

WPLYW WYBRANYCH PARAMETRÓW SUSZENIA JABŁEK PROMIENIAMI PODCZERWONYMI NA ICH ZDOLNOŚĆ DO POCHŁANIANIA WODY

Andrzej Wesołowski

Uniwersytet Warmińsko-Mazurski w Olsztynie

Streszczenie. W pracy przedstawiono wyniki badań zdolności rehydracyjnych suszu z jabłek odmiany Lobo suszonych promieniami podczerwonymi. Zastosowano cztery różne zestawy promienników o łącznej mocy 200, 550, 900 i 1250 W każdy. Jako materiał badawczy zastosowano plastry wycięte z jabłek. Po osiągnięciu przez materiał równowagowej zawartości wody susz zanurzano w wodzie destylowanej o temperaturze 20°C. Stwierdzono, że najwyższy w badanym zakresie współczynnik rehydracji RC osiągnął materiał suszony promieniowaniem podczerwonym o mocy 550 W. Nie stwierdzono istotnej różnicy współczynnika rehydracji dla materiału suszonego promiennikami o mocy 900 W i 1250 W.

Słowa kluczowe: suszenie, promieniowanie podczerwone, rehydracja, owoce, jabłka

OZNACZENIA

δ – błąd (-); a, b, c – współczynniki równania;
 m_0 – masa początkowa (kg);
 m_{ss} – masa suchej substancji (kg);
 $m(t)$ – masa suszonego materiału (kg);
RC – współczynnik rehydracji (-);
 RC_{max} – maksymalna wartość współczynnika rehydracji (-);
u – zawartość wody (kg wody/kg suchej substancji)

WPROWADZENIE

Proces suszenia materiałów biologicznych, w tym żywnościowych pozwala na znaczne wydłużenie czasu ich bezpiecznego przechowywania i jest integralną częścią procesów związanych z ich obróbką. Mimo iż suszenie jest najczęściej stosowanym

Adres do korespondencji – Corresponding author: Andrzej Wesołowski, Katedra Inżynierii Procesów Rolniczych, Uniwersytet Warmińsko-Mazurski w Olsztynie. Andrzej Wesołowski, Katedra Inżynierii Procesów Rolniczych, Wydział Nauk Technicznych, Uniwersytet Warmińsko-Mazurski w Olsztynie, 10-718 Olsztyn, ul. Heweliusza 14, tel. 089 523 37 06, e-mail: ika@uwm.edu.pl

i najstarszym procesem umożliwiającym długotrwałe przechowywanie materiałów biologicznych, to otrzymany surowiec w postaci suszu jest w niewielkiej części wykorzystywany bezpośrednio w stanie odwodnionym. Na jakość suszu ma wpływ m.in. metoda suszenia. Najczęściej stosowaną techniką suszenia jest suszenie konwekcyjne. Jednak w przypadku owoców suszenie konwekcyjne powoduje wypaczanie, zapadanie się, uszkodzenie lub nawet zniszczenie struktury komórkowej [Ginzburg 1969].

Oprócz tego wysokie temperatury stosowane podczas suszenia konwekcyjnego powodują zmiany biochemiczne, chemiczne, utratę substancji lotnych oraz znaczny wzrost sił napięcia powierzchniowego powodujący znaczny skurcz suszarniczy [Lisowa i in. 1995] szczególnie w przypadku suszenia materiałów o wysokiej początkowej zawartości wody. Alternatywną techniką suszenia takich materiałów jest suszenie z wykorzystaniem promieniowania podczerwonego. Zasadniczą zaletą tej techniki jest korzystny, w stosunku do metod tradycyjnych, rozkład temperatury materiału. Promieniowanie wnika w głąb materiału, nagrzewając go od wewnątrz. Podczas suszenia ciał kapilarnoporowatych promieniami podczerwonymi temperatura materiału na głębokości 5–6 mm jest wyższa od temperatury na jego powierzchni [Ginzburg 1969]. Powoduje to, podobnie jak podczas suszenia mikrofalami, zwiększenie ciśnienia pary wodnej wewnątrz materiału, co z kolei polepsza jej uwalnianie na zewnątrz, gdzie ciśnienie jest niższe [Figiel i in. 2006]. Ponadto suszenie promieniami podczerwonym pozwala na skrócenie czasu procesu nawet o 50% [Nowak i Lewicki 2004] Najczęściej przed spożyciem lub wykorzystaniem w dalszych procesach technologicznych susz wymaga ponownego uwodnienia, czyli rehydracji. Jedną z najważniejszych cech rekonstrykcyjnych suszonej żywności jest jej zdolność do szybkiej i całkowitej rehydracji. Zależy ona od składu chemicznego i struktury surowca poddanego suszeniu. Na to z kolei wpływa zarówno rodzaj materiału, jak i metoda obróbki technologicznej [Lenart 1988]. W przypadku procesu suszenia zdolność wiązania i zatrzymywania wody po procesie wskazuje na stopień zniszczenia struktury komórkowej surowca [Lewicki i in. 1997]. Jako czynniki uniemożliwiające powrót materiału po procesie suszenia do pierwotnej postaci podaje się procesy zachodzące na poziomie komórkowym:

