ANDRZEJ LENART, DARIUSZ PIOTROWSKI, CEZARY BERNAT

WŁAŚCIWOŚCI FIZYCZNE MARCHWI SUSZONEJ KONWEKCYJNIE W POWIETRZU O ZMIENNEJ TEMPERATURZE

Streszczenie

Podczas suszenia w suszarce komorowej wprowadzano skokowe zmiany i wymuszenia prostokątne temperatury ±20°C względem poziomu odniesienia 70°C. Oznaczano następujące właściwości fizyczne suszonej marchwi: gęstość i skurcz kostek, rehydratację, siłę potrzebną do zgniecenia próbki po rehydracji i wyciek. Obniżenie temperatury suszenia na okres jednej godziny z 70°C do 50°C spowodowało uzyskanie suszu marchwiowego o niższej gęstości, porównywalnym skurczu, o zróżnicowanej rehydracji i nieznacznie podwyższonym wycieku. Podwyższenie temperatury suszenia na okres jednej godziny z 70°C do 90°C, spowodowało uzyskanie suszu marchwiowego o wyższej gęstości, porównywalnym skurczu, niższej rehydracji, niższym wycieku niż susze otrzymane w wyniku suszenia w stałej temperaturze 70°C.

Wstęp

Marchew (*Daucus carota L.*) w części jadalnej zawiera około 89,7% wody, 8,7% węglowodanów ogółem, 1,0% białek i 0,2% tłuszczu. Zawartość mikroelementów w przeliczeniu na 100 g części jadalnej surowca kształtuje się na poziomie: wapń 36 mg, fosfor 32 mg, żelazo 0,5 mg, β-karoten 9,94 mg, witamina C 3,40 mg, witamina A 1,66 mg, tiamina 0,05 mg, ryboflawina 0,05 mg [7]. Około 50% suchej substancji zawartej w marchwi świeżej to cukry, w tym cukry proste reprezentowane przez glukozę i fruktozę stanowią od 21,3 do 27,5% suchej substancji. W przeliczeniu na 100 g suszona marchew zawiera 2,59 g potasu, 0,40 g wapnia, 0,10 g magnezu, 0,02 g żelaza [1].

O właściwościach suszonych warzyw decyduje zastosowana obróbka wstępna i metoda suszenia, parametry procesu suszenia oraz cechy suszonego materiału [9, 14]. Wybrane właściwości fizyczne suszów z marchwi uzyskanych przy stałych parame-

Prof. dr hab. A. Lenart, dr D. Piotrowski, mgr inż. C. Bernat, Katedra Inżynierii Żywności i Organizacji Produkcji, Wydział Technologii Żywności, SGGW, 02-787 Warszawa, ul. Nowoursynowska 166; e-mail: A.LENART@SGGW.WAW.PL oraz D.PIOTROWSKI@SGGW.WAW.PL.

trach procesu były rozpatrywane z uwzględnieniem czasu suszenia [10, 12, 17] lub w odniesieniu do kilku metod realizacji procesu [2, 6].

Suszenie korzeni marchwi poprzedza się wstępnymi operacjami technologicznymi takimi, jak: mycie, blanszowanie w parze lub w gorącej wodzie (z dodatkiem związków alkalicznych np. fosforan(V) sodu) i krojenie. Suszenie marchwi można prowadzić w stałej lub zmiennej temperaturze (najczęściej z zakresu 50–90°C). Zainteresowanie suszeniem owoców i warzyw ze zmianami parametrów czynnika suszącego wynika z obserwowanego wpływu na czas suszenia oraz na właściwości uzyskanego suszu [14]. Przy suszeniu marchwi zalecane jest obniżanie temperatury procesu np. z 80-85°C do 65–60°C [1] lub z 110°C do 60°C [5]. W warunkach przemysłowych suszenie marchwi w suszarce taśmowej [4] prowadzono doprowadzając pod pierwsze dwa przenośniki taśmowe powietrze o temperaturze 90°C, a pod pozostałe trzy – o temperaturze 60°C. W wyniku przeprowadzonych badań suszenia marchwi [3] zaproponowano sekwencję zmian temperatury czynnika suszącego w czasie: kolejno 92, 56 i 60°C, w przypadku czasów suszenia 28, 160 i 100 min.

