

Dr hab. inż. Monika JANOWICZ
Mgr inż. Dominika SIERSZAK
Mgr inż. Justyna KADZIŃSKA
Krzysztof KRÓLIKOWSKI

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

HYDROKOLOIDY W KSZTAŁTOWANIU WŁAŚCIWOŚCI ODTWARZANYCH SUSZY OWOCOWYCH NA PRZYKŁADZIE GRUSZEK®

The use of hydrocolloid solutions during the rehydration
of the dried fruits gives the desired degree of hydration®

Słowa kluczowe: hydrokoloidy, gruszki, właściwości rekonstruktoryjne, liofilizacja.

Wykorzystanie roztworów hydrokoloidów podczas rehydracji suszy pozwala uzyskać pożądany stopień ich uwodnienia. Natomiast dobierając parametry procesu można ograniczyć ubytki cennych rozpuszczalnych składników suchej substancji do otaczającego środowiska oraz kształtować właściwości gotowego produktu poprzez zastosowanie odpowiedniego hydrokoloidu.

Key words: hydrocolloids, pears, reconstructive properties, freeze drying.

While selecting the process parameters, it is possible to reduce the losses of valuable soluble components of dry substance into the surrounding environment and to form the properties of the finished product by using the appropriate hydrocolloid.

WSTĘP

Współcześnie celem wytworzenia innowacyjnych produktów spożywczych oraz poprawy jakości już istniejących artykułów żywnościowych, jest modyfikacja ich właściwości poprzez stosowanie substancji strukturotwórczych, poszukiwanie nowych, naturalnych dodatków oraz wykorzystanie metod biotechnologicznych prowadzących do uzyskania substancji kształtujących strukturę żywności. Nadanie bądź stabilizacja tekstury artykułów spożywczych możliwa jest dzięki dodatkom do żywności pełniącym funkcje: stabilizujące, zagęszczające, żelujące, emulgujące, zapobiegające pienieniu i zbrylaniu, wspomagające pienienie i inne.

Hydrokoloidy, stanowiące grupę stosowanych na szeroką skalę dodatków do żywności, charakteryzują się silnymi właściwościami zagęszczającymi, żelującymi i stabilizującymi. Wśród najczęściej wykorzystywanych w przemyśle spożywczym hydrokoloidów należy wymienić naturalne ekstrakty z nasion – gumę guar i mączkę chleba świętojańskiego oraz uzyskiwany w wyniku syntezy mikrobiologicznej ksantan. Stosując wymienione substancje dodatkowe można nadać żywności pożądane cechy tekstualne. Zastępując roztworami hydrokoloidów wodę, jako środowisko w którym następuje rekonstrukcja suszy, można uzyskać pożądany stopień ich uwodnienia, natomiast dobierając odpowiednio parametry procesu rehydracji można ograniczyć ubytki cennych

rozpuszczalnych składników suchej substancji do otaczającego środowiska.

Celem artykułu jest przedstawienie uzyskanych wyników badań dotyczących przebiegu procesu rehydracji, w roztworach wybranych hydrokoloidów, suszy z gruszek otrzymanych metodą suszenia konwekcyjnego i liofilizacji. Zakres pracy obejmował: rehydrację uzyskanych suszy w roztworach wodnych hydrokoloidów o stężeniu 0,25% oraz w wodzie destylowanej. Analizę właściwości rekonstruktoryjnych suszy gruszkowych przeprowadzono na podstawie analizy wstępnych właściwości obu rodzajów suszy owocowych takich jak aktywność wody i zawartość suchej substancji przed procesem rehydracji oraz zbadania wpływu: temperatury rehydracji (25, 40 i 60°C), rodzaju hydrokoloidu, z którego sporządzono roztwór rehydrujący (ksantan, guma guar i mączka chleba świętojańskiego), metody suszenia poprzedzającej rehydrację (suszenie konwekcyjne, liofilizacja) na wartości przyrostu masy oraz ubytku rozpuszczalnych składników suchej substancji podczas rehydracji.

MATERIAŁ I METODY

Materiał badany stanowiły gruszki zielone odmiany Pac-kham (kraj pochodzenia: Argentyna). Gruszki przed suszeniem krojono w plastry o grubości 0,7 cm za pomocą

V-hebla (szatkownicy) firmy Börner (Niemcy) oraz mocno w 0,5% roztworze kwasu cytrynowego w celu zachowania barwy. Tak przygotowany materiał poddawano procesowi suszenia. Suszenie konwekcyjne prowadzono w suszarce laboratoryjnej [1], w temperaturze powietrza suszącego 60°C i przy prędkości przepływu powietrza w kierunku równoległym do warstwy materiału wynoszącej 1,5 m/s. Suszenie sublimacyjne prowadzono w liofilizatorze Gamma 1–16 LSC firmy Christ (Martin Christ Gefriertrocknungsanlagen GmbH) pod ciśnieniem 0,520 mbar, przy ciśnieniu bezpieczeństwa 1,370 mbar przez czas 24h. Gruszki były suszone sublimacyjnie przy temperaturze półek grzejnych liofilizatora 10°C oraz dosuszane w temperaturze 30°C. Przed suszeniem próbkę zamrażano w zamrażarce szokowej Irinox (Włochy) do temperatury –40°C przez okres ok. 3h. Otrzymane tymi sposobami susze z gruszek do czasu rozpoczęcia analiz przechowywano w szczelnie zamkniętych opakowaniach z folii polipropylenowej, bez dostępu światła, w temperaturze ok. 25°C.

