych zmian fizykochemicznych, zachodzących w żywności [1, 13]. Najbardziej rozpowszechnioną metodą suszenia surowców roślinnych jest suszenie konwekcyjne. W wyniku zastosowania wysokich temperatur oraz długiego czasu suszenie konwekcyjne uznawane jest za jedną z najbardziej destrukcyjnych metod suszenia w stosunku do suszonego materiału [14]. Odwadnianie osmotyczne jest stosowane jako obróbka wstępna przed suszeniem [2, 3]. Ma na celu kształtowanie pożądanych właściwości fizykochemicznych i sensorycznych suszonych owoców i warzyw [8, 9]. Zastosowanie odwadniania osmotycznego owoców przed suszeniem pozwala zachować wiele naturalnych składników zawartych w surowcu i ma zastosowanie w produkcji przekąsek o walorach prozdrowotnych [14]. Redukcja wody bez przemiany fazowej pozwala uniknąć występowania niekorzystnych zmian termicznych w przetwarzanym surowcu [8, 9, 11]. Roztworami osmoaktywnymi powinny być substancje o akceptowalnym smaku i zapachu oraz powodujące wysoką wydajność procesu, którą gwarantuje wysokie ciśnienie osmotyczne [6]. W przypadku osmotycznego odwadniania owoców kwaśnych, wskutek wnikania do nich substancji osmotycznej oraz obniżenia zawartości kwasów organicznych, które tracą wraz z usuwaną wodą, kształtowane są cechy sensoryczne suszu jako produktu przekąskowego do bezpośredniej konsumpcji [5]. W przypadku produkcji wiśni odwadnianych osmotycznie dodatek sacharozy lub innych cukrów warunkuje akceptowalną smakowość i zachowanie tekstury [4].

Maszyny i urządzenia służące do przetwarzania żywności, w tym do suszenia, podlegają procesowi eksploatacji. Jako eksploatację określa się wszelkiego rodzaju procesy, działania, zdarzenia i zjawiska, którym podlega i w których bierze udział dany obiekt techniczny, począwszy od chwili jego wytworzenia, do jego kasacji [10]. Podstawowym wymogiem stawianym maszynom jest ich przystosowanie do wykonywania wymaganych zadań (funkcjonalność) pod względem wydajności i bezpieczeństwa obsługi. Przy prawidłowej eksploatacji maszyn dąży się do ich niezawodności, wytrzymałości, odporności na zużycie i drgania, łatwego prowadzenia procesów kontroli czystości i czyszczenia oraz napraw bieżących. Ważna jest też estetyka wykonania maszyn, głośność emitowanego dźwięku, wielkość mocy przy możliwie najmniejszych rozmiarach i braku negatywnego wpływu na środowisko [10]. Według Żuk [16] diagnostyka techniczna polega na określeniu aktualnego stanu obiektu technicznego, poprzez określenie zbioru parametrów stanu i porównania ich z wartościami odpowiadającymi stanowi początkowemu (wzorcowymi). Dzięki temu możliwe jest wykrycie przyczyny stanu obiektu technicznego i przewidywanie zmian tego stanu, by uniknąć większych awarii. Obecnie optymalizację działań eksploatacyjnych coraz częściej

wspomagają programy komputerowe, np. RCM (ang. *Reliability-Centered Maintenance*), które poprzez integrację wielu dyscyplin nauki i techniki pozwalają na efektywne technicznie i ekonomicznie planowanie działań serwisowych z uwzględnieniem warunków eksploatacji oraz oczekiwań użytkowników [12].

Celem pracy było dokonanie oceny eksploatacyjnej linii technologicznej do produkcji suszu z wiśni metodą osmotyczno-konwekcyjną. Zakres pracy obejmował przeprowadzenie prób wytwarzania suszy z wiśni poprzez wstępne odwadnianie osmotyczne i suszenie konwekcyjne w skali laboratoryjnej i przemysłowej.

Material i metody badań

Przygotowanie materiału roślinnego

Materiałem badawczym były wiśnie odmiany Łutówka, owoce całe, drylowane. Wstępnie owoce myto, przebierano, drylowano i mrożono technologią IQF (*Individually Quick Frozen*) za pomocą ciekłego azotu. W skali laboratoryjnej i przemysłowej wykonano wstępną obróbkę osmotyczną, a suszenie wykonano w warunkach przemysłowych w jednym z zakładów w pobliżu Warszawy. Zakład ten produkuje susze z wiśni, które mogą być przechowywane do 12 miesięcy w temperaturze $6 \pm 12^\circ\text{C}$.

Tabela 1. Parametry odwadniania osmotycznego w skali laboratoryjnej i przemysłowej oraz kody oznaczeń

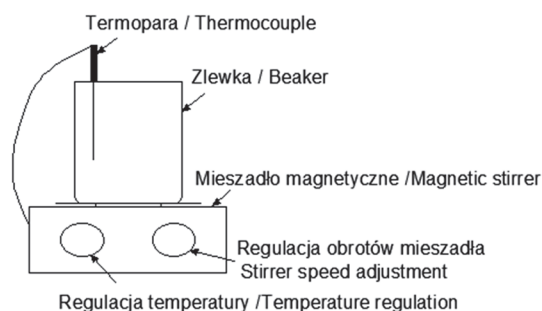
Table 1. Parameters of osmotic dehydration on a laboratory and industrial scale and marking codes