Niewielka liczba informacji dostępnych w literaturze nie pozwala na wyjaśnienie wpływu zmiennych warunków procesu na wybrane właściwości i wskaźniki jakości suszu. Dlatego celem pracy była analiza procesu suszenia konwekcyjnego marchwi w powietrzu o stałej i o zmiennej temperaturze w aspekcie zmian wybranych właściwości fizycznych suszu. Zakres pracy obejmował analizę wpływu zastosowanych temperatur powietrza na gęstość i skurcz kostek przygotowanych z blanszowanej marchwi, ich rehydratację, wyciek po rehydracji i wartość siły potrzebnej do zgniecenia próbki po rehydracji.

Metodyka pracy

Materiał do badań stanowiła marchew odmiany Nantejska przechowywana w temperaturze 4°C i wilgotności powietrza 90%. Korzenie marchwi o wyrównanym kształcie i wielkości krojono w kostki o boku 10 mm i blanszowano w temperaturze 80°C przez 5 minut. Po blanszowaniu osuszony materiał układano w pojedynczej warstwie na sitach i suszono w konwekcyjnej suszarce komorowej przy obciążeniu początkowym sit około 5 kg/m^2. Marchew była suszona w temperaturach z zakresu 50–90°C przy prędkości powietrza 1,5 m/s do uzyskania stanu równowagi z suszonym powietrzem. Podczas procesu w zmiennych warunkach wprowadzano następujące wymuszenia temperatury: zmianę skokową lub impuls prostokątny, który trwał jedną godzinę. Stosowano zakres zmian temperatury powietrza ±20°C względem temperatury odniesienia 70°C.

Próbki suszów przechowywano w szczelnych opakowaniach przez 1 miesiąc w zaciemnionym pomieszczeniu w temperaturze 18°C. Po jednym dniu przechowywania oznaczano gęstość i skurcz kostek. Natomiast po jednym miesiącu analizowano: rehy-

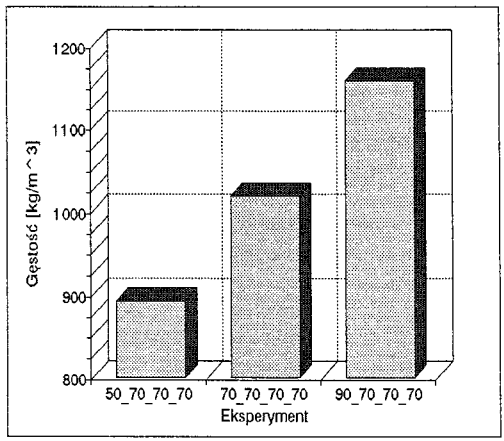
dratację, wyciek po rehydracji i wartość siły potrzebnej do zgniecenia próbki po rehydracji.

Zawartość suchej substancji oznaczano metodą suszenia zgodnie z PN-90/A-75101/03 [16]. Pomiar objętości kostek przeprowadzano zgodnie z metodyką podaną przez Mazza [11]. Rehydrację oznaczano zgodnie z metodyką podaną przez Lenarta i Iwaniuk [8]. Wartości siły potrzebnej do zgniecenia próbki po rehydracji i wyciek spowodowany tym oddziaływaniem określano, poddając zgniataniu pojedyncze kostki, w maszynie wytrzymałościowej [13].

Dla uproszczenia, eksperymenty w dalszej części pracy oznaczano następująco np.: 70_50_70_70°C – suszenie prowadzone w pierwszej godzinie w temperaturze 70°C, w drugiej godzinie wprowadzono impuls prostokątny obniżający temperaturę do poziomu 50°C, w trzeciej i czwartej – ponownie suszono w 70°C.