- zapadanie się ścianek komórkowych [Reeve 1943],
- utrata zdolności utrzymania procesów życiowych [Steponkus 1983],
- utrata własności osmotycznych i przepuszczalności dyferencyjnej przez błonę protoplazmatyczną [Neumann 1972; Karel 1974],
- krystalizacja żelów polisacharydowych w ścianie komórkowej [Sterling i Shimazu 1961],
- koagulacja białek protoplazmatycznych [Neumann 1972].

Do oceny procesu nawilżania stosuje się różne miary. Brak jest ujednoczonego kryterium jego oceny. Zdolność pochłaniania wody wyrażana jest jako [za Lewickim 1998]:

- stosunek masy ciała po rehydracji do masy początkowej ciała,
- stosunek masy ciała po rehydracji do masy suchej substancji,
- stosunek masy ciała po rehydracji do masy ciała przed rehydracją,
- stosunek masy wody zaabsorbowanej w procesie rehydracji do masy suchej substancji,
- stosunek zawartości wody po rehydracji do suchej masy produktu,

- stosunek różnicy masy suchej substancji przed rehydracją i masy suchej substancji po rehydracji do masy suchej substancji przed rehydracją,
- stosunek masy wody zaabsorbowanej podczas rehydracji do masy wody usuniętej podczas suszenia.

Ogólnie, jakość produktu zależy od czynników związanych z surowcem i czynników związanych z procesem technologicznym, jakiemu surowiec ten jest poddawany. W przypadku suszu wskaźnikiem jakości może być zdolność do rehydracji. Jest ona ściśle związana ze stanem struktury komórkowej materiału otrzymanego w procesie suszenia. W zależności od zastosowanej techniki suszenia zdolność nawilżania suszu zależy od różnych parametrów. Jednym z najważniejszych parametrów procesów suszenia jest temperatura procesu. Jej wzrost z jednej strony pozwala na skrócenie czasu trwania procesu, ale z drugiej powoduje pogorszenie jakości otrzymanego suszu [Singh i in. 2008]. W przypadku suszenia konwekcyjnego i sublimacyjnego wzrost temperatury czynnika suszącego powoduje osłabienie zdolności pochłaniania wody [Gawełek 2005; Rząca i Witrowa-Rajchert 2007a]. Susz otrzymany metodą mikrofalową charakteryzuje się wysoką jakością m.in. ze względu na niską temperaturę, jaką osiąga materiał podczas suszenia [Szarycz i in. 2006]. Długi czas i wysoka temperatura prowadzą m.in. do kurczenia się materiału [Rząca i Witrowa-Rajchert 2007b]. Ponieważ temperatura, jaką osiąga materiał podczas suszenia, jest ściśle związana z natężeniem promieniowania podczerwonego [Wesołowski 2003], celem podjętych badań było określenie wpływu natężenia promieniowania podczerwonego podczas suszenia jabłek na zdolność pochłaniania wody przez susz.

