

ANDRZEJ LENART, DARIUSZ PIOTROWSKI, JAROSŁAW DOMAŃSKI

## KINETYKA SUSZENIA JABŁEK POKRYTYCH BŁONAMI PEKTYNOWYMI

### Streszczenie

W pracy przedstawiono wyniki badań kinetyki suszenia konwekcyjnego, przy stałych parametrach procesu, surowych lub wstępnie odwadnianych osmotycznie jabłek pokrytych lub niepokrytych błonami pektynowymi. Stwierdzono, że błona z pektyny niskometylowanej na powierzchni jabłek powoduje zmniejszenie szybkości suszenia w rozpatrywanym zakresie temperatur 50–90°C bez względu na przeprowadzenie lub pominięcie odwadniania osmotycznego przed suszeniem. Natomiast błona z pektyny wysokometylowanej nie wpływa na kinetykę suszenia jabłek surowych w temperaturze 70°C, a tylko w niewielkim stopniu powoduje zwiększenie szybkości suszenia jabłek odwadnianych osmotycznie.

### Wstęp

W celu doskonalenia suszenia konwekcyjnego prowadzone są prace nad zastosowaniem obróbki wstępnej surowca przed procesem [8, 9]. Jednym z możliwych wariantów tej obróbki jest przeprowadzenie odwadniania osmotycznego. Najczęściej do tego celu stosowany jest roztwór sacharozy, uważanej za najbardziej akceptowalną przez potencjalnych konsumentów substancję osmotyczną [2]. Susze owocowe i warzywne uzyskane metodą osmotyczno-konwekcyjną z zastosowaniem sacharozy mają w niewielkim stopniu naruszoną strukturę oraz w wysokim stopniu zachowane wartości odżywcze i cechy sensoryczne, lecz charakteryzują się zbyt dużą zawartością cukru [1]. Celowe jest zatem poszukiwanie nowych technologii, które będą zapewniały wysoką jakość produktu przy niższej zawartości substancji osmotycznej. W celu ograniczenia wnikania cukru podczas odwadniania osmotycznego można zastosować błony półprzepuszczalne, które byłyby przepuszczalne dla wody, a jednocześnie stawiałyby większy opór innym składnikom [14]. Przeprowadzono już badania nad wpływem tego typu błon na odwadnianie osmotyczne [10], natomiast nieliczne są prace nad susze-

niem osmotyczno-konwekcyjnym tkanki roślinnej z użyciem błon półprzepuszczalnych [15].

Różnorodność surowców polisacharydowych i białek przydatnych do tworzenia błon i pokryć jadalnych daje szeroką możliwość kształtowania ich cech funkcjonalnych. Błony te powinny charakteryzować się takimi właściwościami, jak [14]:

- spowalnianie przenikania cieczy i gazów z produktu do środowiska i odwrotnie,
- zatrzymanie aromatów, składników smakowych itp.,
- pełnienie roli nośnika dodatków takich jak: barwniki, przyprawy, przeciwutleniające, substancje antybakteryjne lub grzybobójcze,
- bariera dla drobnoustrojów.

Błony półprzepuszczalne są uzyskiwane albo przez modyfikowanie naturalnych błon lub są wytwarzane sztucznie z produktów poddanych polimeryzacji. Można je także uzyskiwać z materiałów koloidalnych w stanie żelu. W celu wytworzenia powłok półprzepuszczalnych często stosowana jest pektyna niskometylowana, a także karboksymetyloceluloza [11]. Błony pektynowe tworzy się poprzez odparowanie wody z żelu pektynowego. Suche błony mają zastosowanie w spowalnianiu parowania wody z powierzchni produktu. Pochodne celulozy mają z reguły bardzo dobre właściwości błonotwórcze. Właściwości mechaniczne oraz przepuszczalność pary wodnej i gazów zależą od masy molowej cząsteczki substancji błonotwórczej. Wytrzymałość wzrasta, a przepuszczalność maleje wraz ze wzrostem masy molowej. Natomiast odwrotnie działa dodatek plastyfikatorów, zmniejszając wytrzymałość i podnosząc przepuszczalność [14].

Błony odpowiednie do odwadniania osmotycznego powinny mieć następujące właściwości [3]:

- dobrze utrzymywać się na wilgotnej powierzchni nawet w procesie odwadniania,
- wykazywać wytrzymałość mechaniczną, odporność na uszkodzenia i przetarcia,
- tworzyć nieprzerwane filmy łatwą techniką formowania,
- mieć wysoki współczynnik dyfuzji wody, a niski współczynnik dyfuzji substancji rozpuszczalnej,
- być stabilnymi mikrobiologicznie,
- mieć odpowiednie właściwości sensoryczne.

Do wytwarzania jadalnych błon na powierzchniach żywności stosowano roztwory następujących substancji [3, 11, 14, 16]: skrobia ziemniaczana, skrobia kukurydziana, żelatyna, amylopektyna, pektyna niskometylowana, maltodekstryna, „chitosan żel” i воск pszczeli w roztworze alkoholu.

W procesie odwadniania osmotycznego realizowanym bez sztucznych błon półprzepuszczalnych, wnikanie substancji osmotycznej do żywności jest nieuniknione [6, 7]. Można je ograniczyć poprzez pokrywanie odwadnianych kawałków (np. owoców)

błonami półprzepuszczalnymi. Camirand i wsp. [3] przeprowadzili badania na wielu rodzajach błon półprzepuszczalnych i ich wpływie na odwadnianie osmotyczne. Biorąc pod uwagę jako kryterium oceny stopień usunięcia wody oraz przyrost suchej substancji za najlepsze uznano błony z etylocelulozy, gdy do odwadniania osmotycznego użyto 96% glicerolu oraz pektynę niskometylowaną, gdy do odwadniania osmotycznego zastosowano 69% wodny roztwór sacharozy.

Wyniki uzyskane przez Ishikawę i Narę [5] wskazują, że pokrywanie powierzchni kawałków jabłek membraną chitosanową znacznie spowalnia przenikanie cukru do ich tkanki, podczas gdy praktycznie nie wpływa na szybkość usuwania z nich wody. Zaobserwowali oni, że w ciągu 24 godzin odwadniania osmotycznego w roztworze sacharozy z jabłka pokrytego błoną chitosanową wnika do roztworu 41,2% wody, a z jabłka niepokrytego błoną 47,8% wody, jeżeli początkową masę wody w materiale przyjąć za 100%. Natomiast różnice w przyroście suchej substancji wzrosły do 25% po 24 godzinach odwadniania.

### **Cel pracy**

Celem pracy było przeanalizowanie wpływu błon pektynowych na suszenie konwekcyjne jabłek wstępnie odwadnianych osmotycznie. Zakres pracy obejmował analizę wpływu pokrywania próbek substancją błonotwórczą na kinetykę suszenia jabłek odwadnianych i nie odwadnianych osmotycznie oraz analizę wpływu rodzaju pektyny na kinetykę suszenia konwekcyjnego jabłek odwadnianych i nie odwadnianych osmotycznie.