Aktywność wody w suszach owocowych mierzono za pomocą aparatu Rotronic Hygroskop DT o dokładności $\pm 0,001$, zgodnie z instrukcją załączoną przez producenta, w temperaturze $25 \pm 1^\circ\text{C}$. Oznaczenia wykonywano w czterech powtórzeniach.

Rehydrację suszy owocowych prowadzono w wodzie destylowanej (próba porównawcza) oraz w roztworach trzech wybranych hydrokoloidów: ksantanu, gumy guar oraz mączki chleba świętojańskiego. Guma ksananowa (kraj pochodzenia: Chiny) i guma guar (kraj pochodzenia: Indie) zakupione zostały od dystrybutora – firmy Hortimex, natomiast mączka chleba świętojańskiego (kraj pochodzenia: Hiszpania) od dystrybutora – firmy Agnex. Przygotowanie roztworów hydrokoloidów o stężeniu 0,25% polegało na rozpuszczeniu odważonej porcji proszku (będącego formą handlową hydrokoloidu) w wodzie destylowanej o temperaturze 70°C i mieszaniu za pomocą mieszadła magnetycznego przy 200 obr./min. przez 10 minut. Przygotowany roztwór, po ostygnięciu, przechowywano w temperaturze chłodniczej (5 – 7°C). Proces rehydracji badano w zakresie temperatur: 25, 40 i 60°C oraz po czasie: 1, 5, 10, 15, 30, 45 i 60 minut (w przypadku gruszek suszonych konwekcyjnie rehydrowanych w temperaturze 25°C prowadzono również przez 120 minut). Oznaczenia wykonywane były dla każdego czasu rehydracji w dwóch powtórzeniach.

Zawartość suchej substancji w suszach oraz po każdym etapie rehydracji oznaczano zgodnie z normą PN-ISO 1026:2000 w suszarce konwekcyjnej SUP-65 WG (Wamed, Polska). Oznaczenia wykonywano dla każdego czasu rehydracji w dwóch powtórzeniach.

Analizę przebiegu rehydracji suszy z gruszek przeprowadzono na podstawie: względnego przyrostu masy, względnej zmiany zawartości suchej substancji w czasie ponownego odtwarzania. Uzyskane w eksperymentach zależności przedstawiono w postaci równań kinetycznych, które pozwoliły na interpretację związku pomiędzy otrzymanymi z pomiarów wartościami zmiennych oraz umożliwiły wyznaczenie wartości równowagowych i graficzną interpretację analizowanych zależności.

Zmiany względnego przyrostu masy (1) oraz względnej zawartości suchej substancji (2) w czasie rehydracji suszy z gru-

szek zostały opisane równaniami kinetycznym w postaci [16]:

$$DM = \frac{m_\tau}{m_0} = a + b \cdot \left[1 - \frac{1}{(1+b \cdot c \cdot \tau)}\right] \quad (1)$$

gdzie: DM – względny przyrost masy,
 m_0 – masa początkowa próbki [g],
 m_τ – masa próbki po rehydracji [g],
 τ – czas rehydracji [min.],
 a, b, c – stałe równania.

$$WZ_{ss} = \frac{ss_\tau}{ss_0} = a + \frac{b}{1+b \cdot c \cdot \tau} \quad (2)$$

gdzie: WZ_{ss} – względna zawartość suchej substancji,
 ss_0 – zawartość suchej substancji w próbce analitycznej przed rehydracją [%],
 ss_τ – zawartość suchej substancji w próbce analitycznej po czasie τ rehydracji [%],
 τ – czas rehydracji [min.],
 a, b, c – stałe równania.

Na podstawie równania (1) obliczono wartości równowagowe względnego przyrostu masy $\left(\frac{m_\tau}{m_0}\right)_r = a + b$, współczynniki determinacji oraz błędy standardowe estymacji. Natomiast na podstawie wartości współczynników w przedstawionym równaniu (2) określono standardowe błędy estymacji, współczynniki determinacji oraz obliczono równowagowe względne zawartości suchej substancji $\left(\frac{ss_\tau}{ss_0}\right)_r = a$.

W celu oceny dokładności pomiarów oraz sprawdzenia czy otrzymane podczas badań wyniki różnią się od siebie statystycznie istotnie, przeprowadzono analizę statystyczną. Wykorzystano w tym celu pakiet Statistica 10.0 oraz program Table Curve 2D. Ocenę stopnia dopasowania modelu do punktów doświadczalnych przeprowadzono analizą regresji. Aby zbadać wpływ czynników (temperatury rehydracji, rodzaju mieszaniny rehydracyjnej, sposobu otrzymania suszy oraz czasu trwania rehydracji) na wartości względnego przyrostu masy i ubytku masy suchej substancji wykonano wieloczynnikową analizę wariancji. Zbadano również korelacje między wartościami przyrostu masy i ubytku suchej substancji dla każdego eksperymentu wyznaczając współczynnik korelacji r Pearsona, a zależności przedstawiono na wykresach rozrzutu. Wszystkie testy przeprowadzono przy poziomie istotności $\alpha=0,05$.