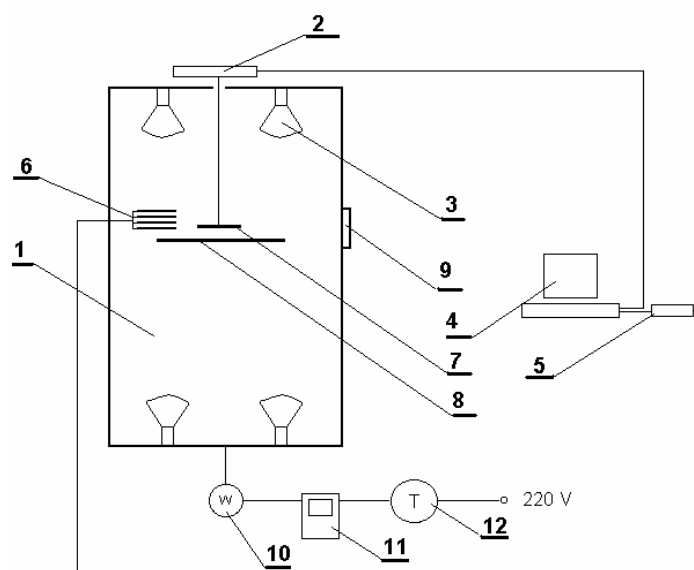
MATERIAŁ I METODY

Do badań użyto jabłek odmiany *Lobo* pochodzących z Zakładu Doświadczalnego Uniwersytetu Warmińsko-Mazurskiego w Pozortach. Jabłka przeznaczone do badań przechowywano w chłodniarce w temperaturze ok. 6°C. Jabłka wybierano losowo i krojono w plastry o grubości 5 mm. Grubość taka gwarantuje, że promieniowanie podczerwone nagrzeje cały przekrój próbki [Ginzburg 1969]. Dodatkowo zapewnia możliwość ewentualnego porównania wyników badań innych naukowców [Rząca i Witrowa-Rajchert 2007a; Lentas i Witrowa-Rajchert 2008; Stępień 2007].

Z otrzymanych plastrów wybierano te, które charakteryzowały się strukturą najbardziej zbliżoną do jednorodnej. Za pomocą formy o średnicy wewnętrznej $d = 40 \pm 0,1$ mm wycinano krążki pozbawione skórki. Tak przygotowane próbki suszono w laboratoryjnej suszarce promiennikowej jasnym promieniowaniem podczerwonym. Zastosowano zestaw promienników o łącznej mocy odpowiednio 200, 550, 900 i 1250 W (rys. 1). Dobór wartości wynikał z technicznych możliwości stanowiska badawczego. Jako źródło promieniowania podczerwonego użyto lamp promiennikowych. Proces prowadzono do chwili osiągnięcia przez materiał równowagowej zawartości wody. Przyjęto, że materiał osiągnął równowagową zawartość wody, gdy trzy kolejne odczyty nie wykazały zmiany masy materiału [Wesołowski i Markowski 2000].

Badania zdolności pochłaniania wody przez susz przeprowadzono w dwóch etapach. W pierwszym etapie użyto po 10 krążków suszu otrzymanego podczas suszenia dla

każdego zestawu promienników. Odczytów masy dokonywano co 60 minut. Krążki po zważeniu umieszczano w kuwecie z wodą destylowaną o temperaturze 20°C [Rząca i Witrowa-Rajchert 2007a; Figiel i in. 2006; Stępień 2007; Duymaz 2008] w sposób umożliwiający ich identyfikację. Do każdego pomiaru masy wyjmowano jeden, określony krążek i po zważeniu, określano jego suchą masę metodą suszarkową wg PN-71/A-75101. Etap ten pozwolił na określenie czasu, w jakim następują istotne zmiany masy podczas procesu nawilżania.



Rys. 1. Schemat stanowiska pomiarowego: 1 – komora promiennikowa, 2 – waga elektroniczna Medicat 1600MM, 3 – lampa promiennikowa, 4 – komputer, 5 – wzmacniacz AMP TPR 04, 6 – zespół termopar typu K, 7 – szalka ruchoma, 8 – szalka stała, 9 – wentylator, 10 – watomierz, 11 – licznik kilowatogodzin prądu jednofazowego, 12 – autotransformator

Fig. 1. Scheme of measuring stand: 1 – radiators chamber, 2 – Medicat 1600MM electronic balance, 3 – infrared radiator, 4 – computer, 5 – AMP TPR 04 amplifier, 6 – set of thermocouples, 7 – movable pan, 8 – stable pen, 9 – fan, 10 – wattmeter, 11 – kilowatt-hour meter, 12 – autotransformer