### **Metodyka pracy**

Materiałem badawczym były jabłka odmiany Idared przechowywane przez 2–3 miesiące w temperaturze 5°C przy wilgotności powietrza 80–90%. Do eksperymentów przeznaczono materiał w pełni dojrzały i zdrowy. Surowiec wstępnie myto, obierano i z miąższu jabłek wykrawano kostki sześciennie o boku 10 mm. Do badań użyto dwóch substancji błonotwórczych: pektynę wysokometylowaną wyprodukowaną przez ZPOW „Pektovin” w Jaśle, o stopniu zestyfikowania 61,9%, z której sporządzano 3% wodny roztwór oraz pektynę niskometylowaną LM-102AS wyprodukowaną przez Copenhagen Pectin As Herkules, o stopniu zestyfikowania 32%, z której przygotowywano 2,5% wodny roztwór.

Owadnianie osmotyczne prowadzono w 61,5% wodnym roztworze sacharozy, w temperaturze 30°C, przez 7200 s (2 h). Suszenie odbywało się w suszarce konwekcyjnej przy stałej prędkości przepływu powietrza wynoszącej 1,5 m/s, w temperaturach

50, 70 i 90°C. Wyznaczano ubytki wody i przyrosty suchej substancji podczas odwadniania osmotycznego w roztworze sacharozy oraz kinetyki suszenia konwekcyjnego.

Jabłka niepokryte bądź pokryte błoną z pektyny wysokometylowanej lub niskometylowanej, odwadniano metodą osmotyczno-konwekcyjną lub suszono konwekcyjnie. Suszenie prowadzono w laboratoryjnej suszarce konwekcyjnej o wymuszonej cyrkulacji powietrza. Materiał umieszczano na siatkach w komorze suszenia. Z siatkami połączona została waga techniczna, na której dokonywano pomiarów ubytku masy surowca, rejestrowanych przez system komputerowy w czasie trwania całego procesu. Czas próbkowania był stały w ciągu całego procesu i wynosił 60 s. Suszenie prowadzono w pojedynczej warstwie. W celu stworzenia jednakowych warunków aerodynamicznych, podczas suszenia na każdym z trzech sit umieszczano 105 kostek na sicie o powierzchni 0,022 m<sup>2</sup>. Eksperymenty realizowano do osiągnięcia stałego poziomu zaniedbywalnych zmian masy przez 15 minut. Przed suszeniem i po jego zakończeniu oznaczano zawartość suchej substancji w jabłkach metodą suszenia.

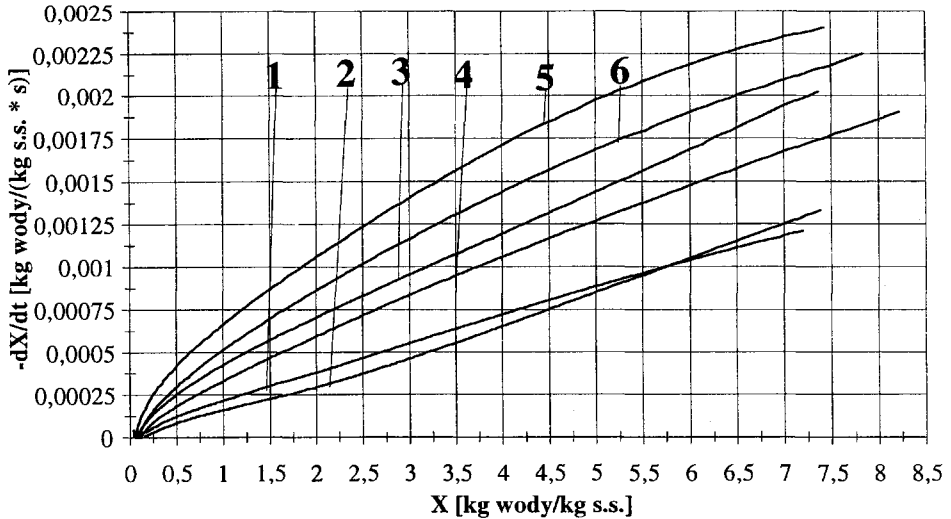
W czasie prowadzenia badań technologicznych oznaczano: ubytki masy, zawartość suchej substancji przed i po każdej operacji technologicznej oraz zmiany masy kostek jabłka podczas suszenia konwekcyjnego. Ubytki masy oznaczano na podstawie różnicy masy kostek przed i po odwadnianiu osmotycznym. Próbkę ważono z dokładnością 0,1 g. Zawartość suchej substancji oznaczano zgodnie z PN-90-A-75101/03 [12]. Do opisu procesów technologicznych korzystano z szeregu wielkości, m.in. zawartości wody w jabłkach  $X$  [kg wody/kg s.s.] i szybkości suszenia  $dX/dt$  [kg wody/(kg s.s.·s)]. Do opisu procesów technologicznych wykorzystano arkusz kalkulacyjny Excel ver. 4.0 oraz program komputerowy IzoMat ver. 1.0 [13].

## Omówienie wyników

### *Wpływ błon pektynowych na kinetykę suszenia jabłek odwadnianych i nie odwadnianych osmotycznie*

Wpływ pokrywania jabłek substancją błonotwórczą na suszenie konwekcyjne analizowano na podstawie zmian zawartości wody i szybkości suszenia (rys. 1-5). Suszenie jabłek odwadnianych osmotycznie, jak i surowych, przebiegało w okresie malejącej szybkości suszenia w całym zakresie zmian zawartości wody.

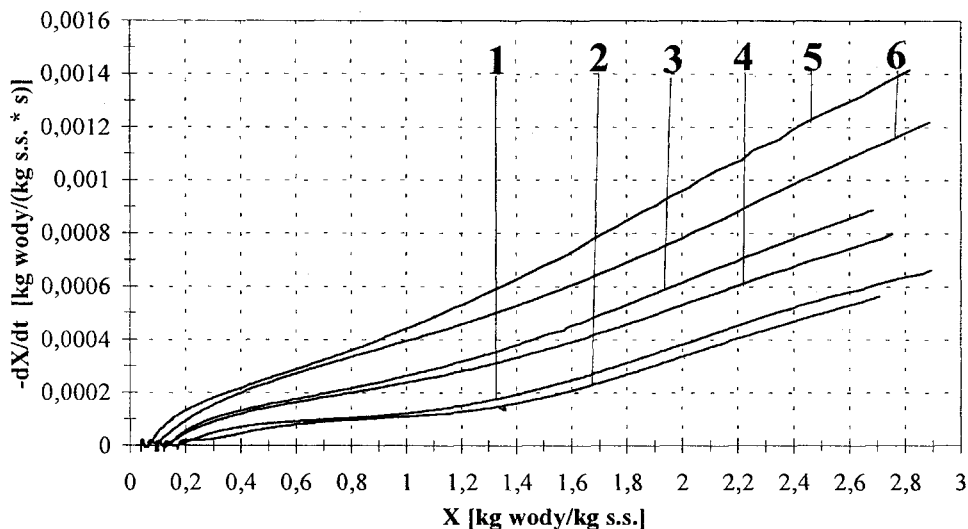
Zmiany szybkości suszenia w zależności od zawartości wody z uwzględnieniem zakresu zmienności tego parametru dla jabłek surowych pokrytych bądź niepokrytych pektyną niskometylowaną i suszonych konwekcyjnie w temperaturach 50, 70 i 90°C przedstawiono na rys. 1. Z przebiegu krzywych szybkości suszenia wynika, że pokrywanie tkanki jabłka błoną z pektyny niskometylowanej, wpływa na obniżenie szybkości usuwania wody z jabłek podczas suszenia konwekcyjnego (rys. 1, 2).