Typ roztworu osmotycznego i temperatura; skala laboratoryjna /przemysłowa Type of osmotic solution and temperature; laboratory/industrial scale	Kod Code
Roztwór sacharozy 40 °C, 55 °C w skali laboratoryjnej / 50 °C w skali przemysłowej Sucrose solution at 40 °C or 55 °C on a laboratory scale / at 50 °C on an industrial scale	S40, S55 / S50
Skoncentrowany sok jabłkowy 40 °C, 55 °C w skali laboratoryjnej / 50 °C w skali przemysłowej Concentrated apple juice at 40 °C, 55 °C on a laboratory scale / at 50 °C on an industrial scale	AJ40, AJ55 / AJ50
Roztwór sacharozy i syropu glukozowo-fruktozowego 1:1 w skali laboratoryjnej w 40 °C, 55 °C / 50 °C w skali przemysłowej Sucrose and glucose-fructose syrup 1:1 solution on a laboratory scale at 40 °C, 55 °C / 50 °C on an industrial scale	SGF40, SGF55 / SGF50

W obu przypadkach zastosowano 3 typy roztworów o stężeniu $70 \pm 2^\circ\text{Brix}$ (tab. 1), a stosunek masy roztworu do masy surowca wynosił 3:1. Temperatura procesu w skali laboratoryjnej wynosiła 40 i 55 °C, a przemysłowej 50 °C. Przeprowadzono przynajmniej dwie serie badań.

Warunki odwadniania osmotycznego wiśni w skali laboratoryjnej

Do odwadniania osmotycznego w skali laboratoryjnej wykorzystano stanowisko złożone ze zlewki o pojemności 2000 ml i mieszadła magnetycznego z termostatem (rys. 1). Stosowano stałą prędkość obrotów mieszadła magnetycznego 200 obr./min.



Rys. 1. Schemat mieszadła magnetycznego ze zlewką

Fig. 1. Diagram of a magnetic stirrer with a beaker

Odwadnianie wiśni o masie około 400 g prowadzono do momentu osiągnięcia ekstraktu na poziomie 60 °Brix. Bezpośrednio po odwadnianiu owoce osuszano w celu usunięcia z ich powierzchni roztworu osmotycznego.

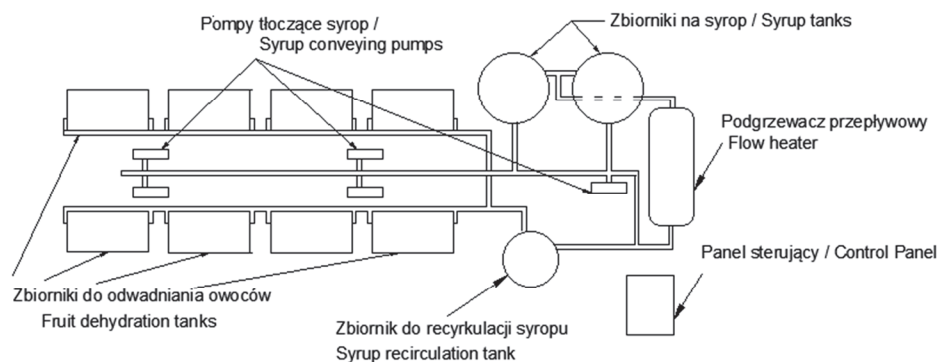
Warunki odwadniania osmotycznego wiśni w skali przemysłowej

W skali przemysłowej odwadnianie osmotyczne prowadzono na linii technologicznej BOEMA (rys. 2). Urządzenie składało się z 2 metalowych zbiorników, każdy o pojemności 2500 dm³, do których zasypywano surowiec w ilości kilkuset kilogramów. Roztwór przepływał dzięki działaniu pomp tłoczących.

Linia wyposażona była w podgrzewacz przepływowy oraz elektroniczny panel sterujący. W ciągu tygodnia odwadniano 8 ÷ 10 ton surowca. Analizie poddano kilka partii produkcyjnych. Każdorazowo rejestrowano ilość odwadnianego surowca i czas procesu, który kończono po uzyskaniu wysycenia owoców na poziomie min. 60 °Brix.

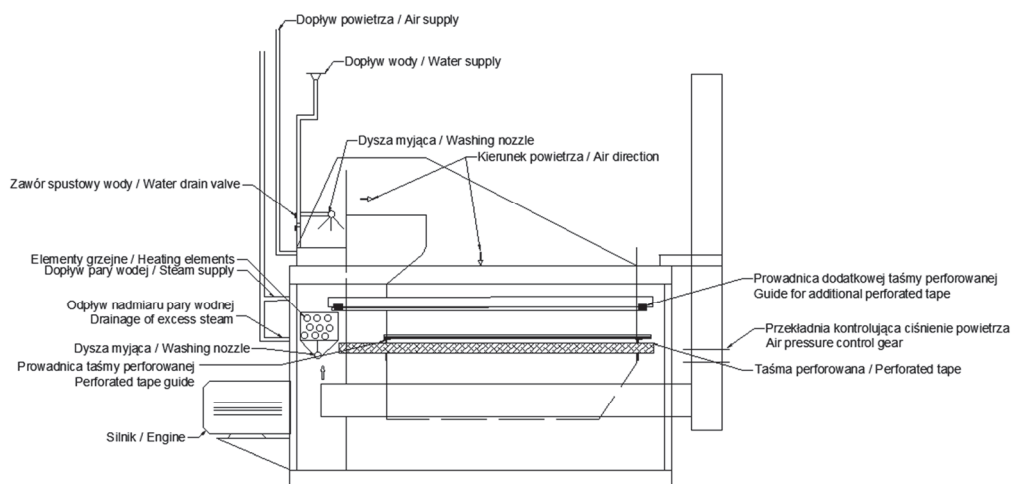
Warunki suszenia konwekcyjnego wiśni w skali przemysłowej

Do suszenia wykorzystywano tunel suszarniczy SANDVIK, składający się z 6 ÷ 18 połączonych ze sobą komór, w których mogły być nastawiane różne temperatury (rys. 3). Suszenie prowadzono do momentu uzyskania aktywności wody produktu < 0,6. Temperatura suszenia wynosiła 70 °C, a prędkość przepływu powietrza 10 m/s. Produkt układano w pojedynczej warstwie na sitach o szerokości 25 cm i wielkości oczek 1 mm.