Drugi etap polegał na użyciu 5 krążków przygotowywanych w podany wcześniej sposób. Całkowity czas nawilżania zgodnie z wynikami otrzymanymi w etapie pierwszym wynosił 5 godzin. Czas próbkowania wynosił 15 min. Krążki po wysuszeniu i zważeniu umieszczano w kuwecie z wodą destylowaną o temperaturze 20°C, w sposób umożliwiający ich identyfikację. Przed każdym pomiarem masy krążki osuszano bibułą. Po każdym pomiarze krążki zanurzano ponownie w wodzie. Po zakończeniu procesu nawilżania określano suchą masę każdego krążka. Każdy cykl doświadczenia powtarzany był trzykrotnie. Do oceny procesu nawilżania zastosowano współczynnik rehydracji RC wyrażony jako stosunek masy wody zaabsorbowanej w procesie nawilżania do masy suchej substancji opisany zależnością:

$$RC = (m(t) - m_0) / m_{ss} \quad (1)$$

Błąd względny wyznaczono z zależności

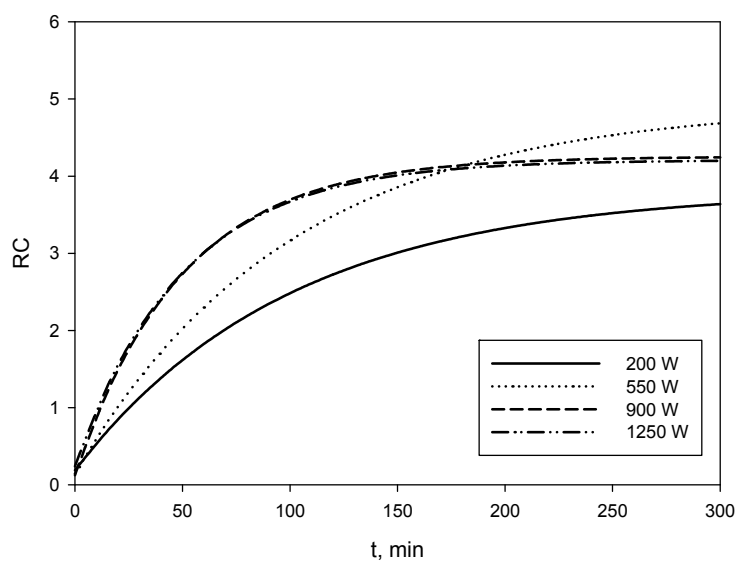
$$\delta RC / |RC| = [(\delta m(t) + \delta m_0) / |m(t) - m_0|] + \delta m_{ss} / |m_{ss}| \quad (2)$$

Otrzymane wyniki poddano analizie statystycznej przy użyciu pakietu Statistica 8 przy poziomie istotności $p \leq 0,05$.

WYNIKI BADAŃ I ICH ANALIZA

Uzyskane wyniki pozwoliły na wyznaczenie krzywych przedstawiających zmiany współczynnika rehydracji w trakcie trwania procesu nawilżania ze współczynnikiem korelacji nie mniejszym niż $r = 0,992$. Krzywe zaprezentowane na rysunku 2 opisują tę zależność zgodnie z równaniem:

$$RC = a \cdot (b - \exp(-c \cdot t)) \quad (3)$$



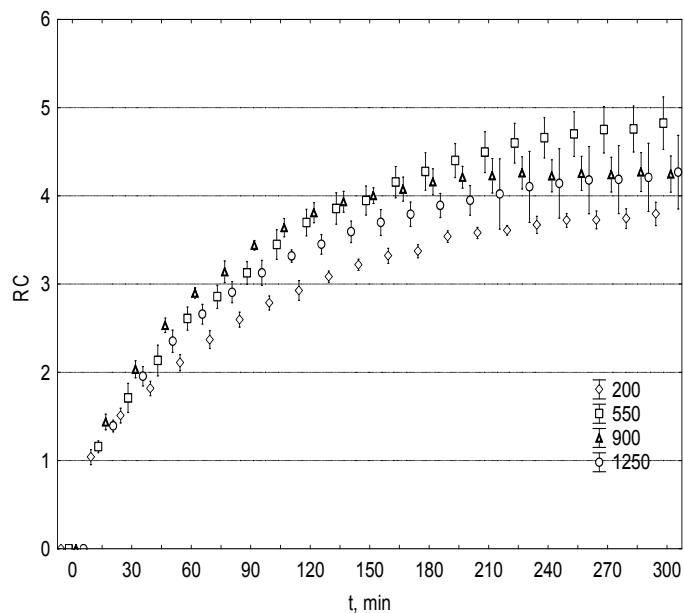
Rys. 2. Krzywe rehydracji
Fig. 2. Rehydration curves