Rys. 1. Wpływ błony z pektyny niskometylowanej na szybkość suszenia konwekcyjnego jabłek surowych ( $-dX/dt$ ) w zależności od zawartości wody ( $X$ ). Temperatura suszenia: 1, 2 – 50°C; 3, 4 – 70°C; 5, 6 – 90°C. Jabłka niepokryte błoną: 1, 3, 5. Jabłka pokryte błoną z pektyny niskometylowanej: 2, 4, 6.

Fig. 1. The effect of low methyleated pectin coatings on the rate of convection drying of raw apples ( $-dX/dt$ ) depending on water content ( $X$ ). drying temperature: 1, 2 – 50°C; 3, 4 – 70°C; 5, 6 – 90°C. Uncoated apples: 1, 3, 5. Apples coated with low methyleated pectin: 2, 4, 6.

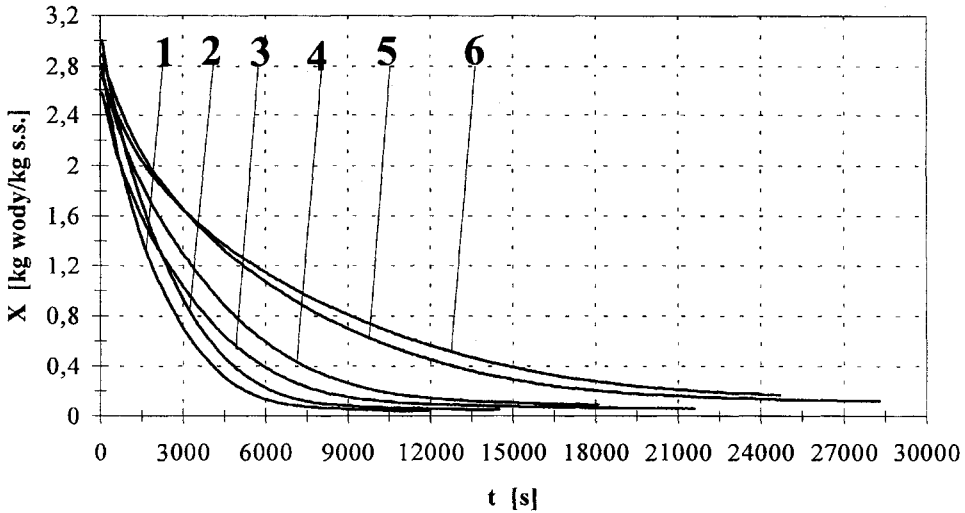
Największy wpływ zaznacza się dla temperatury suszenia 90°C i zmniejsza się on dla temperatur 70 i 50°C. W temperaturze suszenia 50°C, przy wysokich zawartościach wody, szybkość suszenia jabłek surowych pokrytych błoną była przez pewien okres wyższa od szybkości suszenia jabłek niepokrytych błoną. Taka tendencja utrzymywała się tylko przez krótki czas do osiągnięcia zawartości wody 5,25 kg wody/kg s.s., a następnie szybkość suszenia jabłek pokrytych pektyną niskometylowaną była niższa od szybkości suszenia jabłek niepokrytych pektyną. Przykładowo przy zawartości wody 2 kg wody/kg s.s. szybkość suszenia jabłek pokrytych pektyną niskometylowaną w temperaturach 50, 70 i 90°C wynosiła odpowiednio: 0,00029, 0,00060 i 0,00087 kg wody/(kg s.s.·s), a niepokrytych pektyną odpowiednio: 0,00037, 0,00070 i 0,00112 kg wody/(kg s.s.·s). Natomiast w przypadku zawartości 6 kg wody/kg s.s., przy tych samych warunkach suszenia, szybkość suszenia jabłek pokrytych błoną z pektyny niskometylowanej wynosiła odpowiednio: 0,00105, 0,00143 i 0,00190 kg wody/(kg s.s.·s), a dla jabłek niepokrytych wartości szybkości wynosiły odpowiednio: 0,00101, 0,00169 i 0,00219 kg wody/(kg s.s.·s) (rys. 1).



Rys. 2. Wpływ błony z pektyny niskometylowanej na szybkość suszenia konwekcyjnego jabłek odwadnianych osmotycznie przez 7200s (2h) w 61,5% roztworze sacharozy, temperaturze 30°C, ( $-dX/dt$ ) w zależności od zawartości wody ( $X$ ). Temperatura suszenia: 1, 2 – 50°C; 3, 4 – 70°C; 5, 6 – 90°C. Jabłka niepokryte błoną: 1, 3, 5. Jabłka pokryte błoną z pektyny niskometylowanej: 2, 4, 6.

Fig. 2. The effect of low methylated pectin coatings on the rate of convection drying of osmotically dehydrated apples during 7200 s (2h) at 61.5 % sucrose solution at 30°C ( $-dX/dt$ ) depending on water content ( $X$ ). Drying temperature: 1, 2 – 50°C; 3, 4 – 70°C; 5, 6 – 90°C. Uncoated apples: 1, 3, 5. Apples coated with low methylated pectin: 2, 4, 6.

Podobny wpływ błony z pektyny niskometylowanej, jak dla jabłek surowych, zaobserwowano dla jabłek odwadnianych osmotycznie w roztworze sacharozy (Rys. 3). We wszystkich trzech temperaturach suszenia 50, 70 i 90°C jabłka pokryte błoną pektynową potrzebowały więcej czasu, aby osiągnąć określoną zawartość wody, niż jabłka niepokryte błoną. Suszenie jabłek w temperaturach 50, 70 i 90°C pokrytych pektyną do zawartości wody 0,2 kg wody/kg s.s., w tym przypadku prowadziło do otrzymania następujących czasów suszenia: 21700 s (6 h 2 min.), 10000 s (2 h 47 min.), 6100 s (1 h 42 min.). Natomiast dla jabłek niepokrytych błoną z pektyny niskometylowanej czasy te wynosiły odpowiednio: 18000 s (5 h), 8000 s (2 h 13 min.), 5300 s (1 h 28 min.) (rys. 3).