Rys. 2. Schemat linii odwadniania osmotycznego

Fig. 2. Diagram of osmotic dehydration line



Rys. 3. Schemat komory suszarniczej

Fig. 3. Diagram of the drying chamber

Po suszeniu wiśnie zraszane były niewielką ilością oleju słonecznikowego w celu zachowania sypkości produktu oraz nadania mu połysku. Miesięczna produkcja wynosiła około 50 ton suszu otrzymanego z 150 ÷ 200 ton owoców.

Wskaźniki wymiany masy wiśni odwadnianych osmotycznie i wydajności procesu

Obliczono wskaźniki wymiany masy podczas osmotycznego odwadniania, jak ubytek masy dM i wody WL, przyrost masy suchej substancji SG oraz wydajność wyrażoną jako stosunek masy produktu do masy surowca po odwadnianiu W_{odw} i suszeniu W_{susz} , a także wydajność całkowitą $W_{\text{całk}}$ w skali laboratoryjnej i przemysłowej.

Właściwości fizykochemiczne suszy

Wybrane właściwości fizykochemiczne suszy oznaczono w Katedrze Inżynierii Żywności i Organizacji Produkcji SGGW w Warszawie. Do wyznaczenia właściwości mechanicznych suszy zastosowano test ściskania za pomocą teksturometru Texture Analyzer TA-TX2 firmy Stable Micro Systems Ltd. (Wielka Brytania). Susze poddano testowi ściskania do odkształcenia 50 % ich wysokości z prędkością przesuwu głowicy 1 mm/s. Rejestrowano wartość maksymalnej siły potrzebnej do deformacji próbek. Pomiar przeprowadzono w minimum 10 powtórzeniach. Gęstość rzeczywistą cząstek ρ wyznaczono piknometrem helowym (Stereopycnometer, Quantachrome Instruments, USA). Parametry barwy oznaczono fotokolorymetrem Chroma-Meter CR-300 Minolta (Japonia) w układzie CIE $L^*a^*b^*$ przy stałym oświetleniu w 5 powtórzeniach. Wyznaczono bezwzględną różnicę barwy (ΔE^*) w stosunku do barwy wiśni mrożonych.

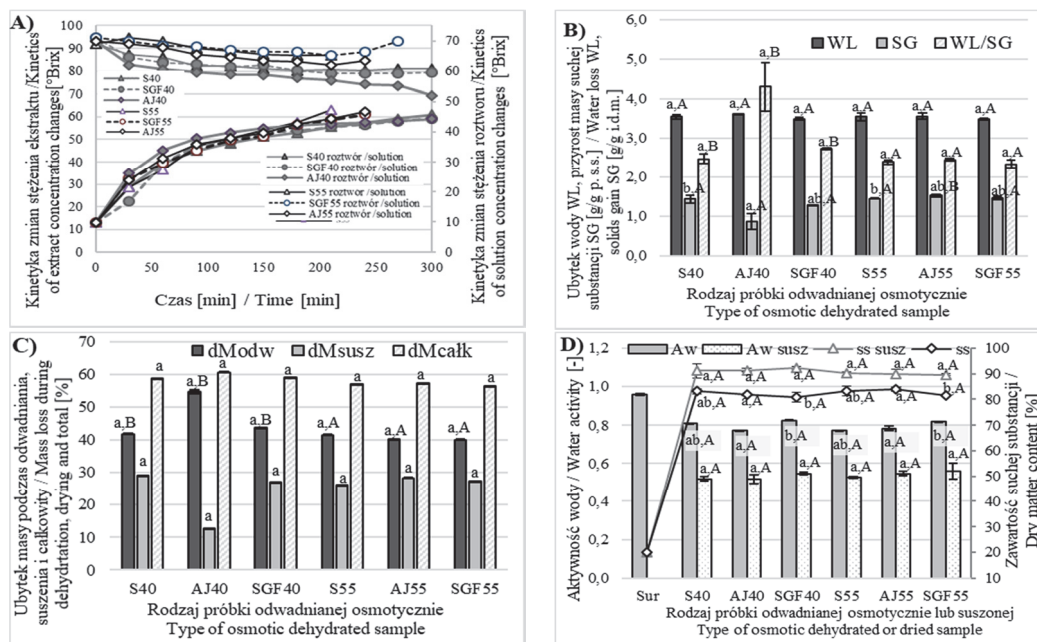
Wyniki opracowano statystycznie za pomocą wieloczynnikowej analizy wariancji ANOVA na poziomie istotności $\alpha = 0,05$ i wyznaczono grupy homogeniczne na podstawie testu Tukeya post-hoc.

Wyniki i dyskusja

Wpływ odwadniania osmotycznego na wymianę masy i wydajność procesu

Podczas osmotycznego odwadniania wiśni w skali laboratoryjnej i przemysłowej na skutek różnicy ciśnienia osmotycznego roztworu i soku komórkowego w tkance wiśni woda zawarta w owocach przenikała do roztworu [3], skąd na skutek podwyższonej temperatury oraz ciągłego ruchu całego układu odparowywała do otoczenia. W rezultacie następował efektywny ubytek masy wiśni i zmiany stężenia ekstraktu owoców i roztworu (rys. 4a). Większe obniżenie stężenia roztworu nastąpiło w przypadku niższej temperatury 40 °C, co mogło wynikać z mniejszego odparowania wody. W efekcie, w temperaturze 55 °C, stężenie roztworów wzrastało w końcowym etapie wysycania owoców. Skoncentrowany sok z jabłek (AJ) w 40 °C odznaczał się wyraźnie niższym stężeniem w całym przebiegu procesu (rys. 4a), osiągając około 52 °Brix. Stężenie roztworu złożonego z sacharozy i syropu glukozowo-fruktozowego (SGF) w temperaturze 55 °C utrzymywało się na stałym poziomie, a po 300 min. stwierdzono około 70 °Brix.