Przebieg krzywych rehydracji odpowiadających mocy 550 i 900 W pokrywa się w całym badanym zakresie. W celu wymiernego potwierdzenia powyższego stwierdzenia porównano współczynniki poszczególnych krzywych. Ich wartości zamieszczone w tabeli 1. Współczynniki b i c równania (3) wykazują niewielką zmienność w całym badanym zakresie. O tym, czy krzywe istotnie się różnią, decyduje więc współczynnik a równania. W związku z tym przeprowadzono analizę wariancji tego współczynnika

Tabela 1. Współczynniki równania (3)
Table 1. Coefficients of the equation (3)

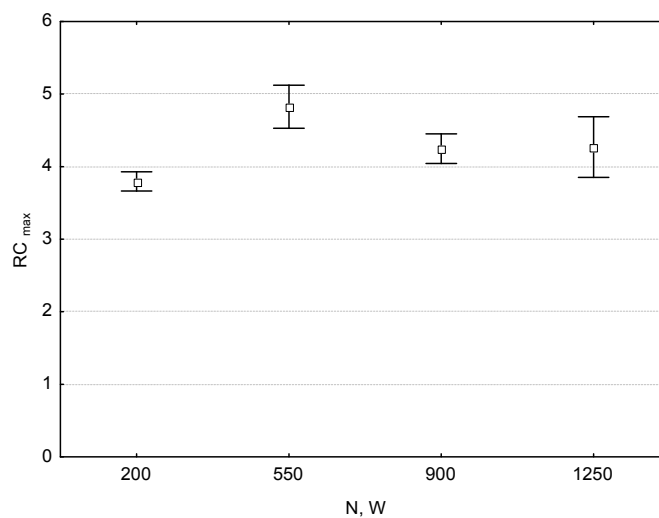
| Moc prądu pobieranego przez promienniki, W The power of current taken by the radiators, W | a | b | c |
|--|------|------|------|
| 200 | 3,57 | 1,05 | 0,01 |
| | 3,47 | 1,06 | 0,01 |
| | 3,81 | 1,04 | 0,01 |
| | 3,47 | 1,05 | 0,01 |
| | 3,81 | 1,06 | 0,01 |
| 550 | 5,12 | 1,03 | 0,01 |
| | 4,95 | 1,03 | 0,01 |
| | 4,37 | 1,03 | 0,01 |
| | 5,01 | 1,02 | 0,01 |
| | 4,47 | 1,05 | 0,01 |
| 900 | 4,00 | 1,04 | 0,02 |
| | 4,44 | 1,03 | 0,02 |
| | 4,25 | 1,03 | 0,02 |
| | 4,10 | 1,02 | 0,02 |
| | 3,86 | 1,04 | 0,02 |
| 1250 | 3,86 | 1,05 | 0,02 |
| | 3,80 | 1,03 | 0,02 |
| | 3,71 | 1,10 | 0,02 |
| | 3,59 | 1,06 | 0,02 |
| | 3,90 | 1,08 | 0,02 |

krzywych odpowiadających poszczególnym wartościom mocy prądu pobieranego przez promienniki. Testy Tukeya, Scheffe oraz Newman-Keulsa jednoznacznie wykazały, że współczynnik a równań dla promienników o mocy 200 i 550 W są statystycznie istotnie różne od współczynników krzywych dla pozostałych wartości mocy. Jednocześnie nie stwierdzono statystycznie istotnej różnicy pomiędzy współczynnikami krzywych dla mocy 900 i 1250 W. Brak takich podstaw potwierdzono dodatkowo, stosując test istotności różnic dwóch średnich t-Studenta dla mocy prądu pobieranego przez promienniki równych 900 i 1250 W. Po 5 godzinach rehydracji współczynnik rehydracji materiału suszonego promiennikami o mocy 200 i 550 W nie osiągnął wartości równowagowej. Mimo to susz otrzymany przy mocy promienników 550 W miał najwyższą wartość współczynnika rehydracji. Na rysunku 3 przedstawiono punkty odpowiadające średnim wartościom współczynnika rehydracji wraz z odchyleniami standardowymi. Stwierdzono statystycznie istotne odchylenia średnich dla suszu otrzymanego przy mocy 900 i 1250 W w zakresie 60–150 min. Na obecnym etapie badań autor nie jest w stanie wyjaśnić ich przyczyny. Ponieważ jednak proces rehydracji zwykle ma celu maksymalne nawilżenie suszu, odchylenia takie nie mają praktycznego znaczenia. Podobne zależności stwierdzono, analizując wartości maksymalne współczynnika rehydracji RC_{max} (rys. 4). Współczynnik ten przyjmuje najmniejszą wartość równą $3,8 \pm 0,1$ dla mocy 200 W, a maksymalną w badanym zakresie równą $4,8 \pm 0,1$ dla mocy 550 W. Dla mocy 900 i 1250 W współczynnik RC_{max} przyjmuje zbliżone wartości, odpowiednio $4,2 \pm 0,2$ i $4,3 \pm 0,4$. Tabela 2 zawiera maksymalne wartości współczynnika dla 5 powtórzeń po-