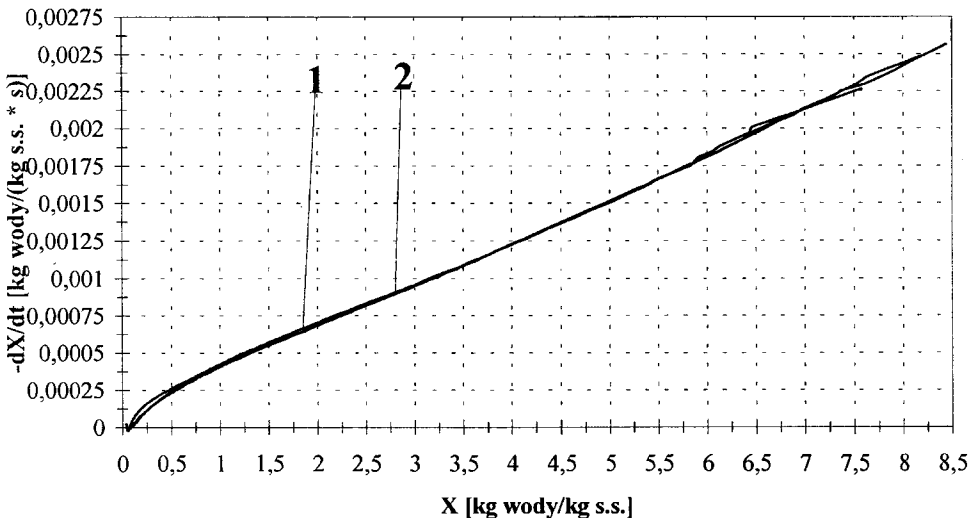
Rys. 3. Zmiana zawartości wody ( $X$ ) w czasie suszenia konwekcyjnego ( $t$ ) jabłek pokrytych i niepokrytych błoną z pektyny niskometylowanej i odwadnianych osmotycznie przez 7200 sekund (2 h) w 61,5% roztworze sacharozy, w temperaturze 30°C. Temperatura suszenia: 1, 2 – 90°C; 3, 4 – 70°C; 5, 6 – 50°C. Jabłka pokryte pektyną niskometylowaną: 2, 4, 6. Jabłka bez błony: 1, 3, 5.

Fig. 3. Change in water content ( $X$ ) during convection drying ( $t$ ) of uncoated and low methyleted pectin coated apples after osmotic dehydration for 7200 s (2h) at 61,5 % sucrose solution at 30°C. Uncoated apples 1, 3, 5. Apples coated with low methyleted pectin: 2, 4, 6.

Zmiany szybkości suszenia w zależności od zawartości wody, z uwzględnieniem zakresu zmienności tego parametru, dla jabłek odwadnianych osmotycznie w 61,5% roztworze sacharozy, pokrytych bądź niepokrytych błoną z pektyny niskometylowanej przedstawiono na rys. 2. Również w tym przypadku zaobserwowano obniżenie szybkości suszenia konwekcyjnego jabłek pokrytych pektyną niskometylowaną w stosunku do jabłek niepokrytych. Uzyskano także potwierdzenie, że warstwa błony z pektyny niskometylowanej na powierzchni materiału utrudnia proces usuwania wody podczas suszenia konwekcyjnego, bez względu na to, czy jabłka były wcześniej odwadniane czy nie. Przykładowo przy zawartości wody 2 kg wody/kg s.s. szybkość suszenia jabłek pokrytych błoną z pektyny niskometylowanej w temperaturach suszenia 50, 70 i 90°C wynosiła odpowiednio: 0,00034, 0,00054 i 0,00078 kg wody/(kg s.s.·s). Natomiast dla jabłek odwadnianych niepokrytych błoną i suszonych w tych samych warunkach szybkość suszenia wynosiła odpowiednio: 0,00038, 0,00062 i 0,00096 kg wody/(kg s.s.·s).

Suszenie konwekcyjne w temperaturze 70°C przeprowadzano także dla jabłek surowych, pokrytych bądź niepokrytych błoną z pektyny wysokometylowanej (rys. 4). Zaobserwowano, że pokrywanie jabłek surowych błoną z pektyny wysokometylowanej nie ma wpływu na kinetykę suszenia.

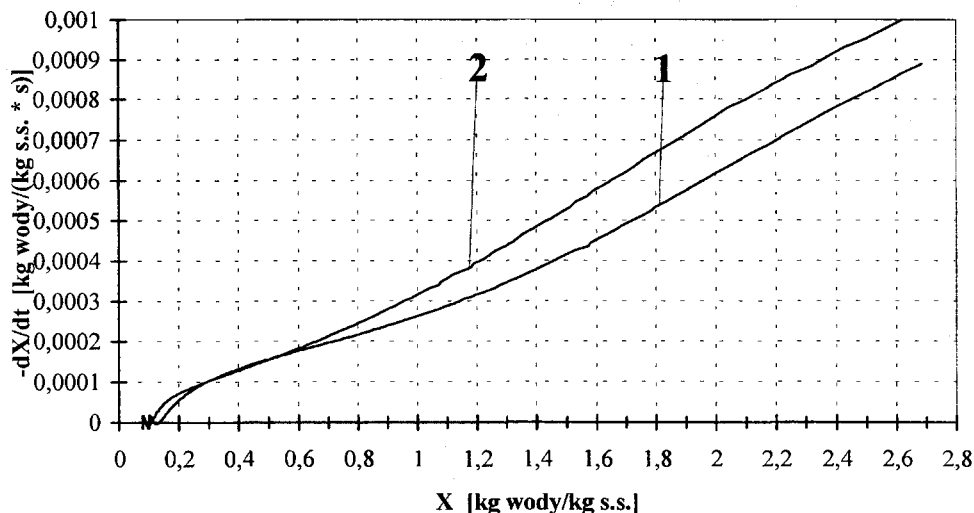
Porównując szybkość suszenia jabłek pokrytych błoną z pektyny wysokometylowanej i odwadnianych osmotycznie w roztworze sacharozy z szybkością suszenia jabłek niepokrytych błoną i odwadnianych osmotycznie stwierdzono, że jabłka pokryte błoną i odwadniane osmotycznie suszyły się z większą szybkością (rys. 5). Przykładowo przy zawartości wody 2 kg wody/kg s.s., szybkość suszenia w 70°C jabłek odwadnianych osmotycznie i pokrytych pektyną wysokometylowaną wynosiła 0,00076 kg wody/(kg s.s.·s), podczas gdy dla jabłek niepokrytych przy tej samej zawartości wody i w tych samych warunkach 0,00062 kg wody/(kg s.s.·s).



Rys. 4. Wpływ błony z pektyny wysokometylowanej na szybkość suszenia konwekcyjnego jabłek surowych ( $-dX/dt$ ) w zależności od zawartości wody ( $X$ ), przy temperaturze powietrza suszącego 70°C. Jabłko niepokryte błoną: 1. Jabłko pokryte błoną: 2.

Fig. 4. The effect of high methylated pectin coatings on the rate of convection drying of raw apples ( $-dX/dt$ ) depending on water content ( $x$ ). Air drying temperature: 70°C. Uncoated apples: 1. Coated apples: 2.





Rys. 5. Wpływ błony z pektyny wysokometylowanej na szybkość suszenia konwekcyjnego jabłek odwadnianych osmotycznie przez 7200 s (2 h), w 61,5% roztworze sacharozy, temperaturze 30°C,  $(-dX/dt)$  w zależności od zawartości wody (X) przy temperaturze powietrza suszącego 70°C. Jabłko niepokryte błoną: 1. Jabłko pokryte błoną: 2.