OMÓWIENIE WYNIKÓW

Woda stanowi podstawowy składnik żywności, a jej udział w produktach spożywczych waha się w zakresie od ułamka procenta do 98%. Zawartość wody w żywności określa jej właściwości fizyczne, wpływa na okres przydatności do spożycia oraz trwałość. Podczas suszenia znaczna ilość wody zostaje usunięta, co w istotnym stopniu zwiększa stabilność przechowywanej żywności wskutek zahamowania rozwoju drobnoustrojów, spowolnienia szybkości przemian enzymatycznych i nieenzymatycznych oraz zmian fizycznych takich jak zbrzylenie czy krystalizacja. Sucha masa stanowi pozostałość produktu po usunięciu z niego wody poprzez wykorzystanie do tego celu różnych procesów fizycznych, chemicznych i technologicznych [8]. Z przeprowadzonych

oznaczeń wynika, że większymi wartościami zarówno aktywności wody jak i zawartości suchej substancji (%) charakteryzował się susz gruszkowy uzyskany metodą konwekcyjną w porównaniu do liofilizacji. Wartości parametrów wynosiły odpowiednio: $0,359 \pm 0,008$ i $91,39 \pm 0,23\%$ dla suszu konwekcyjnego oraz $0,355 \pm 0,008$ i $89,39 \pm 0,41\%$ dla liofilizatu.

Względny przyrost masy jest miarą intensywności ruchu masy podczas rehydracji i w tym przypadku definiowany jest jako iloraz masy suszu po uwodnieniu i masy początkowej wysuszonego surowca. Suszenie przyczynia się do zmniejszenia zdolności wchłaniania oraz utrzymywania wody w tkance roślinnej. Im większe zmiany zajdą w tkance roślinnej, tym zdolność surowca do rehydracji będzie mniejsza [11]. Zmiany względnego przyrostu masy w czasie rehydracji suszy z gruszek zostały opisane równaniem kinetycznym [4]. Formuła empiryczna, którą aproksymowano uzyskane wyniki względnego przyrostu masy w czasie została odpowiednio dobrana [15], o czym świadczą uzyskane wysokie wartości współczynników determinacji (od 93 do 99%) dla gruszek liofilizowanych (tab. 1) oraz od 97 do 99% dla gruszek suszonych konwekcyjnie (tab. 2) i przebiegi krzywych przedstawione na rysunku 1.

Temperatura w istotny sposób wpływa na ruch masy podczas rehydracji suszonych gruszek. Zjawisko to obserwowane jest niezależnie od metody suszenia (Rys. 1). Największy względny przyrost masy uzyskano podczas rehydracji gruszek w temperaturze 60°C , najmniejszy zaś w przypadku temperatury 25°C . Zakres tych zmian po 60 minutach procesu wahał się odpowiednio dla temperatur od 2,68 do 3,47 $\text{g}/(\text{g}_{\text{ss}})$ i od 2,55 do 3,00 $\text{g}/(\text{g}_{\text{ss}})$. Stwierdzono, że wzrost temperatury rehydracji powoduje w zależności od zastosowanego medium rehydrującego zmianę względnego przyrostu masy próbki od około 5 do ponad 15% w przypadku liofilizatów i od około 21 do ponad 25% dla gruszek suszonych konwekcyjnie. Analizując proces rehydracji zarówno gruszek liofilizowanych, jak i suszonych konwekcyjnie, można stwierdzić, że wzrost temperatury intensyfikuje procesy wymiany masy, w konsekwencji czego szybciej zachodzi rekonstrukcja suszy owocowych. W każdym z eksperymentów zauważono proporcjonalnie szybszy i intensywniejszy przyrost masy próbki wraz ze wzrostem temperatury procesu, co potwierdziło wnioski do jakich doszli Krokida i Marinos-Kouris [5] badając proces rehydracji suszonych warzyw i owoców w temperaturach 40 , 60 i 80°C i potwierdziło tezę o intensyfikującym wpływie podwyższonej temperatury na szybkość transferu masy w uwadnianych suszach postawioną w badaniach Surma i wsp. [14], Kaleta i wsp. [3] oraz Markowski i Zielińska [6].

Ponadto w badaniach rehydracji suszy z gruszek stwierdzono, że, niezależnie od temperatury procesu, największe przyrosty masy charakterystyczne były dla uwadniania w wodzie destylowanej. Dodatek hydrokoloidu zmniejszał ilość dostępnej wody, co spowolniło ruch masy i go w znacznym stopniu ograniczyło, w konsekwencji czego susz nie był w stanie osiągnąć takiego samego stopnia odtworzenia jak w przypadku wody destylowanej.

Przeprowadzone eksperymenty z wykorzystaniem różnych roztworów hydrokoloidów pozwalają sformułować wniosek o istnieniu istotnego wpływu rodzaju medium rehydrującego na wartości względnych przyrostów masy w czasie

Tabela 1. Względny przyrost masy w czasie rehydracji gruszek liofilizowanych

Table 1. The relative mass growth during the rehydration of freeze-dried pears

Roztwór rehydrujący/ Rehydration solution	Temperatura/ Temperature ($^{\circ}\text{C}$)	Wartość równowagowa/ Equilibrium value (-)	Błąd standardowy estymacji/ Standard error	Współczynnik determinacji R^2 / Coefficient of determination
woda/water	25	2,929	0,126	0,9737
	40	2,935	0,188	0,9346
	60	3,351	0,082	0,9927
0,25% roztwór gumy ksantanowej/xanthan gum solution	25	2,825	0,131	0,9503
	40	2,883	0,093	0,9799
	60	2,888	0,112	0,9731
0,25% roztwór gumy guar/guar gum solution	25	2,671	0,149	0,9380
	40	2,818	0,130	0,9654
	60	3,027	0,075	0,9903
0,25% roztwór mączki chleba świętojańskiego/locust bean gum solution	25	2,839	0,108	0,9724
	40	2,850	0,088	0,9853
	60	2,959	0,090	0,9860