Zmiany stężenia roztworów osmotycznych nie miały istotnego wpływu na zmiany stężenia ekstraktu owoców, z wyłączeniem odwadniania wiśni w koncentracie soku z jabłek. W tych warunkach obserwowano wyższe stężenie ekstraktu i ubytek masy (około 54,7 %), a jednocześnie obniżony przyrost masy suchej substancji SG w owocach i wyższy ubytek wody WL. Wywołało to nieznacznie wyższy wskaźnik wydajności odwadniania (WL/SG), który zanotowano z dużym odchyleniem standardowym, co mogło wpłynąć na brak różnic statystycznych (rys. 4a, 4b, 4c).



Objaśnienia / Explanatory notes:

Oznaczenia a, b (wpływ typu roztworu osmotycznego) i A, B (wpływ temperatury) dotyczą grup homogenicznych przy poziomie istotności 0,05. / The notations a, b (the effect of the type of osmotic solution) and A, B (the effect of temperature) refer to homogeneous groups at a significance level of 0.05.

- Rys. 4. Wskaźniki wymiany masy i procesu podczas wytwarzania suszonych wiśni; A) kinetyka stężenia ekstraktu owoców i roztworu osmotycznego, B) ubytek wody WL, przyrost masy suchej substancji SG i wydajność procesu WL/SG, C) ubytek masy podczas osmotycznego odwadniania dM_{odw} , suszenia dM_{susz} i całkowity $dM_{całk}$, D) zmiany aktywności wody i zawartości suchej substancji owoców odwadnianych osmotycznie i suszonych.
- Fig. 4. Mass exchange and process indicators during production of dried cherries; A) kinetics of the concentration of fruit extract and osmotic solution, B) water loss WL, solids gain SG and process efficiency WL/SG, C) mass loss during osmotic dehydration dM_{deh} , drying dM_{dry} and total dM_{total} D) water activity and dry matter content of osmotically dehydrated and dried fruit.

Analiza ubytku masy wiśni podczas odwadniania osmotycznego wskazuje, że różnice były nieistotne statystycznie, mieściły się w zakresie $40,1 \div 54,7\%$, a nieznacznie wyższe wartości uzyskano przy niższej temperaturze. Na etapie suszenia ubytek masy był mniejszy niż podczas odwadniania i, poza jednym przypadkiem (12,8 % / AJ40), dość wyrównany – od 26,2 do 29,1 % (rys. 4c). Większy ubytek masy (około 54,7 %) podczas odwadniania osmotycznego wiśni w koncentracji soku z jabłek skutkował niższym ubytkiem masy (12,8 %) podczas ich suszenia. Całkowity ubytek masy wiśni, od stanu zamrożonego do produktu końcowego, mieścił się w za-

kresie $56,4 \div 60,6$ %. Odwadnianie osmotyczne spowodowało znaczący wzrost zawartości suchej substancji ($80,7 \div 84,0$ %) i obniżenie aktywności wody ($0,77 \div 0,83$). W efekcie suszenie końcowe trwało stosunkowo krótko ($4 \div 5$ h), by uzyskać zawartość suchej substancji na poziomie $89,7 \div 92,3$ % oraz aktywność wody $0,52 \div 0,56$ (rys. 1d, tab. 3). Kontrolując stężenie ekstraktu odwadnianych owoców oraz aktywność wody owoców suszonych w celu uzyskania wymaganych progów, nie stwierdzono istotnego wpływ temperatury i typu substancji osmotycznej na wskaźniki wymiany masy.

Produkcja suszy z wiśni w zakładzie była ukierunkowana na zwiększoną wydajność produkcji w odniesieniu do surowca, dlatego wstępne wysycanie składnikami roztworu osmotycznego odgrywało istotną rolę. W badaniu Kowalskiej i wsp. [7] do odwodnienia osmotycznego truskawek użyto roztworu złożonego z sacharozy i koncentratu soku z aronii CJC lub inuliny (1:1). Oprócz obniżania zawartości wody w owocach, wzbogacano je w składniki bioaktywne. Najważniejszymi czynnikami wpływającymi na wartości wskaźników wymiany masy podczas odwadniania osmotycznego truskawek były rodzaj roztworu osmotycznego i czas trwania procesu, a najmniej istotnym czynnikiem była temperatura w zakresie $30 \div 50$ °C.

Wpływ wstępnej obróbki osmotycznej (wysycenia) na wskaźniki wydajności procesu

Zastosowanie obróbki osmotycznej, polegającej na częściowym usuwaniu wody, ale też nasycaniu składnikami roztworu osmotycznego (koncentraty soków, fruktooligosacharydy) [2, 3, 7, 8, 10], stanowi ważny początkowy etap wytwarzania suszonych przekąsek o właściwościach prozdrowotnych. W tym celu stosowane są różne innowacyjne metody suszenia, jednak w większości w skali laboratoryjnej. Istnieje potrzeba oceny wpływu rodzaju substancji osmotycznej na wskaźniki wydajności procesu wytwarzania suszonych owoców w warunkach przemysłowych.