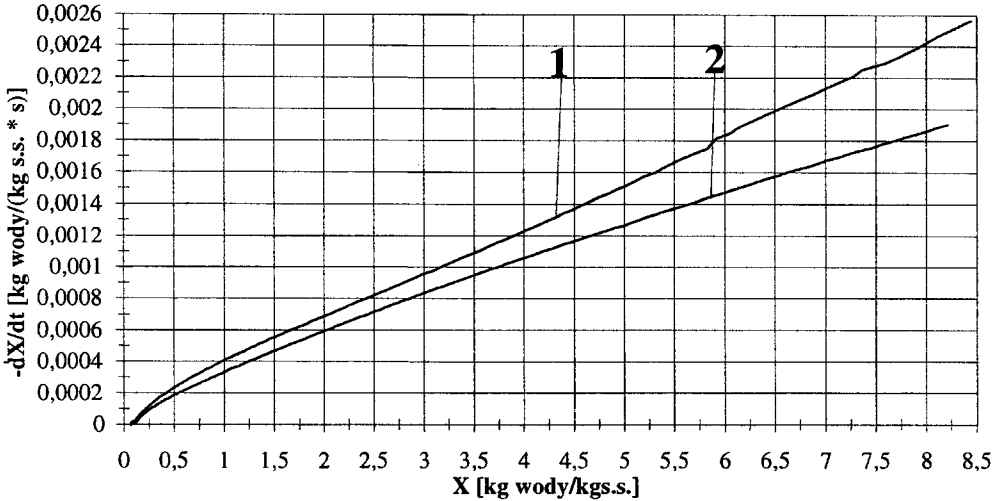
Fig 5. The effect of high methylated pectin coating on the rate of convection drying of apples, osmotically dehydrated during 7200 s (2h) at 61.5 % sucrose solution at 30°C  $(-dX/dt)$  depending on water content (X) at drying air temperature 70°C. Uncoated apples: 1. Coated apples: 2.

#### *Wpływ rodzaju błony na kinetykę suszenia konwekcyjnego jabłek odwadnianych i nie odwadnianych osmotycznie*

Wpływ rodzaju substancji błonotwórczej na kinetykę suszenia konwekcyjnego analizowano na podstawie szybkości suszenia (rys. 6, 7). W tym celu badania prowadzono na jabłkach odmiany Idared, które pokrywano błoną z pektyny niskometylowanej lub wysokometylowanej, a następnie suszono konwekcyjnie w temperaturze 70°C. Badano materiał surowy oraz odwadniany osmotycznie przez 7200 s (2 h), w temperaturze 30°C w 61,5% roztworze sacharozy.

Stwierdzono, że jabłka pokryte pektyną wysokometylowaną suszyły się z większą szybkością, niż jabłka pokryte pektyną niskometylowaną. Przy wyższych zawartościach wody różnice w szybkościach suszenia były większe i miały proporcjonalnie wraz ze zmniejszeniem się zawartości wody w suszonym materiale. Przykładowo różnica w szybkościach suszenia między jabłkami surowymi pokrytymi błoną z pektyny niskometylowanej przy zawartości wody 6 kg wody/kg s.s. wynosiła 0,00038 kg wody/(kg s.s.·s), a przy 2 kg wody/kg s.s. wynosiła 0,00010 kg wody/(kg s.s.·s) (rys. 6).

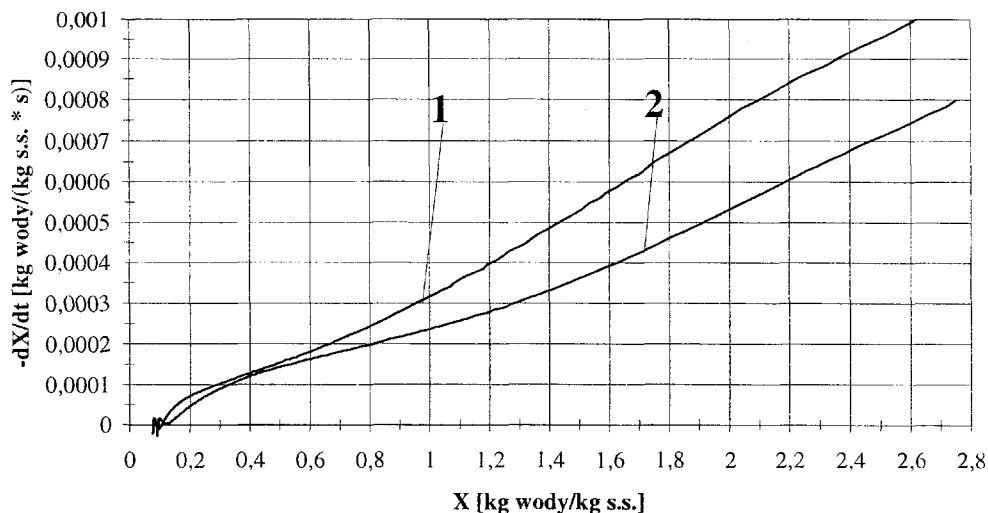
Natomiast dla jabłek odwadnianych osmotycznie różnica w szybkościach suszenia, między jabłkami pokrytymi błoną z pektyny wysokometylowanej, a jabłkami pokrytymi błoną z pektyny niskometylowanej, przy zawartości wody 2 kg wody/kg s.s. wynosiła 0,00023 kg wody/(kg s.s.·s), a przy zawartości wody 1 kg wody/kg s.s. wynosiła 0,00010 kg wody/(kg s.s.·s) (rys. 7).



Rys. 6. Wpływ rodzaju błony na szybkość suszenia konwekcyjnego jabłek surowych ( $-dX/dt$ ) w zależności od zawartości wody ( $X$ ) przy temperaturze powietrza suszącego  $70^{\circ}\text{C}$ . Rodzaj błony: 1 - jabłko pokryte pektyną wysokometylowaną, 2 - jabłko pokryte pektyną niskometylowaną.

Fig. 6. The effect of type of coating on the rate of convection drying of raw apples ( $-dX/dt$ ) depending on water content ( $X$ ) at drying air temperature  $70^{\circ}\text{C}$ . Type of coating: 1 - high methylated pectin, 2 - low methylated pectin.

Wszystkie eksperymenty przeprowadzone w celu określenia wpływu rodzaju błony na kinetykę suszenia potwierdzają, że błona z pektyny wysokometylowanej stawia mniejszy opór dla wymiany masy podczas suszenia konwekcyjnego, niż błona z pektyny niskometylowanej. W efekcie uzyskuje się wyższą szybkość suszenia prowadzącą do skrócenia czasu trwania tego procesu.