Źródło: Badania własne

Source: The own study

odtworzenia suszy z gruszek. Potwierdzenie powyższej tezy można odnaleźć wśród wielu naukowych publikacji. Mastrocola i wsp. [7] badali proces rehydracji liofilizowanych truskawek w roztworach cukrów o różnych stężeniach. Stwierdzili oni, że wraz ze wzrostem stężenia cukru w mieszaninie rehydrującej, wydłużał się czas niezbędny do uzyskaniażądanego stopnia odtworzenia suszy owocowych. Przyrosty masy wody były odwrotnie proporcjonalne do wartości ubytków rozpuszczalnych składników suchej substancji. Podobne wyniki otrzymali Saguy i wsp. [10], którzy badali proces uwadniania wysuszonej porowatej marchwi. Przeprowadzone badania dowiodły, że największe wartości przyrostu masy charakterystyczne są dla wody, natomiast sporządzenie roztworu cukru powoduje ograniczenie przyrostu masy w czasie proporcjonalnie do wielkości jego stężenia. Współczynnik chłonięcia płynu przez susz maleje ze wzrostem lepkości roztworu.

Reasumując, najintensywniej procesy wymiany masy zachodzą w wodzie destylowanej. Związanie wody w postaci roztworu implikuje spowolnienie dyfuzji wody w głąb wysuszonej tkanki roślinnej, czego efektem jest osłabienie właściwości rekonstrukcyjnych suszy owocowych.

Tabela 2. Względny przyrost masy w czasie rehydracji gruszek suszonych konwekcyjnie

Table 2. The relative mass growth during the rehydration of convective dried pears

Roztwór rehydrujący/ Rehydration solution	Temperatura/ Temperature (°C)	Wartość równowagowa/ Equilibrium value (-)	Błąd standardowy estymacji/ Standard error	Współczynnik determinacji R ² / Coefficient of determination
woda/water	25	4,454	0,096	0,9880
	40	3,465	0,056	0,9950
	60	4,433	0,103	0,9897
0,25% roztwór gumy ksantanowej/xanthan gum solution	25	3,335	0,102	0,9765
	40	3,304	0,093	0,9796
	60	3,703	0,071	0,9926
0,25% roztwór gumy guar/guar gum solution	25	3,812	0,086	0,9866
	40	3,352	0,077	0,9876
	60	3,886	0,088	0,9902
0,25% roztwór mączki chleba świętojańskiego/locust bean gum solution	25	4,167	0,111	0,9808
	40	3,411	0,064	0,9922
	60	3,744	0,078	0,9922

Źródło: Badania własne

Source: The own study

Przeprowadzone doświadczenia dowiodły również wpływu sposobu suszenia owoców na ruch masy podczas ich rehydracji w temperaturach 25°C oraz 40°C. Wyraźnie zaznaczyła się przewaga właściwości rekonstytucyjnych gruszek wysuszonych metodą z wykorzystaniem zjawiska sublimacji. W literaturze istnieje szereg publikacji opisujących badania, w których uzyskano podobne rezultaty. Paślawska i Pełka [9] badały właściwości rekonstytucyjne suszu truskawkowego uzyskując największe wartości względnego przyrostu masy w przypadku suszu sublimacyjnego. Stępień i wsp. badając właściwości rekonstytucyjne selera [11] i korzenia pietruszki [13] dowiedli, że susze liofilizowane chłonęły wodę intensywniej niż uzyskane metodą suszenia konwekcyjnego oraz mikrofalowo-próżniową. Jak wynika z badań prowadzonych na suszach otrzymanych różnymi metodami, liofilizacja jest korzystniejszą od innych metodą odwadniania płodów rolnych nie tylko w zakresie właściwości odżywczych, ale także rekonstytucyjnych. Stabilna i krucha struktura, zachowanie objętości i kształtu, stabilność barwy oraz wysoka intensywność i stopień rehydracji przemawiają na korzyść tej metody suszenia.

Tabela 3. Względny ubytek masy suchej substancji w czasie rehydracji gruszek liofilizowanych

Table 3. The relative change of solid content during the rehydration of freeze-dried pears

Roztwór rehydrujący/ The solution of rehydration	Temperatura/ Temperature (°C)	Wartość równowagowa/ The value of the equilibrium	Błąd standardowy estymacji/ Standard error	Współczynnik determinacji R ² / Coefficient of determination
woda/water	25	0,261	0,058	0,9634
	40	0,226	0,054	0,9713
	60	0,186	0,046	0,9812
0,25% roztwór gumy ksantanowej/xanthan gum solution	25	0,321	0,062	0,9449
	40	0,240	0,066	0,9538
	60	0,233	0,053	0,9694
0,25% roztwór gumy guar/guar gum solution	25	0,342	0,074	0,9275
	40	0,263	0,071	0,9466
	60	0,176	0,055	0,9737
0,25% roztwór mączki chleba świętojańskiego/locust bean gum solution	25	0,254	0,069	0,9450
	40	0,229	0,051	0,9753
	60	0,220	0,068	0,9548

Źródło: Badania własne

Source: The own study

Ubytek masy rozpuszczalnych składników suchej substancji w czasie rehydracji zależy głównie od struktury i składu chemicznego materiału, a także od parametrów prowadzenia procesu jego ponownego uwadniania. Przeprowadzona analiza statystyczna otrzymanych wyników wykazała istotny wpływ temperatury rehydracji na ubytek rozpuszczalnych składników suchej substancji zarówno w przypadku gruszek liofilizowanych jak i suszonych konwekcyjnie.