Rys. 3. Zmiana współczynnika rehydracji w trakcie procesu nawilżania próbki o grubości początkowej 5 mm

Fig. 3. Change of the rehydration coefficient along a process of the irrigation of the sample of the initial thickness 5 mm



Rys. 4. Maksymalna wartość współczynnika rehydracji dla założonych wartości natężenia promieniowania podczerwonego

Fig. 4. Maximum value of rehydration coefficient for the presumed intensity of infrared radiation

Tabela 2. Maksymalne wartości współczynnika rehydracji
Table 2. Maximum value of rehydration coefficient

| Moc prądu pobieranego przez promienniki The power of current taken by the radiators, W | Współczynnik rehydracji – Rehydration coefficient, RC_{max} | | | | |
|---|---|-------|-------|-------|-------|
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| W | [-] | | | | |
| 200 | 3,683 | 3,698 | 3,946 | 3,716 | 3,934 |
| 550 | 5,136 | 4,964 | 4,572 | 5,001 | 4,449 |
| 900 | 4,110 | 4,527 | 4,406 | 4,110 | 4,086 |
| 1250 | 4,182 | 3,968 | 4,958 | 3,918 | 4,319 |

miarów dla każdej wartości mocy prądu pobieranego przez promienniki. Analiza regresji wykazała istotne statystycznie różnice pomiędzy maksymalnym współczynnikiem rehydracji dla mocy 200 i 550 W a pozostałymi wartościami mocy. Jednocześnie żaden z testów nie wykazał istotnej statystycznie różnicy pomiędzy R_{max} dla 900 i 1250 W. Nie stwierdzono również pogorszenia własności rehydracyjnych suszu otrzymanego podczas suszenia promiennikami o mocy 1250 W w stosunku do materiału wysuszonego promiennikami o mocy 900 W. Natomiast zastosowanie w tym przypadku promieniowania i większej mocy pozwala na istotne skrócenie czasu suszenia średnio o 24% z 338 ± 20 min do 258 ± 3 min [Wesołowski A. 2000].

WNIOSKI

1. Najwyższą, w badanym zakresie wartość maksymalnego współczynnika rehydracji RC_{max} suszu otrzymano po zastosowaniu w procesie suszenia promienników o łącznej mocy 550 W.
2. Zwiększenie natężenia promieniowania podczerwonego w zakresie 900–1250 W nie wpływa na zdolność rehydracyjną suszu.
3. Po założonym czasie nawilżania susz otrzymany w procesie suszenia promiennikami o mocy 200 i 550 W nie osiągnął wartości równowagowej.
4. W badanym zakresie zmianę współczynnika rehydracji w czasie można opisać funkcją eksponentyjalną ze współczynnikiem korelacji nie mniejszym od $r = 0,992$.

BIBLIOGRAFIA

- Doymaz I., 2008. Influence of blanching and slice thickness on drying characteristics of leek slices. *Chemical Eng. Proc.* 47(2008), 41–47.
- Figiel A., Szarycz M., Żygadło K., 2006. Rehydracja i wytrzymałość na ścislenie mięszu buraka ćwikłowego wysuszonego metodą mikrofalową w warunkach obniżonego ciśnienia. *Inżynieria Rolnicza* 2(77), 299–305.
- Gawalek J., 2005. Wpływ warunków konwekcyjnego i sublimacyjnego suszenia korzeni marchwi na jakość suszu. *Inżynieria Rolnicza* 11 (71), 119–127.