Rys. 7. Wpływ rodzaju błony na szybkość suszenia konwekcyjnego jabłek odwadnianych osmotycznie przez 7200 s (2h) w 61,5% roztworze sacharozy, temperaturze 30°C (-dX/dt) w zależności od zawartości wody, przy temperaturze powietrza suszącego 70°C. Rodzaj błony: 1- jabłko pokryte pektyną wysokometylowaną, 2- jabłko pokryte pektyną niskometylowaną

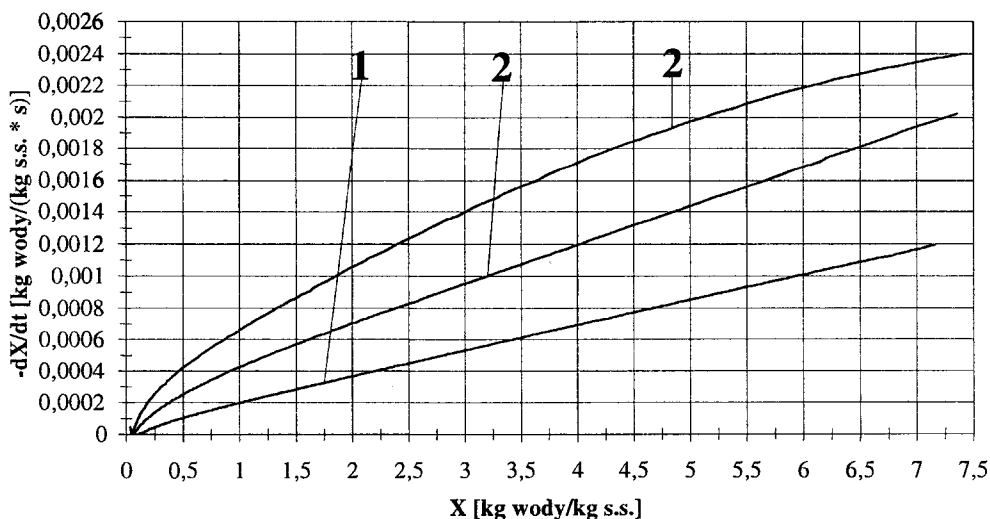
Fig. 7. The effect of type of coating on the rate of convection drying of osmotically dehydrated apples during 7200 s (2h) at 61.5 % sucrose solution at 30°C (-dX/dt) depending on water content (X) at drying air temperature 70°C. Type of coating : 1 - high methylated pectin, 2 - low methylated pectin.

#### *Wpływ temperatury na kinetykę suszenia jabłek pokrytych błoną pektynową i odwadnianych osmotycznie*

Wpływ temperatury powietrza suszącego na kinetykę suszenia jabłek pokrytych błoną pektynową oraz odwadnianych osmotycznie lub nie odwadnianych analizowano na podstawie zmian szybkości suszenia (rys. 8-11). Na podstawie szybkości suszenia jabłek surowych pokrytych lub niepokrytych błoną z pektyny niskometylowanej stwierdzono, że wraz ze wzrostem temperatury powietrza suszącego zmniejsza się czas trwania procesu. Podobny wpływ temperatury powietrza suszącego na kinetykę suszenia jabłek surowych zaobserwowano w przypadku jabłek odwadnianych osmotycznie w roztworze sacharozy.

Zmiany szybkości usuwania wody w zależności od zawartości wody, z uwzględnieniem zakresu zmienności tego parametru dla jabłek surowych pokrytych i niepokrytych błoną z pektyny niskometylowanej, następnie suszonych w temperaturach 50, 70 i 90°C, przedstawiono na rysunkach 8 i 9. Z rysunków tych wynika, że wraz ze wzrostem temperatury powietrza suszącego materiał suszy się z większą szybkością, a

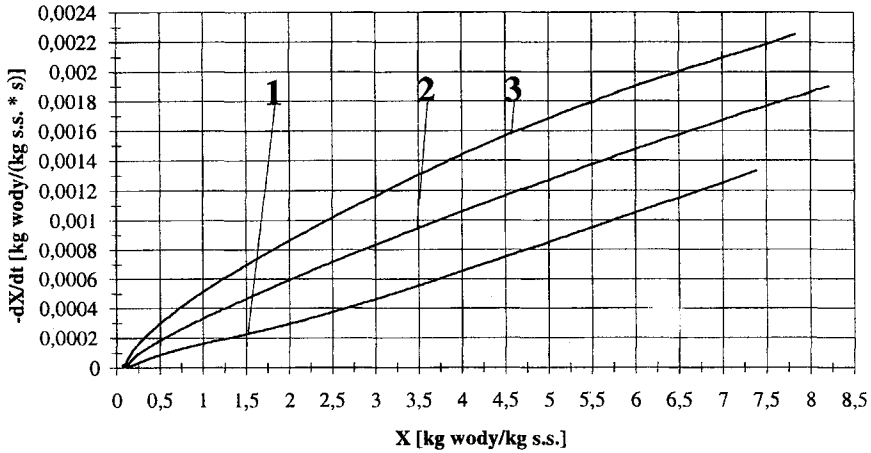
różnice w szybkościach suszenia w poszczególnych temperaturach zmniejszają się wraz z ubytkiem wody z suszonego materiału. Przykładowo różnica w szybkościach suszenia pomiędzy jabłkami surowymi pokrytymi pektyną niskometylowaną i suszonymi w temperaturze 70°C, a tymi samymi jabłkami suszonymi w temperaturze 50°C przy zawartości wody 6 kg wody/kg s.s. wynosiła 0,00040 kg wody/(kg s.s.·s), a przy zawartości wody 2 kg wody/kg s.s. wynosiła 0,00032 kg wody/(kg s.s.·s).



Rys. 8. Wpływ temperatury powietrza suszącego na szybkość suszenia konwekcyjnego jabłek surowych ( $-dX/dt$ ) w zależności od zawartości wody ( $X$ ). Temperatury suszenia: 1 - 50°C, 2 - 70°C, 3 - 90°C.

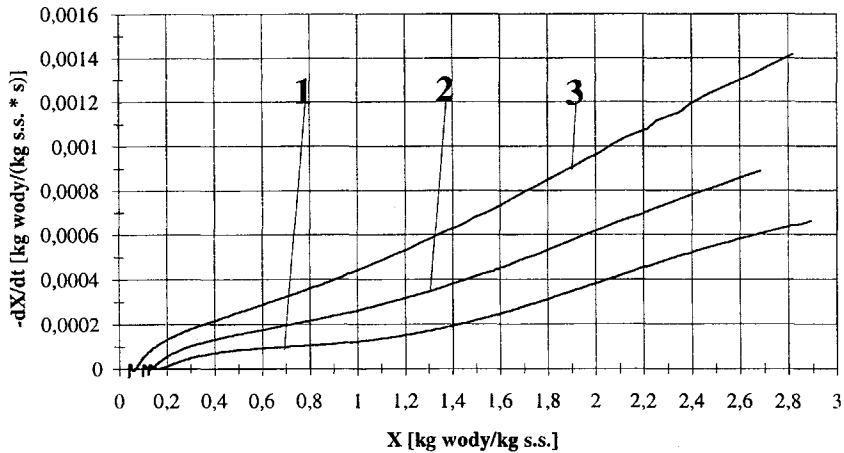
Fig. 8. The effect of drying air temperature on the rate of convection drying of raw apples ( $-dX/dt$ ) depending on water content ( $x$ ). Drying temperature: 1 - 50°C, 2 - 70°C; 3 - 90°C.