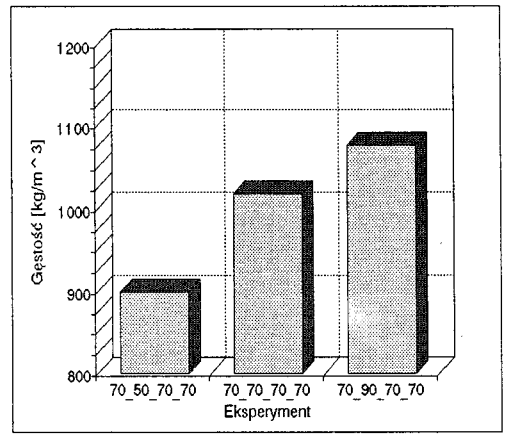
Wyniki i dyskusja

Gęstość materiału podczas suszenia jest zmienna, a wartości mieszczą się w przedziale 800 kg/m^3 – 1200 kg/m^3. Zaobserwowano tendencję do obniżania gęstości produktu przez wymuszenia ujemne i podnoszenia gęstości produktu przez wymuszenia dodatnie względem poziomu gęstości produktu suszonego w temperaturze 70°C. Tendencja ta widoczna była przy wprowadzeniu etapów z obniżonym i podwyższonym poziomem temperatury podczas pierwszej (Rys. 1), drugiej (Rys. 2), jak i trzeciej (Rys. 3) godziny procesu.



Rys. 1. Wpływ zmiany skokowej temperatury powietrza po 1 godzinie procesu na gęstość suszu marchwiowego.

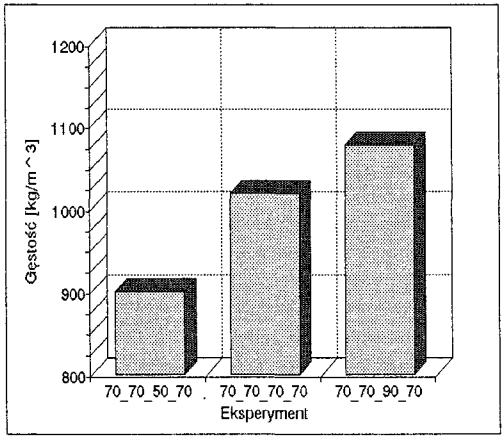
Fig. 1. Effect of air temperature step change after first hour on density of dried carrot.



Rys. 2. Wpływ impulsu prostokątnego dla temperatury powietrza podczas 2 godziny procesu na gęstość suszu marchwiowego.

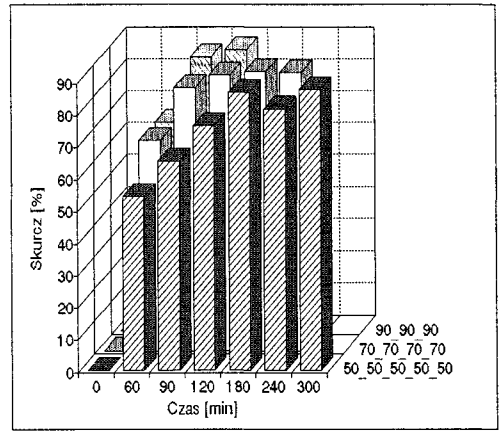
Fig. 2. Effect of air temperature rectangle pulses during second hour on density of dried carrot.

Charakter zmian gęstości suszonych materiałów różni się ze względu na zaawansowanie zmian porowatości i skurcz tkanki [9]. Obserwowane zmiany porowatości podczas suszenia jabłek są zdecydowanie większe niż w wyniku suszenia marchwi [17]. W wyniku przyrostu wolnych przestrzeni w suszonych jabłkach gęstość maleje. Podczas suszenia marchwi zjawisko to nie zachodzi tak intensywnie i gęstość marchwi rośnie. Prowadzone badania podczas suszenia konwekcyjnego marchwi w stałych warunkach [2, 12] wskazują, że gęstość nie zmienia się podczas usuwania wody do poziomu 60-80%, a po przekroczeniu wskazanego poziomu – wzrasta w zależności od stopnia usunięcia wody np. gęstość suszu uzyskanego w stałej temperaturze 70°C przy zawartości wody 0,06 kg wody/kg s.s. wynosiła 1330 kg/m^3 [12]. Istnienie wpływu przeciwstawnych wymuszeń temperatury ±20°C, wprowadzanych przy jeszcze wysokiej zawartości wody, na gęstość końcową suszu można wiązać z oddziaływaniem w wystarczająco długim czasie zdecydowanie odmiennych temperatur procesu.