W odniesieniu do pozostałych roztworów osmotycznych (S i SGF), owoce odwadniane w koncentracie soku jabłkowego (AJ) w skali laboratoryjnej i przemysłowej odznaczały się istotnie wyższym wskaźnikiem odwadniania W_{odw} i suszenia W_{sus} stanowiących odpowiednio: stosunek masy wiśni odwadnianych osmotycznie do masy surowca (wiśni mrożonych) oraz masy wiśni suszonych do masy wiśni wstępnie odwadnianych (tab. 2). W przypadku wskaźnika określającego stosunek masy suszu do masy surowca $W_{całk}$ mieszczącego się w zakresie $39,4 \div 43,6$ %, wpływ rodzaju roztworu osmotycznego był nieistotny (tab. 2).

Wydajności odwadniania i suszenia wiśni uzyskane w temperaturze 40 i 55 °C w skali laboratoryjnej stanowiły jedną grupę homogeniczną, a oddzielną – w temperaturze 50 °C, stosowaną w skali przemysłowej. Jeśli chodzi o dobór warunków osmotycznego odwadniania, najważniejszym parametrem w tym zakresie, jak również pod

Tabela 2. Wydajność (W) osmotycznego odwadniania (odw), suszenia (susz) i wydajność całkowita (całk) w skali laboratoryjnej (lab) i przemysłowej (przem)

Table 2. Efficiency (W) of osmotic dehydration (odw), drying (susz) and total efficiency (całk) on a laboratory (lab) and industrial (przem) scale

	W _{odw lab} [%]		W _{odw przem} [%] /SD		W _{susz lab} [%] /SD		W _{susz przem} [%] /SD		W _{całk lab} [%] /SD		W _{całk przem} [%] /SD	
40S	58,20	1,49	65,36	5,69	70,94	9,81	67,15	10,79	41,30	1,56	43,81	3,46
40AJ	56,13	6,76	71,56	5,55	87,19	8,79	57,17	3,36	39,41	1,31	41,43	3,66
40SGF	45,36	8,01	65,92	3,76	72,81	3,17	60,44	2,62	40,89	1,77	39,80	3,90
55S	58,42	1,24	-	-	73,79	4,57	-	-	43,07	2,88	-	-
55AJ	59,90	1,13	-	-	71,60	3,87	-	-	42,80	3,10	-	-
55SGF	59,71	1,82	-	-	72,70	3,83	-	-	43,56	2,80	-	-
Czynniki Factors	P - prawdopodobieństwo / P - probability Grupy homogeniczne // Homogeneous groups											
Typ substancji osmot. Type of osmotic substance	*0,0028		S - ab AJ - b SGF - a		0,6936		S - a AJ - a SGF - a		0,3239		S - a AJ - a SGF - a	
Temperatura Temperature [°C]	*0,0000		40 - a 50 - b 55 - a		*0,0000		40 - a 50 - b 55 - a		0,3545		40 - a 50 - a 55 - a	
Skala Scale	*0,0000		Lab. - a Przem. - b		*0,0000		Lab. - b Przem. - a		0,3275		Lab. - a Przem. - a	

względem ekonomicznym, był czas (tab. 3). W warunkach laboratoryjnych czas osmotycznego odwadniania był nawet 11-krotnie krótszy, a suszenia około 5-krotnie krótszy, w porównaniu do warunków przemysłowych. Mogło na to wpłynąć wiele czynników związanych z trudnościami zmiany skali produkcji a także warunków eksploatacji stosowanych urządzeń. Dobór warunków obróbki osmotycznej wiśni należy rozpatrywać w taki sposób, by skrócić czas uzyskania założonych wartości progowych, tj. stężenia ekstraktu owoców podczas odwadniania (> 60 °Brix) i aktywności wody owoców ($< 0,6$) podczas suszenia.

Różnica między początkową i końcową zawartością wody w owocach wskazuje, że usunięto ją w dużym stopniu (do $16 \div 19\%$ po odwadnianiu i $8 \div 10\%$ po suszeniu). O wydajności procesu zadecydowała ilość substancji osmotycznej, która wniknęła do owoców podczas wstępnej obróbki osmotycznej. Wydajność produkcji suszy z wiśni na poziomie $39,4 \div 43,6 \%$ oraz długi czas obróbki technologicznej i zapotrzebowanie energetyczne w trakcie produkcji suszu osmo-konwekcyjnego wpływa na jego wysoką cenę [8].

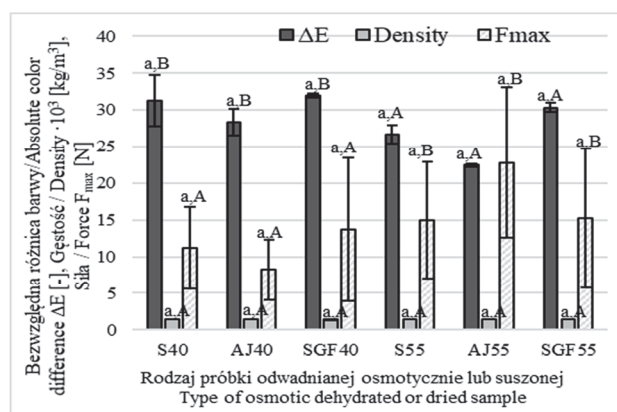
Tabela 3. Czas osmotycznego odwadniania i suszenia wiśni w skali laboratoryjnej i przemysłowej

Table 3. Time of osmotic dehydration and drying of cherries on a laboratory and industrial scale

Czas [min] Time [min]	Odwadnianie Dehydration lab. 40 °C			Odwadnianie Dehydration lab. 55 °C			Odwadnianie Dehydration przem. 50 °C		
Odwadniania Dehydration	S40	AJ40	SGF40	S55	AJ55	SGF55	S50	AJ50	SGF50
	300	360	360	210	240	240	3165	3948	2850
Suszenia Drying	Suszenie / Drying lab. 40 °C			Suszenie / Drying lab. 55 °C			Suszenie / Drying przem. 50 °C		
	300	330	300	240	330	300	1388	1728	1140