- Ginzburg A. S., 1969. Promieniowanie podczerwone w przemyśle spożywczym. WNT, Warszawa.
- Karel M., 1974. Fundamentals of dehydration process: in *Advances in Preconcentration and Dehydration of Foods*, Wiley, New York, 43.
- Lenart A., 1988. Sacharoza jako czynnik modyfikujący osmotyczno-owiewne utrwalanie jabłek. Wyd. SGGW-AR, Warszawa.
- Lentas K., Witrowa-Rajchert D., 2008. Wpływ warunków blanszowania tkanki selera na właściwości teksturalne suszu. *Żywność. Nauka. Technologia. Jakość*. 4(59), 207–215.
- Lewicki P.P., Witrowa-Rajchert D., Mariak J., 1997. Changes of structure during rehydration of dried apples. *J. Food. Eng.*, 32, 4, 347–350.
- Lewicki P., 1998. Some Remarks on Rehydration of Dried Foods. *J. Food Eng.* 36, 81–87.
- Lisowa H., Lis T., Kasiak G., Mulak K., 1995. Osmotyczno-konwekcyjne suszenie jabłek. *Zesz. Probl. Nauk Roln.* 424, 249–254.
- Neumann H.J., 1972. Dehydrated celery: Effect of predrying treatments and rehydration procedures on reconstitutions. *J. Food Sci.* 37, 437–441.
- Nowak D., Lewicki P.P., 2004. Infrared drying of apple slices. *Innovative Food Sci. Emerg. Technol.* 5(3), 353–360.
- Reeve, R.M., 1943. Changes in tissue composition in dehydration of certain fleshy root vegetables. *Food Res.*, 8, 2, 146–152.
- Rząca M., Witrowa-Rajchert D., 2007a. Wpływ techniki suszenia oraz warunków przechowywania na właściwości rekonstrykcyjne i higroskopijne suszu jabłkowego. *Acta Agrophysica*, 9(2), 471–479.
- Rząca M., Witrowa-Rajchert D. 2007b. Wpływ parametrów suszenia konwekcyjno-mikrofalowego na aktywność przeciwrodnikową jabłek. *Żywność. Nauka. Technologia. Jakość*, 5(54), 222–230.
- Singh G.D., Sharma R., Bawa A.S., Saxena D.C., 2008. Drying and rehydration characteristics of water chestnut (*Trapa natans*) as a function of drying air temperature. *J. Food Eng.* 87, 213–221.
- Steponkus P., Dowgerd M.F., Garden-Kamm W.J., 1983. Destabilization of plasma membrane of isolated plant protoplasts during a freeze-thaw cycle. The influence of cold acclimation. *Cryobiology*, 20, 448.
- Sterling C., Shimazu F., 1961. Cellulose crystallinity and the reconstitution properties of dehydrated carrots. *J. Food Sci.*, 26, 479–484.
- Stępień B., 2007. Wpływ metody suszenia na rehydrację selera. *Inżynieria Rolnicza* 8(96), 255–263.
- Szarycz M., Jałoszyński K., Pełka A., Ostrowska M., Świerk B., 2006. Wpływ parametrów mikrofalowo-próżniowego suszenia truskawek na przebieg procesu i skurcz suszarniczy. *Inżynieria Rolnicza* 4 (79), 229–237.
- Wesołowski A., 2000. Badania procesu suszenia jabłek promieniami podczerwonymi. Praca doktorska. Wydział Inżynierii Produkcji. SGGW, Warszawa.
- Wesołowski A., 2003. Nagrzewanie plastrów jabłek suszonych promieniami podczerwonymi. *Inżynieria Rolnicza* 8(50), 415–420.
- Wesołowski A., Markowski M., 2000. Badania nad suszeniem jabłek promieniami podczerwonymi. *Inżynieria Rolnicza* 5(16), 249–256.

THE INFLUENCE OF SOME CHOSEN PARAMETERS OF INFRARED RADIATION DEHYDRATION OF APPLES ON THEIR ABILITY OF ABSORBING WATER

Abstract. This elaboration shows the results of research work on rehydration ability of Lobo apples, that had been dehydrated with infrared radiation. Four different sets of infrared radiators were used: the total power of 200, 550, 900, 1250 W each set. Slices taken from apples were the samples. After the level of water balance had been reached by the samples, they were plunged in distilled water of the temperature of 20°C. The highest rehydration coefficient RC was reached by the sample that had been dehydrated with infrared radiation of 550 W. No real difference of rehydration coefficient RC was found for the samples that had been dehydrated with infrared radiation of 900 W and 1250 W.

Key words: dehydration, infrared radiation, rehydration, fruits, apples

Zaakceptowano do druku – Accepted for print: 20.04.2009