Rys. 3. Wpływ impulsu prostokątnego dla temperatury powietrza podczas 3 godziny procesu na gęstość suszu marchwiowego.

Fig. 3. Effect of air temperature rectangle pulses during third hour on density of dried carrot.



Rys. 4. Wpływ stałych temperatur powietrza na zmianę skurczu suszu marchwiowego w czasie suszenia.

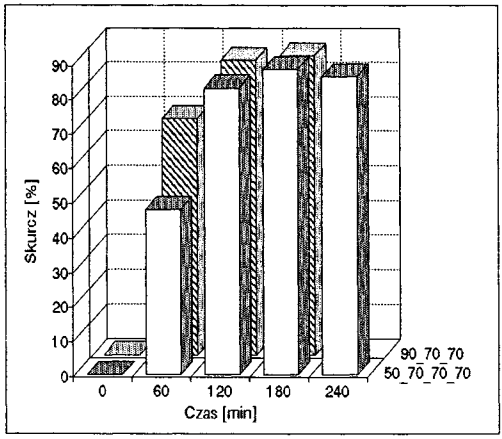
Fig. 4. Effect of air constant temperature on shrinkage of dried carrot during drying.

Skurcz podczas pierwszych 90–120 minut suszenia zmienia się gwałtownie, a występujące różnice szczególnie dobrze są widoczne w wyższych temperaturach powietrza suszącego (Rys. 4). Zmiany skurczu w dalszej fazie procesu są nieznaczne. W przypadku eksperymentów prowadzonych w stałych warunkach suszenia w momencie zakończenia doświadczeń, tj. po 300 minutach, w temperaturze 50°C, po 240 minutach w 70°C i po 150 minutach w 90°C, wielkość skurczu jest porównywalna i wynosi odpowiednio: 87,4%, 86,8%, 87,0%. Po pierwszej godzinie procesu najmniej-

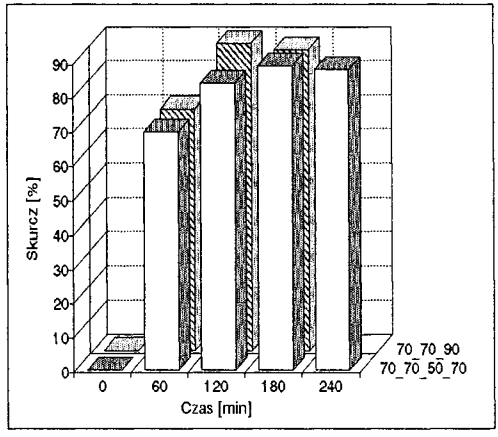
szy skurcz otrzymano w temperaturze 50°C – 54,0%, a w temperaturze 70°C i 90°C odpowiednio 65,5% i 65,2%. W następnych godzinach przyrost skurczu był coraz mniejszy (Rys. 4).

W przypadku eksperymentów ze skokową zmianą temperatury zasadnicze różnice w wielkości skurczu obserwowano po 60 minutach suszenia (Rys. 5). Proces ten w warunkach 50_70_70_70°C po jednej godzinie suszenia spowodował skurcz na poziomie 47,6%, a suszenie w warunkach 90_70_70°C skurcz na poziomie 70,6%. Po drugiej godzinie wielkości skurczu były zbliżone i wynosiły odpowiednio 82,9% i 85,4%.

Eksperymenty z impulsem prostokątnym temperatury w drugiej godzinie różnią się wyraźnie wielkością skurczu tylko w 120 minucie trwania procesu, 89,9% w przypadku kostek suszonych w warunkach 70_90_70_70°C i 83,6% w warunkach 70_50_70_70°C. Zmiany temperatury suszenia w trzeciej i następnej godzinie procesu nie mają większego wpływu na wielkość skurczu, ze względu na stosunkowo małą zawartość wilgoci w suszonym materiale (Rys. 6).