Krzywe szybkości suszenia jabłek pokrytych lub niepokrytych pektyną niskometylowaną, odwadnianych osmotycznie, a następnie suszonych konwekcyjnie w temperaturach 50, 70 i 90°C, posiadają identyczne zależności jak krzywe dla jabłek surowych (rys. 10, 11). Przykładowo różnica w szybkościach suszenia pomiędzy jabłkami pokrytymi pektyną niskometylowaną odwadnianymi i suszonymi w temperaturze 70°C, a tymi samymi jabłkami suszonymi w temperaturze 50°C przy zawartości wody 2 kg wody/kg s.s. wynosiła 0.00020 kg wody/(kg s.s.·s), a przy zawartości wody 1 kg wody/kg s.s. różnica ta wynosiła 0.00015 kg wody/(kg s.s.·s).



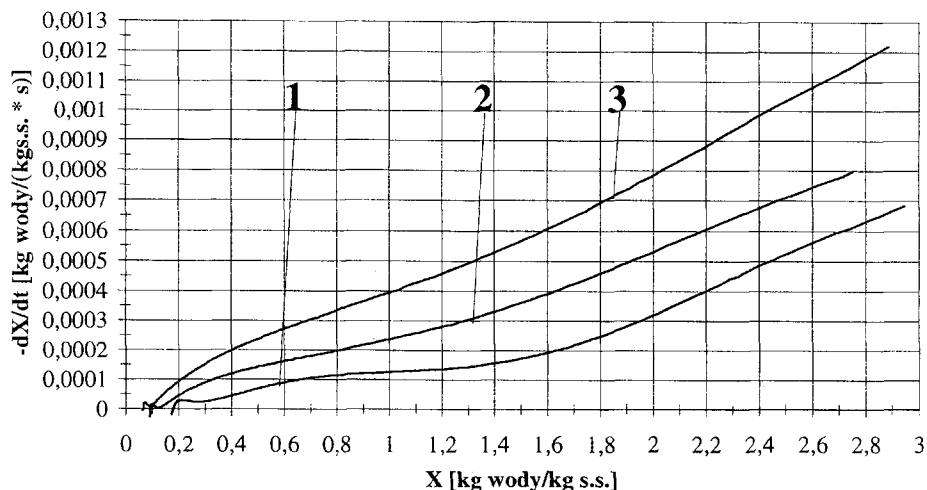
Rys. 9. Wpływ temperatury powietrza suszącego na szybkość suszenia konwekcyjnego jabłek surowych pokrytych pektyną niskometylowaną ( $-dX/dt$ ) w zależności od zawartości wody ( $X$ ). Temperatury suszenia: 1 - 50°C, 2 - 70°C, 3 - 90°C.

Fig. 9. The effect of drying air temperature on the rate of convection drying of raw apples coated with low methyleated pectin ( $-dX/dt$ ) depending on water content ( $X$ ). Drying temperature. 1 - 50°C; 2 - 70°C; 3 - 90°C.



Rys. 10. Wpływ temperatury powietrza suszącego na szybkość suszenia konwekcyjnego jabłek odwadnianych osmotycznie przez 7200 s (2h) w 61,5% roztworze sacharozy, temperaturze 30°C ( $-dX/dt$ ) w zależności od zawartości wody ( $X$ ). Temperatury suszenia: 1 - 50°C, 2 - 70°C, 3 - 90°C.

Fig. 10. The effect of drying air temperature on the rate of convection drying of apples osmotically dehydrated during 7200 s (2h) at 61.5% sucrose solution at 30°C ( $-dX/dt$ ) depending on water content ( $x$ ). Drying temperature: 1 - 50°C; 2 - 70°C; 3 - 90°C.



Rys. 11. Wpływ temperatury powietrza suszącego na szybkość suszenia konwekcyjnego jabłek pokrytych pektyną niskometylowaną odwadnianych osmotycznie przez 7200 s (2h) w 61,5% roztworze sacharozy, temperaturze 30°C (-dX/dt) w zależności od zawartości wody (X). Temperatury suszenia: 1 - 50°C, 2 - 70°C, 3 - 90°C.

Fig. 11. The effect of drying air temperature on the rate of convection drying of apples coated with low methyleated pectin, osmotically dehydrated for 7200 s (2h) at 61.5 % sucrose solution at 30°C (-dX/ dt) depending on water content (X). Drying temperature: 1 - 50°C; 2 - 70°C; 3 - 90°C.

Temperatura powietrza suszącego w sposób istotny wpływa na kinetykę suszenia konwekcyjnego. Wyraźny wpływ temperatury widać, zarówno dla jabłek pokrytych, jak i niepokrytych błoną z pektyny niskometylowanej oraz dla jabłek odwadnianych osmotycznie pokrytych lub niepokrytych błoną z tej pektyny. Podwyższenie temperatury zwiększa szybkość suszenia prowadząc do skrócenia czasu trwania tego procesu.

### Dyskusja wyników

Wszystkie przeprowadzone eksperymenty badające wpływ pokrywania jabłek błoną z pektyny niskometylowanej na kinetykę suszenia konwekcyjnego jabłek odwadnianych, jak i nie odwadnianych osmotycznie potwierdzają hipotezę o wytworzeniu dodatkowego oporu wymiany masy. Pokrywanie jabłek pektyną niskometylowaną obniża szybkość suszenia konwekcyjnego prowadząc do wydłużeniu czasu trwania tego procesu. Eksperymenty badające wpływ pokrywania jabłek pektyną wysokometylowaną na kinetykę suszenia konwekcyjnego jabłek odwadnianych i nie odwadnianych osmotycznie potwierdzają brak wpływu tej błony w przypadku jabłka surowego, zaś niewielki jej wpływ na szybkość suszenia jabłek odwadnianych osmotycznie, co prowadzi do niewielkich zmian czasu trwania tego procesu.

Błony z pektyny niskometylowanej zwiększają ubytek wody o około 7%, a zarazem ograniczają przyrost suchej substancji o 8% w porównaniu z jabłkiem niepokrytym błoną [4]. Podobne tendencje zaobserwowali Camirand i wsp. (1992) [3] przeprowadzając badania na modelu tkanki roślinnej. Uzyskali oni największy ubytek wody i najmniejszy przyrost suchej substancji, gdy zastosowali błonę z pektyny niskometylowanej podczas odwadniania osmotycznego w 69% wodnym roztworze sacharozy. Błona z pektyny wysokometylowanej w znacznym stopniu wpływała na usunięcie wody. Jej zastosowanie spowodowało większe o 50% usunięcie wody w porównaniu do jabłek niepokrytych błoną, a prawie wcale nie wpłynęło na przyrost suchej substancji [4].

Jabłka pokryte błoną z pektyny niskometylowanej suszyły się z mniejszą szybkością, w porównaniu z jabłkami niepokrytym błoną, bez względu na przeprowadzenie lub pominięcie procesu odwadniania osmotycznego. Na tej podstawie uznano, że warstwa błony z pektyny niskometylowanej będąca na powierzchni jabłek, utrudnia proces usuwania wody podczas suszenia konwekcyjnego. Podobną tendencję stwierdzili Won i wsp. (1995) [16]. Zaobserwowali oni, że błona z pektyny pokryta następnie acetylowanym monoglicerydem stawia na powierzchni tkanki jabłek dodatkowy opór dla przenikania pary wodnej.