Wartości równowagowe względnej zmiany zawartości suchej substancji, współczynniki determinacji oraz błędy standardowe estymacji dla każdego z eksperymentów zestawiono w tabeli 3 (dla gruszek liofilizowanych) oraz 4 (dla gruszek suszonych konwekcyjnie). Uzyskano wysoki stopień dopasowania modelu do punktów doświadczalnych, o czym świadczą współczynniki determinacji rzędu 93 – 98% oraz małe standardowe błędy estymacji.

Reasumując można stwierdzić, że podwyższenie temperatury determinuje przebieg procesu uwadniania jedynie w początkowym jego etapie. Ostatecznie uzyskano zbliżone wartości ubytku suchej substancji we wszystkich prowadzonych doświadczeniach – rzędu 80%. W przypadku każdego z omówionych eksperymentów wyznaczono wartości równowagowe względnej zmiany zawartości suchej substancji w czasie rehydracji (tab. 3 i 4). Wszystkie wyznaczone wartości dokładnie odwzorowują przebieg procesu wymiany

Tabela 4. Względny ubytek masy suchej substancji w czasie rehydracji gruszek suszonych konwekcyjnie

Table 4. The relative change of solid content during the rehydration of convective dried pears

Roztwór rehydrujący/ The solution of rehydration	Temperatura/ Temperature (°C)	Wartość równowagowa/ The value of the equilibrium	Błąd standardowy estymacji/ Standard error	Współczynnik determinacji R ² / Coefficient of determination
woda/water	25	0,122	0,056	0,9692
	40	0,102	0,039	0,9877
	60	0,090	0,063	0,9698
0,25% roztwór gumy ksantanowej/ xanthan gum solution	25	0,224	0,057	0,9592
	40	0,191	0,059	0,9622
	60	0,143	0,047	0,9807
0,25% roztwór gumy guar/guar gum solution	25	0,173	0,055	0,9666
	40	0,162	0,054	0,9717
	60	0,091	0,047	0,9830
0,25% roztwór mączki chleba świętojańskiego/ locust bean gum solution	25	0,151	0,044	0,9805
	40	0,136	0,053	0,9747
	60	0,109	0,046	0,9831

Źródło: Badania własne

Source: The own study

masy zilustrowany na wykresach na rysunku 2. Przeprowadzone badania dowiodły również istotnego wpływu temperatury medium rehydrującego na wartości ubytków rozpuszczalnych składników suchej masy podczas trwania rehydracji. Wyraźnie zaznaczył się determinujący wpływ pierwszych minut procesu uwadniania na wielkość utraty składników suchej masy. Podczas rehydracji w temperaturze 25°C zaobserwowano wyraźne zmniejszenie ilości dyfundującej suchej substancji przy zastosowaniu roztworów hydrokolooidów w porównaniu z uwadnianiem prowadzonym w wodzie destylowanej.

Kaleta i wsp. [2] w badaniach nad wpływem parametrów suszenia na ubytek masy suchej substancji podczas rehydracji suszonych jabłek otrzymała analogiczną zależność szybkiej utraty składników suchej masy na początku procesu rehydracji. Intensyfikującego wpływu podwyższonej temperatury na wielkość dyfuzji rozpuszczalnych składników suchej substancji dowiedli między innymi Surma i wsp. [14] podczas rehydracji suszonej sublimacyjnie pietruszki korzeniowej oraz Markowski i Zielińska [6] w badaniach nad kinetyką uwadniania suszonej konwekcyjnie marchwi. W obydwu pracach badawczych proces rehydracji prowadzono w temperaturach 20°C oraz 90°C.

Przeprowadzone eksperymenty dowiodły wpływu rodzaju hydrokolooidu, z którego sporządzono roztwór rehydrujący,

na ilość traconych składników suchej masy suszonych gruszek. Największe ubytki suchej substancji podczas trwania rehydracji charakterystyczne były dla procesu prowadzonego w wodzie destylowanej. Dużą zbieżność parametrów ruchu masy zaobserwowano prowadząc uwadnianie w roztworach gumy guar i mączki chleba świętojańskiego. Natomiast najmniejszy ubytek suchej substancji rozpuszczalnej okazał się być typowy dla roztworu ksantanu. Zastosowanie roztworu hydrokolooidu jako środowiska, w którym następuje rekonstrukcja suszy owocowych, pozwala więc na ograniczenie strat rozpuszczalnych składników suchej substancji.