Rys. 5. Wpływ zmiany skokowej temperatury powietrza po 1 godzinie suszenia na skurcz suszu marchwiowego w czasie procesu.
Fig. 5. Effect of air temperature step change after first hour on shrinkage of dried carrot during drying.

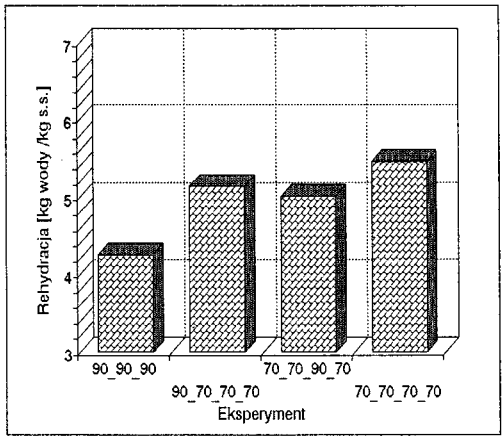


Rys. 6. Wpływ impulsów prostokątnych dla temperatury powietrza podczas 3 godziny suszenia na skurcz suszu marchwiowego w czasie procesu.
Fig. 6. Effect of air temperature rectangle pulses during third hour on shrinkage of dried carrot during drying.

Dyskutowany wpływ jest zgodny z rezultatami Lewickiego i Witrowej [10] dla marchwi. Stwierdzili oni, że obniżanie wilgotności suszu, szczególnie przy wyższych temperaturach nadmuchu powietrza, powoduje wyraźne zmniejszanie objętości oraz bardziej zaawansowaną deformacje suszonych konwekcyjnie kostek sześciennych z marchwi. Zmiany temperatury w trzeciej i czwartej godzinie ze względu na małą za-

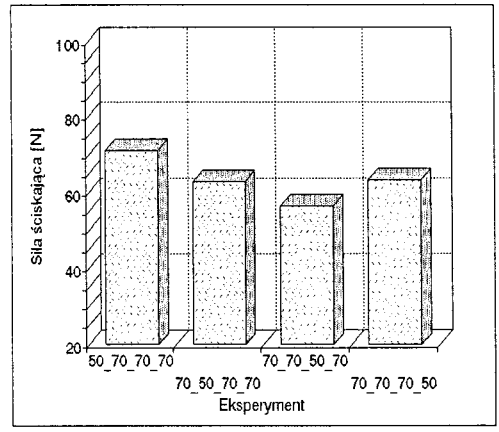
wartość wilgoci w materiale, nie mają większego wpływu na wartość skurczu. W przypadku wysuszonych jabłek dodatnie wymuszenia temperatury (+20°C) wywoływały zmniejszenie skurczu, a wymuszenia ujemne (-20°C) najczęściej powodowały zwiększenie wartości tego wskaźnika, jednak przy bardzo małym zakresie jego zmienności [15].

Na podstawie eksperymentów w stałych warunkach można stwierdzić, że wraz ze wzrostem stałej temperatury powietrza rehydracja malała. Najniższą zawartość wody po rehydracji otrzymano w przypadku suszenia w temperaturze powietrza 90°C tj. około 4,3 kg wody/kg s.s. Susze uzyskane w procesach z wymuszeniami -20°C do poziomu 50°C osiągały zróżnicowane poziomy uwodnienia, przy czym częściej uzyskano niższe wartości rehydracji niż w przypadku suszu otrzymanego w stałej temperaturze 70°C. Wprowadzone wymuszenia w przypadku temperatury do poziomu 90°C podczas pierwszej lub trzeciej godziny wywołały obniżenie rehydracji suszu marchwiowego względem wartości otrzymanych dla suszu uzyskanego w stałej temperaturze 70°C (Rys. 7).



Rys. 7. Wpływ wymuszenia +20°C dla temperatury powietrza na rehydrację suszu marchwiowego.