Właściwości suszonych wiśni

Susze wiśni uzyskane w skali laboratoryjnej i przemysłowej odznaczały się wysoką jakością konsumpcyjną (rys. 5). Nie wykazano wpływu typu roztworu osmotycznego na bezwzględną różnicę barwy, gęstość rzeczywistą i twardość suszy wyrażoną siłą maksymalną (F_{max}). W przypadku produkcji wiśni odwadnianych osmotycznie zastosowanie sacharozy lub innych cukrów warunkuje zachowanie tekstury [4]. Parametry odwadniania osmotycznego, określone pożądanym stopniem wysycenia, pozwoliły uzyskać susze podobnej jakości, niezależnie od typu roztworu osmotycznego. W porównaniu do barwy wiśni mrożonych, parametry barwy owoców po suszeniu uległy znaczącym zmianom (ΔE w zakresie 22,4 ÷ 32,0) w wyniku pociemnienia, uzyskując barwę od ciemnoczerwonej do czarno-czerwonej. Mniejsze widoczne różnice

Rys. 5. Wpływ odwadniania osmotycznego na zmiany bezwzględnej różnicy barwy, gęstość rzeczywistą i twardość (F_{max}) suszy z wiśni uzyskanych w skali laboratoryjnej i przemysłowejFig. 5. The influence of osmotic dehydration on changes in absolute color difference, true density and hardness (F_{max}) of dried cherries obtained on a laboratory and industrial scale

barwy obserwowano w przypadku wiśni odwadnianych wstępnie w koncentracji soku jabłkowego. Powierzchnia suszy była gładka i błyszcząca, atrakcyjna sensorycznie i zachęcająca do ich spożycia.

Próbki suszy były odpowiednio miękkie, delikatnie i sprężyste. Bardziej twarde susze (różnice istotne statystycznie) uzyskano przy zastosowaniu wyższej temperatury wstępnego odwadniania. Pod względem gęstości rzeczywistej susze otrzymane metodą osmotyczno-konwekcyjną z zastosowaniem różnych substancji osmotycznych przyjmowały wartości na zbliżonym poziomie $1485 \pm 4,9 \text{ kg/m}^3$ (rys. 5). Wyższa temperatura roztworu osmotycznego powodowała statystycznie istotne obniżenie gęstości rzeczywistej. Zaletą suszy była ich sypkość.

Ocena eksploatacyjna linii produkcyjnej

W większości procesów produkcyjnych, oprócz niezbędnego zaplecza technologicznego, potrzebne są odpowiednie zasoby ludzkie, pozwalające na prawidłową obsługę urządzeń. Aby cykl produkcyjny został przeprowadzony w jak najkrótszym czasie a produkt finalny cechował się jak najlepszą jakością, w przypadku opisywanej linii technologicznej potrzebnych jest minimum 5 osób, w tym technolog (kierownik produkcji). Osoby te powinny pracować w 8-godzinny system 3-zmianowy. Technolog odpowiada za ustawienie parametrów odwadniania osmotycznego i suszenia konwekcyjnego, dlatego powinien posiadać odpowiednie kwalifikacje oraz doświadczenie.

W zakładzie zostały określone procedury i instrukcje higieniczne oraz harmonogramy mycia linii technologicznych. Czas mycia linii do odwadniania osmotycznego i tuneli suszarniczych wynosi 8 godzin. Po opróżnieniu linii i wstępnym oczyszczeniu (opłukaniu) dozowana jest woda ze środkiem myjącym o odpowiednim stężeniu (zgodnie z instrukcją mycia i wykazem środków do mycia). Temperatura wody wynosi $35 \div 40 \text{ }^\circ\text{C}$. Za pomocą pomp woda ze środkiem myjącym jest wprowadzana w ruch. Proces mycia trwa około 60 minut. Kolejnym etapem jest dokładne wypłukanie linii czystą wodą do zaniku piany w popłuczynach. Z kolei każda z komór składających się na tunel suszarniczy posiada dysze myjące, które po uruchomieniu usuwają zanieczyszczenia z elementów grzejnych (rys. 3). Dozowanie wody i mycie wnętrza tuneli jest wspomagane poprzez włączony obieg powietrza. Obecność owoców lub kropeł syropów odwadniających na grzałkach w kolejnym cyklu produkcyjnym może przyczynić się do ich przypalenia a w konsekwencji do powstania nieprzyjemnego zapachu spalenizny, którym przeniknąć może suszony półprodukt. Podczas mycia tunelu suszarniczego konieczne jest wyczyszczenie perforowanej taśmy, za pomocą której przenoszone są kolejne ilości półproduktu. W tym celu wyznaczeni pracownicy za pomocą myjek wysokociśnieniowych usuwają zanieczyszczenia kierując strumień wody na perforowaną taśmę znajdującą się w ciągłym ruchu. Proces ten jest bardzo

energo- i pracochłonny. Aby przeprowadzić proces mycia badanej linii technologicznej, potrzebne są nie mniej niż 4 osoby. O ile mycie linii wanien nie wymaga zbyt wiele czasu, to proces mycia tunelu suszarniczego trwa od 6 do 8 godzin.

Tabela 4. Zestawienie przeglądów w zakresie kontroli elementów linii technologicznej do produkcji osmo-konwekcyjnego suszu z wiśni oraz wskazania częstości ich przeprowadzania.

Table 4. A list of inspections aimed at checking the components of the technological line for the production of osmo-convection dried cherry and inspection frequency.