Eksperymenty badające wpływ pokrywania jabłek pektyną wysokometylowaną na kinetykę suszenia konwekcyjnego jabłek odwadnianych i nie odwadnianych osmotycznie potwierdziły brak wpływu tej błony w przypadku jabłka surowego, a jej niewielki wpływ na szybkość suszenia jabłek odwadnianych osmotycznie, w porównaniu do jabłek niepokrytych błoną.

Jeżeli jako kryterium oddziaływania błon pektynowych na proces odwadniania osmotycznego przyjąć największe usunięcie wody oraz najmniejsze wniknięcie substancji osmotycznej, to jako lepszą spośród dwóch przebadanych błon uznano błonę z pektyny wysokometylowanej. Również Lenart i Dąbrowska [10], mimo że w swoich badaniach nad wpływem pokrywania jabłek różnymi błonami na proces odwadniania osmotycznego w roztworze sacharozy nie uwzględnili błony z pektyny niskometylowanej na tym etapie poszukiwań nowej technologii, to również jako najlepszą uznali błonę z pektyny wysokometylowanej.

Badania mające na celu określenie wpływu rodzaju błony na kinetykę suszenia konwekcyjnego wykazały, że błona z pektyny wysokometylowanej stawia mniejszy opór dla wymiany masy, niż błona z pektyny niskometylowanej przy tych samych warunkach procesu. Z tego powodu uznano ją za korzystniejszą dla suszenia.

## Wnioski

Błona z pektyny niskometylowanej na powierzchni jabłek powoduje zmniejszenie szybkości suszenia w zakresie temperatur 50-90°C bez względu na przeprowadzenie lub pominięcie odwadniania osmotycznego przed suszeniem.

Błona z pektyny wysokometylowanej nie wpływa na kinetykę suszenia jabłek surowych w temperaturze 70°C, natomiast w niewielkim stopniu powoduje zwiększenie szybkości suszenia jabłek odwadnianych osmotycznie.

Zarówno jabłka surowe, jak i odwadniane osmotycznie pokryte błoną z pektyny wysokometylowanej suszą się z większą szybkością niż jabłka pokryte błoną z pektyny niskometylowanej, przy temperaturze powietrza suszącego 70°C.

Temperatura powietrza suszącego w sposób istotny wpływa na kinetykę suszenia konwekcyjnego, zarówno jabłek surowych pokrytych i niepokrytych błoną z pektyny niskometylowanej, jak i jabłek odwadnianych osmotycznie pokrytych i niepokrytych tą samą błoną. Wyższa temperatura powietrza suszącego z zakresu 50-90°C powoduje większe różnice w szybkościach suszenia pomiędzy jabłkami pokrytymi i niepokrytymi błoną z pektyny niskometylowanej.

## LITERATURA

- [1] Alvarez C.A., Aguerre R., Gómez R., Vidales S., Alzamora S.M., Gerschenson L.N.: Air dehydration of strawberries: effect of blanching and osmotic pretreatments on the kinetics of moisture transport. *J. Food Eng.*, **25**, 2, 1995, 167-178.
- [2] Barbanti D., Mastrocola D., Pinnavaia G., Severini C., Dalla Rosa N.: Air drying of fruit: effects of different pre-treatments on drying rate and product quality. In: *Drying'91*. Eds. Mujumdar A.S., Filkova I. Elsevier Science Publishers, Amsterdam, 1991, 471-482.
- [3] Camirand W., Krochta J. M., Pavlath A.E., Wong D. and Cole M.E.: Properties of some edible carbohydrate polymer coatings for potential use in osmotic dehydration. *Carbohydrate Polymers*, **17**, 1992, 39-49.
- [4] Domański J.: Wpływ błon pektynowych na suszenie jabłek odwadnianych osmotycznie. Praca magisterska, Wydział Technologii Żywności SGGW, Warszawa 1997.
- [5] Ishikawa M. and Nara H.: Inhibition of soluble permeation in osmotic dehydration of food by chitosan membrane coating. *Nippon Suisan Gakkaishi*, **54**, 4, 1991, 767.
- [6] Lazarides H.N., Katsanidis E., Nickoladis A.: Mass transfer kinetics during osmotic preconcentration aiming at minimal solid uptake. *J. Food Eng.*, **25**, 2, 1995, 151-165.
- [7] Lenart A.: Osmotic dehydration of fruits before drying. In: *Minimal processing of foods and process optimization*. Eds. Singh R.P., Oliveira F.A.R., CRC Press, London, 1994, 87-105.
- [8] Lenart A.: Osmo-convective drying of fruits and vegetables: technology and application. *Drying Technology*, **14**, 2, 1996, 391-413.
- [9] Lenart A., Cerkowniak M.: Kinetics of convection drying of osmodehydrated apples. *Pol. J. Food Nutr. Sci.*, **5/46**, 2, 1996, 73-82.
- [10] Lenart A., Dąbrowska R.: Osmotic dehydration of apples with polysaccharide coatings. *Pol. J. Food Nutr. Sci.*, **6/47**, 4, 1997, 103-112.



- [11] Lewicki P.P., Lenart A., Paku<sup>3</sup>a W.: Influence of artificial semipermeable membranes on the process of osmotic dehydration of apples. *An. Warsaw Agricult. Univ. SGGW-AR, Food Technol. and Nutr.*, **16**, 1984, 17-24.
- [12] Polska Norma PN-90-A-75101/03; Przetwory owocowe i warzywne. Przechowywanie próbek i metody badań fizykochemicznych.
- [13] Ruciński R.: Program IzoMat wersja 1.0, Instrukcja obsługi programu IzoMat, Warszawa 1995, 1-41.
- [14] Tederko A.: Jadalne opakowania żywności. *Przem. Spoż.*, **49**, 9, 1995, 343-345.
- [15] Torreggiani D., Toledo R.T.: Simultaneous puffing and dehydration of osmotically pre-treated apples cubes in a high temperature fluidized bed (HTFB) dryer. In: *Drying'91*. Eds. Mujumdar A.S., Filkova I., Elsevier Science Publishers, Amsterdam, 1991, 483-488.
- [16] Wong D.W.S., Tillin S., Hudson J.S. and Pavlath A.E.: Gas exchange in cut apples with bilayer coatings. *J. Agric. Food Chem.*, **42**, 10, 1994, 2278-2285.

### DRYING KINETICS OF APPLES WITH PECTIN COATINGS

#### S u m m a r y

In this work results considering convection drying kinetics under constant conditions of raw and osmodehydrated apples, coated or uncoated with pectins are presented. It was found that coatings based on low methyled pectin caused decrease of drying rate for the considered temperature range 50-90° regardless of presence or absence osmotic dehydration before drying. However coatings based on high methyled pectin had not the effect on drying kinetics of raw apples dried at 70°C and caused in a small degree increase of drying rate for osmodehydrated apples. ☒