Fig. 7. Influence of air temperature changes +20°C on rehydration of dried carrot.



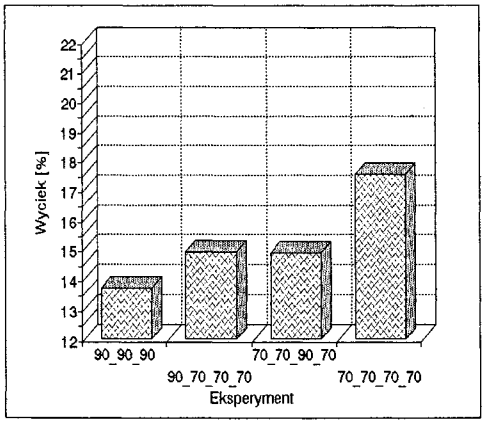
Rys. 8. Wpływ wymuszenia -20°C dla temperatury powietrza na siłę ściskającą uwodnionego suszu marchwiowego.

Fig. 8. Influence of air temperature changes -20°C on compressive force of rehydrated dried carrot.

Obniżenie temperatury w początkowej fazie procesu powoduje powolniejsze kurczenie się blanszowanej marchwi, a w efekcie lepsze zachowanie jej struktury. Zjawisko skurczu i proces zapadania się kanalików wiązek przewodzących, postępujący intensywniej w późniejszej fazie suszenia marchwi [12], przypuszczalnie można zmniejszyć poprzez wprowadzenie etapów obniżonej temperatury. Zaawansowanie zmian w strukturze uwadnianego suszu marchwiowego zależy zarówno od parametrów

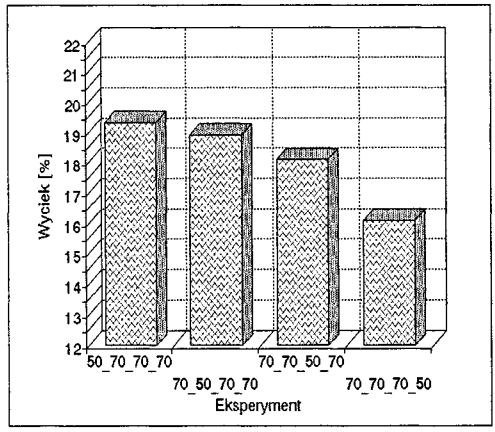
suszenia, jak i wilgotności końcowej suszu [10]. Wymuszenia temperatury ±20°C wprowadzane w kolejnych godzinach procesu wpływały na rehydrację w największym stopniu po wprowadzeniu zmian podczas dwóch pierwszych godzin suszenia. W przypadku jabłek otrzymano przeciwną zależność: wraz ze wzrostem temperatury suszenia wzrastała rehydracja [15].

Wyniki rejestrowanej siły potrzebnej do zgniecenia próbek do połowy wysokości potencjalnie są obarczone największym błędem wśród rozpatrywanych właściwości, ze względu na małą reprezentatywność kostek marchwi przy nieuniknionej heterogenności materiału (wartości odchylenia standardowego w zakresie 8,2-33,1N). Zaobserwowano tendencję do obniżania wartości rejestrowanych sił wraz z przemieszczaniem w czasie etapu o obniżonej temperaturze 50°C (Rys. 8). Wprowadzane wymuszenia dodatnie temperatury względem warunków odniesienia 70°C i 1,5 m/s powodowały prawie zawsze wzrost siły ściskającej nie tylko w przypadku uwodnionych suszów marchwiowych, lecz również w uwodnionych suszach z jabłek [15]. W tym przypadku można przyjąć, że wpływ krótkotrwałych, godzinnych, wymuszeń dodatnich temperatury nie wywoływał wyraźnie destrukcyjnego oddziaływania na właściwości mechaniczne tkanki roślinnej.



Rys. 9. Wpływ wymuszenia +20°C dla temperatury powietrza na wyciek z uwodnionego suszu marchwiowego.

Fig. 9. Influence of air temperature changes +20°C on leakage after rehydration of dried carrot.