Urządzenie Machine	Typ interwencji / Intervention type; kontrola / check:	Częstotliwość przeglądów Inspection frequency
Tunel suszarniczy The drying tunnel SANDVIK	napędu (motoreduktor, łańcuch) drive (gear motor, chain)	1 na rok / 1 per year
	łożysk taśmy / tape bearings	1 na rok / 1 per year
	taśmy SANDVIK / SANDVIK tapes	1 na miesiąc / 1 per month
	przewodnic taśmy / tape guides	1 na miesiąc / 1 per month
	łożysk silników wentylatorów / fan motor bearings	1 na miesiąc / 1 per month
	napędu spirali (motoreduktor, łańcuch) spiral drive (gear motor, chain)	1 na rok / 1 per year
	odwadniaczy / dehydrators	1 na miesiąc / 1 per month
	szczelności instalacji parowej / steam system tightness	1 na rok / 1 per year
	wyłączników awaryjnych / emergency switches	1 na dzień / 1 per day
Linia odwadniania osmotycznego Osmotic dehydration line BOEMA	szczelności instalacji / installation tightness	1 na miesiąc / 1 per month
	pomp / pumps	na 6 miesięcy / 1 in 6 months
	elektrozaworów / solenoid valves	na 6 miesięcy / 1 in 6 months
	szafy elektrycznej / electrical cabinet	1 na rok / 1 per year
	wyłączników awaryjnych / emergency switches	1 na dzień / 1 per day

W zakładzie przeglądy maszyn są realizowane z częstotliwością określoną wymaganiami w procedurach zakładowych (raz w miesiącu, dwa razy w roku lub raz w roku) lub w razie konieczności, po wystąpieniu awarii (tab. 4). Wyjątek stanowią wyłączniki awaryjne, umieszczone w widocznych miejscach na hali produkcyjnej, które są sprawdzane codziennie. Sprawność wyłączników awaryjnych jest niezwykle ważna, gdyż przy wystąpieniu określonego niebezpieczeństwa mogącego zagrozić zdrowiu i/lub życiu znajdujących się w pobliżu pracowników, umożliwiają natychmiastowe wyłączenie zasilania linii. Warto podkreślić złożoność procesu wymiany każdego z tych elementów i ich wysokie ceny oraz konieczność zatrzymania pracy całej linii. Wymiana elementu, w zależności od rodzaju awarii, trwa od kilkunastu minut do kilku godzin. Odpowiednie korzystanie z opisywanej linii technologicznej, jak również odpowiednio przeprowadzone przeglądy pojedynczych jej elementów, są niezwykle ważne przy eksploatacji całej linii.

Awaria spowodowana źle przeprowadzonym przeglądem lub niewłaściwe korzystanie z poszczególnych elementów linii mogą prowadzić do znacznego powiększenia kosztów produkcji. W celu zminimalizowania kosztów awarii zakład regularnie przeprowadza przeglądy, a także szkoli pracowników z obsługi maszyn i urządzeń. Optymalizacja procesu produkcyjnego poprzez skrócenie czasu jego trwania, przy zachowaniu określonych właściwości produktu, pozwala na zmniejszenie kosztów produkcji a także na spełnienie umów zawartych z klientami. Zbyt długa produkcja może spowodować spadek ceny produktu spowodowany niezadowoleniem klienta lub nawet utratę klienta, wynikającą z niewywiązania się z warunków zaakceptowanej wcześniej umowy.

Wnioski

1. Typ roztworu osmotycznego nie miał istotnego wpływu na większość wskaźników wymiany masy podczas odwadniania osmotycznego wiśni. Z tego powodu i wobec aktualnych tendencji związanych z ograniczaniem spożycia cukrów, należy dążyć do zastosowania innych substancji osmotycznych, zwłaszcza koncentratów soków.
2. Podwyższenie temperatury odwadniania osmotycznego z 40 do 55 °C umożliwiała wysycenie owoców wiśni substancją osmoaktywną do poziomu ≥ 60 °Brix w krótszym czasie, średnio o 100 min.
3. Pomimo zastosowania stałych proporcji masy użytych wiśni w stosunku do masy zastosowanego roztworu osmoaktywnego (1:3) czas odwadniania wiśni w warunkach przemysłowych był znacznie dłuższy (nawet 11-krotnie), głównie ze względu na większą ilość przetwarzanego surowca (kilkaset kg), w porównaniu ze skalą laboratoryjną (0,4 kg). Im większa była wydajność odwadniania osmotycznego, jak przy zastosowaniu koncentratu soku z jabłek, tym mniejsza była wydajność suszenia konwekcyjnego.
4. Susze wiśni odznaczały się zmienioną barwą w porównaniu z barwą wiśni mrożonych. Wstępne odwadnianie wiśni w wyższej temperaturze powodowało ciemnienie barwy suszy i wzrost ich twardości. Gęstość rzeczywista suszy nie różniła się znacząco, ale ulegała obniżeniu wraz ze wzrostem temperatury roztworu osmotycznego stosowanego do wstępnej obróbki osmotycznej.
5. Badana linia technologiczna do wytwarzania suszy z mrożonych wiśni metodą osmotyczno-konwekcyjną cechuje się średnim poziomem wydajności. Do jej obsługi nie potrzeba dużej liczby osób. Przy odpowiednio zaplanowanych i przeprowadzanych przeglądach części zamienne cechują się wysoką wytrzymałością. Stan techniczny analizowanej linii technologicznej określono jako stan zdatności. Zarówno linia zbiorników służąca do odwadniania osmotycznego jak i tunel suszarniczy mogą być w pełni wykorzystywane zgodnie z ich specyfiką techniczną oraz przeznaczeniem.