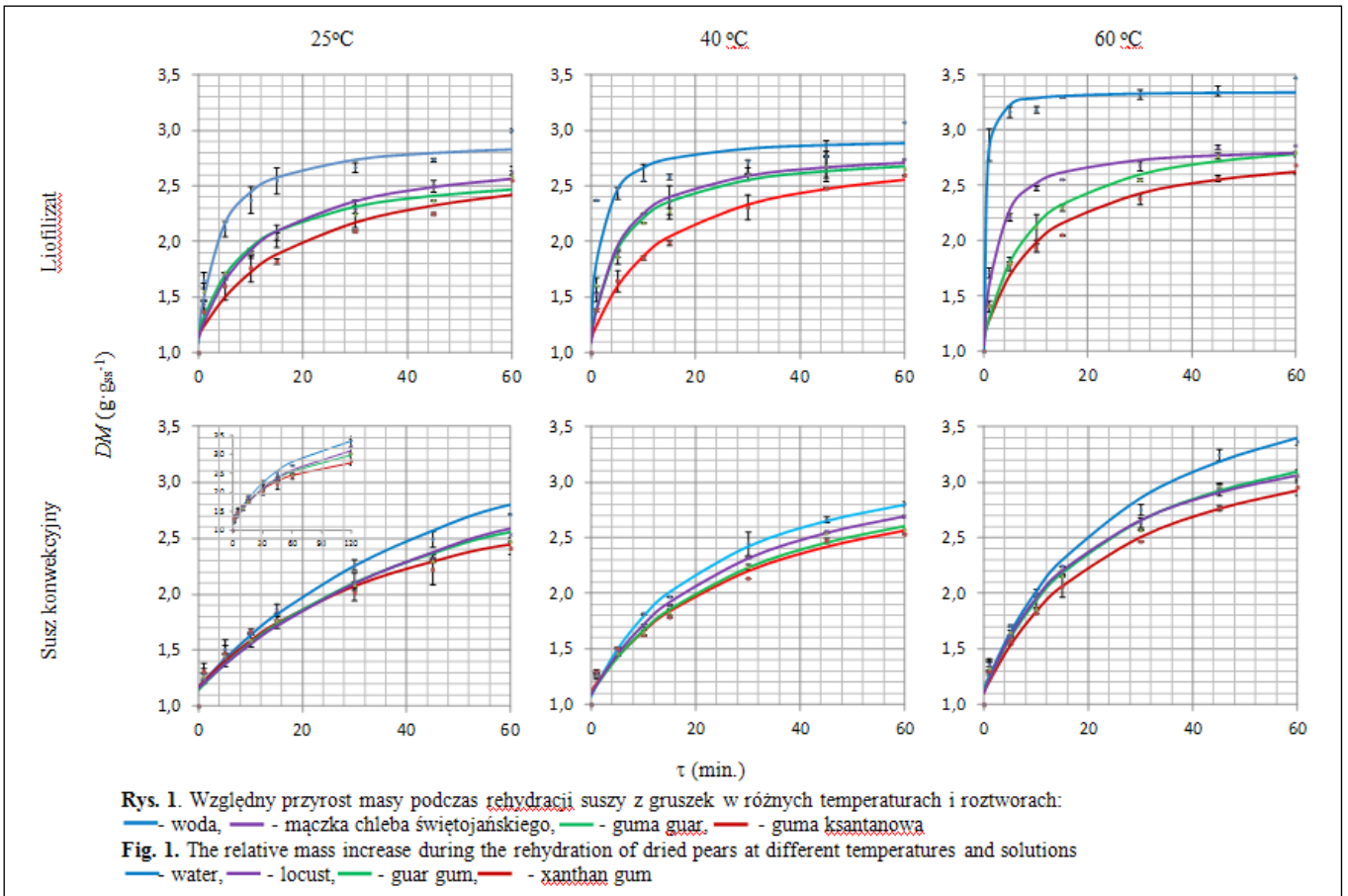
Stwierdzono również istotny wpływ metody suszenia owoców na szybkość transferu masy w suszach podczas uwadniania. Zjawisko to wyraźnie widać na przykładzie doświadczenia prowadzonego w wodzie destylowanej, gdzie transfer masy suchej substancji z gruszek liofilizowanych jest natychmiastowy, a podwyższanie temperatury rehydracji dodatkowo intensyfikuje ten efekt. Podobnych obserwacji nie zaobserwowano w przypadku gruszek suszonych konwekcyjnie, gdzie proces wymiany masy odbywał się każdorazowo równomiernie w ciągu całego czasu trwania doświadczenia. Prowadząc proces rehydracji w roztworach hydrokolooidów nie zaznaczył się wyraźny wpływ metody suszenia na wielkość ubytku masy suchej substancji. Stosując więc zamiast wody roztwór hydrokolooidu, jako mieszaninę rehydrującą, można wyraźnie ograniczyć bądź nawet całkowicie zniwelować wpływ metody suszenia na wielkość utraty składników suchej masy, niezależnie od stosowanej temperatury rehydracji.

W literaturze istnieją publikacje potwierdzające powyższą tezę. Przykładowo, w badaniach nad rehydracją marchwi, nie dowiedziono istotnego wpływu metody suszenia (sublimacyjne, konwekcyjne, mikrofalowe pod obniżonym ciśnieniem) na wielkość strat rozpuszczalnych składników suchej substancji podczas rehydracji [11]. Do podobnych wniosków doszli Kaleta i wsp. [2] badając wpływ parametrów suszenia na ubytek masy suchej substancji w czasie rehydracji suszonych jabłek. W badaniach dowiedziono, że wpływ zastosowanych metod suszenia na finalną wartość utraty suchej masy rozpuszczalnej w wyniku ich uwadniania nie jest statystycznie istotny.