Rys. 10. Wpływ wymuszenia -20°C dla temperatury powietrza na wyciek z uwodnionego suszu marchwiowego.

Fig. 10. Influence of air temperature changes -20°C on leakage after rehydration of dried carrot.

W doświadczeniach, w stałych warunkach najmniejszy wyciek uzyskano w przypadku marchwi suszonej w najwyższej temperaturze 90°C: 13,7%, a dla suszu otrzymanego w temperaturze 70°C rozpatrywany parametr miał wartość 17,5% (Rys. 9). Wartości wycieku dla eksperymentów z wymuszeniami dla temperatury do poziomu

90°C podczas pierwszej lub trzeciej godziny przyjęły wartości pośrednie pomiędzy wyciekiem dla suszów uzyskanych w stałych warunkach 70 i 90°C (Rys. 9).

Dla eksperymentów z wymuszeniem ujemnym obserwuje się systematyczne zmiany wartości wycieku (Rys. 10), przy czym najwyższa wartość wynosi 19,3% dla eksperymentu ze zmianą skokową temperatury z 50°C do 70°C po pierwszej godzinie procesu (50_70_70_70°C). Przy porównaniu wyników dla suszeń z przeciwstawnymi wymuszeniami, niższe wartości wycieku otrzymywano dla uwodnionych suszów, uzyskanych w procesach z godzinnym etapem podwyższonej temperatury (Rys. 9 i 10).

Ilość wchłoniętej wody podczas rehydracji miała duży wpływ na wartość wycieku. Wyższe wartości wycieku uzyskano z próbek, które charakteryzowały się większą rehydracją. Zjawisko to można wiązać ze zmianami strukturalnymi tkanki występującymi przy usuwaniu wody podczas suszenia, które wraz ze zwiększaniem odwodnienia stawały się w większym stopniu nieodwracalne.

Wnioski

1. Obniżanie temperatury suszenia, na okres jednej godziny, wywołane ujemnymi wymuszeniami z 70°C do 50°C, powoduje uzyskanie suszu marchwiowego o niższej gęstości przy porównywalnym skurczu końcowym, o zróżnicowanej rehydracji i nieznacznie podwyższonym wycieku. Podniesienie temperatury suszenia, na okres jednej godziny, wywołane dodatnimi wymuszeniami z 70°C do 90°C umożliwiło uzyskanie suszu marchwiowego o wyższej gęstości, porównywalnym skurczu, niższej rehydracji, niższym wycieku niż susze otrzymane w wyniku suszenia w powietrzu o stałej temperaturze 70°C.
2. Wpływ skokowej zmiany temperatury ±20°C w zakresie 50–90°C na wartość skurczu w czasie wystąpił w pierwszej godzinie suszenia, a zmiany temperatury w trzeciej i czwartej godzinie w niewielkim stopniu modyfikowały jego wartość.
3. Wyższe wartości rehydracji uzyskano, gdy zastosowano niższą temperaturę suszenia. Ilość wchłoniętej wody podczas rehydracji miała duży wpływ na wartość wycieku, przy czym wyższe wartości uzyskano z próbek, które charakteryzowały się większą rehydracją.

LITERATURA

[1] Bąkowski J., Michalik H.: Ocena przydatności marchwi, selerów, pietruszki, cebuli, porów i pieczarek do produkcji suszu. Biuletyn Warzywniczy, **26**, część II, 1982, 331-359.

[2] Boratyńska B.: Application of microwave assisted hot-air drying for dehydration of carrot. Materiały VIII Sympozjum Suszarnictwa, red. Lewicki P.P., Wydawnictwo SGGW, Warszawa, tom 2, 1994, 214-227.

[3] Domagała A., Gawrysiak-Witulska M., Janus P.: Wpływ niektórych czynników na jakość suszu na przykładzie suszenia marchwi. XXIV Sesja Naukowa KTiChŻ PAN. Streszczenie referatów i doniesień plakatowych., Wrocław, 1993, 126.