Praca współfinansowana z dotacji MEiN na działalność statutową Wydziału Technologii Żywności Szkoły Głównej Gospodarstwa Wiejskiego w Warszawie oraz dotacji studiów doktoranckich mgr inż. Eweliny Masiarz.

Literatura

- [1] Grzegory P., Piotrowski D., Janiszewska-Turak E.: Wpływ sposobów suszenia w produkcji i przechowywaniu żywności na wybrane właściwości fizykochemiczne truskawek. *Przem. Spoż.*, 2019, 8(73), 46-51.
- [2] Ignaczak A., Masiarz E., Kowalska H.: Nutritional trends and methods of producing fruit and vegetable health-promoting snacks, *Postępy Techniki Przet. Spoż.*, 2021, 31/59(2), 143-154.
- [3] Ignaczak A., Masiarz E., Kowalska J., Kowalska H.: The use of osmotic dehydration and microwave-vacuum drying for the production of apple snacks. *Postępy Techniki Przet. Spoż.*, 2022, 32/61(2), 42-48.
- [4] Konopacka D., Jesionkowska K., Klewicki R., Bonazzi C.: The effect of different osmotic agent on sensory perception of osmo-treated dried fruit. *J. Hortic. Sci. Biotech.*, 2009, 84(6), 80-84.
- [5] Konopacka D., Mieszczakowska-Frac M.: Zmiany składu ilościowego i jakościowego cukrów w owocach wiśni poddanych procesowi suszenia osmotyczno-konwekcyjnego. *Zesz. Probl. Post. Nauk Roln.*, 2014, 578, 61-70.
- [6] Kowalska H.: Wpływ stężenia roztworu, temperatury i czasu na odwadnianie osmotyczne jabłek. *Żywn. Nauka. Technol. Jakość.*, 2009, 62(1), 73-85.
- [7] Kowalska H., A. Marzec, J. Kowalska, A. Ciurzyńska, K. Czajkowska, J. Cichowska, K. Rybak, A. Lenart: Osmotic dehydration of Honeoye strawberries in solutions enriched with natural bioactive molecules. *LWT - Food Sci. Technol.*, 2017, 85: 500-505.
- [8] Kowalska H., Marzec A., Kowalska J., Trych U., Masiarz E., Lenart A.: The use of a hybrid drying method with pre-osmotic treatment in strawberry bio-snack technology. *Int. J Food Eng.*, 2020, 16(1-2), 80318-80319.
- [9] Legutko S.: *Eksploatacja maszyn*. WPP, Poznań, 2007.
- [10] Piasecka E., Uczciwek M., Klewicki R.: Odwadnianie osmotyczne owoców w roztworach zawierających fruktooligosacharydy. *Żywn. Nauka Technol. Jakość*, 2009, 63, 2, 138-153.
- [11] Pietrzyk A., Uhl T.: Optymalizacja eksploatacji maszyn i urządzeń. *Diagnostyka*, 2002, 26, 29-36.
- [12] Radziejewska-Kubzdela E., Biegańska-Marecik R., Kidoń M.: Applicability of vacuum impregnation to modify physico-chemical, sensory and nutritive characteristics of plant origin products - a review. *Int. J. Mol. Sci.*, 2014, 15(9), 16577-16610.
- [13] Stępień B.: Wpływ suszenia konwekcyjnego na wybrane cechy mechaniczne i reologiczne korzenia pietruszki. *Inż. Rol.*, 2008, 103(5), 267-274.
- [14] Walkowiak-Tomeczak D.: Zmiany jakościowe śliwek (*Prunus domestica* L.) podczas przechowywania i suszenia oraz ocena właściwości prozdrowotnej suszu. *Rozprawy Naukowe. Uniwersytet Przyrodniczy Poznań*, 2013, 450.
- [15] Żuk T.: *Podstawy eksploatacji maszyn i urządzeń*. WPP, Warszawa, 1984.

AN OPERATIONAL EVALUATION OF A TECHNOLOGICAL LINE FOR INDUSTRIAL
DRIED CHERRY PRODUCTION BY THE OSMOTIC-CONVECTION METHOD,
COMPARED TO A LABORATORY SCALE

S u m m a r y

Background. Pre-osmotic dehydration of fruits may significantly reduce free water content. It also causes fruit penetration by solution components, increasing the efficiency of products manufactured by the osmotic-convection method. A study was carried out on a laboratory and industrial scale to perform an operational evaluation of a technological line for dried cherry production. Frozen pitted cherries (*Łutówka* variety) were the research material. Sucrose solution, concentrated apple juice, and sucrose and glucose-fructose syrup mixture (1:1) were used for OD; with 70 ± 2 °Brix at 40, 55 °C (an industrial scale), and 50 °C (a laboratory scale) to obtain ≥ 60 °Brix of fruit extract. Industrial convection drying was carried out at 70 °C until the water activity of < 0.6 was reached.

Results and conclusion. Increasing the osmoactive solution temperature enhanced the efficiency of a process aimed at fruit saturation by an osmotic substance and shortened the treatment time. Higher dehydration efficiency resulted in shorter convective drying time. No impact of the osmotic solution type on most mass exchange indices in dehydrated fruits was found. Despite the significantly higher process efficiency of the pre-dehydration in apple juice concentrate and drying stages, there was no significant impact of the solution type on the total process efficiency expressed as the ratio of dried mass to raw material mass. In spite of the same variants of osmotic dehydration of cherries in both production scales, the dehydration time under industrial conditions was even 11 times longer. The technical condition of the tested line was determined as operable. The osmotic dehydration and drying equipment was working correctly. The complexity of repair processes and time-consuming equipment cleaning were demonstrated.

Key words: pre-treatment, production scale, osmotic dehydration, cherry snacks, juice concentrate ☒