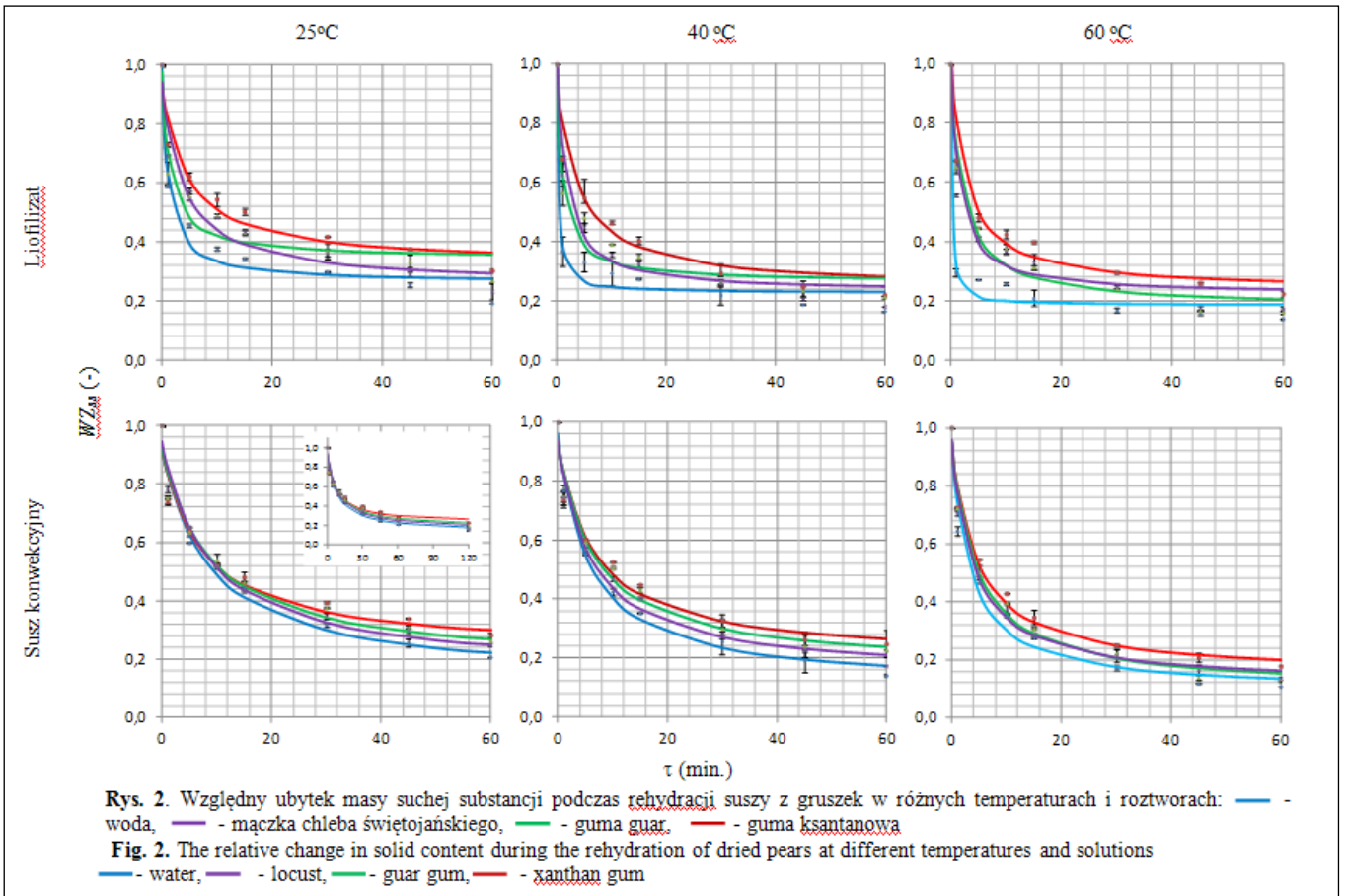
Analiza statystyczna wykazała silną ujemną korelację między wartościami względnego przyrostu masy oraz względnej zmiany zawartości suchej substancji we wszystkich przeprowadzonych eksperymentach. Współczynniki korelacji przyjmują wartości od -0,93 do -0,99. Silna zależność pomiędzy parametrami ruchu masy oznacza, że intensywnemu chłonięciu wody przez susz gruszkowy towarzyszyła równie silna dyfuzja rozpuszczalnych składników suchej substancji do otaczającego roztworu. Podczas modelowania procesu rehydracji suszy owocowych należy więc pamiętać, że wartościom przyrostu ich masy towarzyszy wprost proporcjonalna utrata suchej substancji rozpuszczalnej.

PODSUMOWANIE

Biorąc pod uwagę właściwości surowca, dąży się do ustalenia takich warunków rehydracji, które pozwolą na uzyskanie produktu jak najbardziej zbliżonego do niepoddanego suszeniu wzorca, o wysokiej jakości, odpowiedniej teksturze i właściwościach sensorycznych. Przeprowadzone badania,



Źródło: Badania własne
Source: The own study



Źródło: Badania własne
Source: The own study

mające na celu zbadanie przebiegu procesu rehydracji suszy w obecności roztworów hydrokoloidów, pozwoliły na sformułowanie następujących wniosków:

1. Przebieg procesu rehydracji jest determinowany przez temperaturę, rodzaj zastosowanego medium uwadniającego, oraz rodzaj rehydrowanego suszu. Jednocześnie zaobserwowano, że to temperatura procesu istotnie wpływa na szybkość rehydracji, która w najmniejszym stopniu zależy od rodzaju odtwarzanego suszu.
2. Wzrost temperatury rehydracji w zakresie 25 - 60°C powoduje intensyfikację ruchu masy podczas rehydracji, co skutkuje większymi przyrostami masy suszy oraz powoduje większe ubytki suchej substancji – dla temperatury 40°C i 60°C w porównaniu do 25°C (o 10 - 20 %).
3. Najintensywniejsza dyfuzja wody jak i składników suchej substancji między badanymi suszami, a otaczającym środowiskiem następuje podczas rekonstrukcji prowadzonej w wodzie destylowanej. Zbliżone rezultaty uzyskiwane są dla roztworów gumy guar i mączki chleba świętojańskiego, natomiast w sposób istotny ruch masy ogranicza roztwór ksantanu.
4. Badania przeprowadzone dla suszy liofilizowanych i konwekcyjnych wykazały, że dla suszy gruszkowych otrzymanych metodą liofilizacji rehydracja przebiega najintensywniej w ciągu pierwszych 10 minut trwania procesu. W przypadku suszy gruszkowych otrzymanych metodą konwekcyjną przebieg uwadniania tkanki przebiega równomiernie w całym rozplanowanym czasie rehydracji, co może świadczyć o wpływie struktury otrzymanych suszy z gruszek na przebieg ponownego ich odtwarzania.
5. Zastępując wodę destylowaną roztworami hydrokoloidów można w sposób znaczący ograniczyć proces utraty składników suchej masy podczas odtwarzania suszy owocowych.

Ciekawym zjawiskiem, zaobserwowanym podczas analizowania wyników badań, okazało się przecięcie się krzywych rehydracji suszonych dwoma sposobami gruszek. Prowadząc rekonstrukcję suszy w roztworach hydrokoloidów w temperaturze 60°C, po wstępnym intensywniejszym chłonięciu wody przez liofilizat, po upływie ok. 30 minut szybciej zaczął się rehydrować susz konwekcyjny. Zjawisko to można tłumaczyć uszkodzeniem tkanki roślinnej podczas wysokotemperaturowego suszenia konwekcyjnego. Inną przyczyną może być wysoka temperatura rehydracji powodująca rozluźnienie struktury suszu konwekcyjnego, co w konsekwencji prowadzi do rozwinięcia powierzchni wymiany masy poprzez jej udostępnienie. Podobne zjawisko zaobserwowano analizując krzywe rehydracji obrazujące wartości ubytków suchej substancji.

LITERATURA

- [1] **JANOWICZ M., A. LENART. 2015.** „Selected physical properties of convection dried apples after HHP treatment”. *LWT - Food Science and Technology* 63: 828-836.
- [2] **KALETA A., K. GÓRNICKI, A. CHOIŃSKA, R. WINCZENKO. 2013.** „Wpływ parametrów suszenia na ubytek masy suchej substancji podczas rehydracji suszonych jabłek”. *Inżynieria Rolnicza* 4 (174): 111-120.
- [3] **KALETA A., K. GÓRNICKI, A. WIERZBICKA, S. PACAK-ŻUK. 2008.** „Badanie przebiegu procesu rehydracji suszonych plasterków korzenia pietruszki”. *Acta Agrophysica* 12 (3): 689-698.
- [4] **KORNACKI A., M. WESOŁOWSKA-JANCZAREK. 2010.** „Comparing of coefficients R^2 and RMS used in verifications of correctness mathematical models on basic on experimental data”. *Journal of Research and Applications in Agricultural Engineering* 55 (1): 50-54.
- [5] **KROKIDA M.K., D. MARINOS-KOURIS. 2003.** „Rehydration kinetics of dehydrated products”. *Journal of Food Engineering* 57: 1-7.
- [6] **MARKOWSKI M., ZIELIŃSKA M. 2011.** „Kinetics of water absorption and soluble-solid loss of hot-air-dried carrots during rehydration”. *International Journal of Food Science & Technology* 46: 1122-1128.
- [7] **MASTROCOLA D., M. DALLA ROSA, R. MASINI. 1997.** „Freeze-dried strawberries rehydrated in su gar solutions: mass transfers and characteristics of final products”. *Food Research International* 30 (5): 359-364.
- [8] **PAŁACHA Z. 2008.** „Aktywność wody - ważny parametr trwałości żywności”. *Przemysł Spożywczy* 4: 22-26.
- [9] **PASŁAWSKA M., N. PEŁKA. 2006.** „Właściwości rekonstrukcyjne i barwa suszu truskawkowego”. *Żywność. Nauka. Technologia. Jakość* 1 (46): 93-99.
- [10] **RZAĆA M., D. WITROWA-RAJCHERT. 2007.** „Suszenie żywności w niskiej temperaturze”. *Przemysł Spożywczy* 4: 30-35.
- [11] **SAGUY I.S., A. MARABI, R. WALLACH. 2005.** „Liquid imbibition during rehydration of dry porous food”. *Innovative Food Science & Emerging Technologies* 6 (1): 37-43.
- [12] **STĘPIEŃ B. 2007.** „Wpływ metody suszenia na rehydrację selera”. *Inżynieria Rolnicza* 8 (96): 255-263.
- [13] **STĘPIEŃ B. 2008.** „Rehydration of carrot dried using various methods”. *Acta Agrophysica* 11 (1): 239-251.
- [14] **STĘPIEŃ B., M. PASŁAWSKA, B. JAŻWIEC. 2011.** „Wpływ metody suszenia na zdolność do rehydracji suszonej pietruszki”. *Inżynieria Rolnicza* 4 (129): 251-256.
- [15] **SURMA M., S. PEROŃ, M. KRAJEWSKI 2006.** „Wpływ blanszowania na rehydrację pietruszki korzeniowej suszonej sublimacyjnie”. *Inżynieria Rolnicza* 4: 223-228.
- [16] **WITROWA-RAJCHERT D. 1999.** Rehydracja jako wskaźnik zmian zachodzących w tkance roślinnej w czasie suszenia. Fundacja “Rozwój SGGW”. Warszawa.