[4] Domagała A., Witulska M., Janus P.: Kinetics of drying of carrots in an industrial pentabelt dryer. Polish Journal of Food and Nutrition Sciences, **5/46**, (3), 1996, 121-130.

[5] Eichner K., Laible R., Wolf W.: The influence of water content and temperature on the formation of Maillard reaction intermediates during drying of plant products. In: Properties of Water in Foods in Relation to Quality and Stability, eds. Simatos D., Multon J.L., Martinus Nijhoff Publishers, Dordrecht, 1985, 191-210.

[6] Kompany E., Benchimol J., Allaf K., Ainseba B., Bouvier J.M.: Carrot dehydration for instant rehydration: dehydration kinetics and modelling. Drying Technology, **11**, (3), 1993, 451-470.

[7] Kuchanowicz H., Nadolna I., Przygoda B., Iwanow K.: Tabele wartości odżywczej produktów spożywczych. (Food Composition Tables). Instytut Żywności i Żywienia, Warszawa, Prace IŻŻ, **85**, 1998, 434.

[8] Lenart A., Iwaniuk B.: Właściwości rekonstytucyjne owoców i warzyw suszonych sposobem osmotyczno-konwekcyjnym. Przemysł Spożywczy, **97**, (1), 1993, 11-15.

[9] Lewicki P.P.: Effect of pre-drying treatment, drying and rehydration on plant tissue properties: a review. International Journal of Food Properties, **1**, (1), 1998, 1-22.

[10] Lewicki P.P., Witrowa D.: Wpływ wilgotności końcowej suszu marchwiowego na właściwości fizyczne uzyskanego produktu. Materiały V Konferencji Naukowo-Technicznej BEMS'90. Ośrodek Poligrafii SKwP, Poznań, 1990, 45-46.

[11] Mazza G.: Dehydration of carrots. Effects of pre-drying treatments on moisture transport and product quality. Journal of Food Technology, **18**, (1), 1983, 113-123.

[12] Nowak D., Witrowa-Rajchert D., Lewicki P.P.: Skurcz objętościowy i zmiany gęstości marchwi i ziemniaka. Zeszyty Problemowe Postępów Nauk Rolniczych, zeszyt 454, część II, 1998, 461-468.

[13] Piotrowski D.: Studia nad kinetyką suszenia konwekcyjnego jabłek przy stałych i zmiennych parametrach procesu. Praca doktorska, SGGW, Warszawa 1995.

[14] Piotrowski D., Lenart A.: Właściwości owoców i warzyw suszonych przy zmiennych parametrach procesu. Przemysł Fermentacyjny i Owocowo-Warzywny, **41**, (2), 1997, 24-28.

[15] Piotrowski D., Lenart A.: Suszenie jabłek przy stałych i zmiennych parametrach procesu. Właściwości fizyczne suszu. Zeszyty Problemowe Postępów Nauk Rolniczych, zeszyt 454, część II, 1998, 401-408.

[16] Polska Norma PN-90/A75101/03 Przetwory owocowe i warzywne. Przygotowanie próbek i metody badań fizykochemicznych. Oznaczanie zawartości suchej masy metodą wagową.

[17] Zogzas N.P., Maroulis Z.B., Marinos-Kouris D.: Densities, shrinkage and porosity of some vegetables during air drying. Drying Technology, **12**, (7), 1994, 1653-1666.

PHYSICAL PROPERTIES OF CONVECTIONALLY DRIED CARROT UNDER VARIABLE AIR TEMPERATURE

Summary

During drying in a cabinet drier step changes and rectangle pulses for the temperature +/-20°C from the reference level 70°C were introduced. The following physical properties of dried carrot were determined: density, shrinkage, rehydration, compressive force after rehydration of a sample, and leakage.

Decreasing for one hour the drying temperature from 70°C to 50°C resulted in dried carrot with lower density, comparable final shrinkage, various levels of rehydration, and slightly higher leakage. Increasing for one hour the drying temperature from 70°C to 90°C resulted in dried carrot with higher density, comparable final shrinkage, lower rehydration, lower leakage than carrot dried at constant temperature 70°C.