

WPŁYW ETANOLU NA PRZEBIEG SUSZENIA ORAZ WYBRANE WŁAŚCIWOŚCI TKANKI JABŁKA

Joanna Żubernik[✉], Magdalena Dadan, Jakub Czyżewski,
Dorota Witrowa-Rajchert

Szkoła Główna Gospodarstwa Wiejskiego w Warszawie

Streszczenie. Celem pracy było zbadanie wpływu immersyjnej obróbki wstępnej alkoholem etylowym na przebieg suszenia konwekcyjnego tkanki jabłka i właściwości suszy jabłkowych. Określono kinetykę suszenia, zawartość polifenoli oraz higroskopijność i skurcz suszarniczy. Suszenie konwekcyjne plasterów jabłka, poprzedzone obróbką wstępną w etanolu o stężeniu 96%, w temperaturze $20 \pm 1^\circ\text{C}$ przez 0,5–180 s, skutkowało redukcją czasu procesu o 4,9–13,4% (odpowiednio do wydłużania czasu immersji w etanolu) w porównaniu do plasterów suszonych bez wcześniejszych zabiegów wstępnych. Wykazano redukcję zawartości związków polifenolowych w suszonej tkance jabłka spowodowaną zastosowanymi zabiegiem wstępnym i suszeniem w stopniu zależnym od czasu obróbki wstępną w etanolu. Wydłużenie czasu immersji w etanolu prowadziło również do zwiększenia skurczu materiału w czasie suszenia i zmniejszenia zdolności adsorpcji pary wodnej przez materiał. Analiza skurczu suszonych plasterów wykazała zależność wzrostu skurczu wraz z wydłużeniem zabiegów wstępnych, co korelowało z ich obniżoną higroskopijnością i mogło wpływać na zwiększoną stabilność przechowalniczą. Najbardziej odpowiednim czasem do przeprowadzenia obróbki immersyjnej w etanolu była 1 min. Susze po minutowej obróbce charakteryzowały się dobrymi wyróżnikami jakości. Optymalny czas obróbki wpływał także korzystnie na skrócenie suszenia konwekcyjnego, tym samym redukując koszty procesu.

Słowa kluczowe: jabłka, kinetyka suszenia, skurcz, higroskopijność, polifenole

WSTĘP

Suszenie zaliczane jest do jednej z najstarszych metod konserwacji produktów spożywczych, niemniej nadal odgrywa istotną rolę w technologii żywności. Usuwanie wody z żywności niesie za sobą wiele korzyści – najważniejsze można uznać przedłużanie trwałości produktów. Konserwacja poprzez zmniejszenie aktywności wody umożliwia

[✉]joanna_zubernik@sggw.pl

ograniczenie dostępności środowiska mikroorganizmom powodującym procesy psucia się oraz powoduje wyhamowanie reakcji zarówno chemicznych, jak i enzymatycznych w produkcie. Suszenie powoduje zmniejszenie objętości zajmowanej przez produkt, a więc zmniejsza koszty opakowania i magazynowania [Janowicz i Lenart 2007, Janowicz i in. 2009].

Suszenie konwekcyjne jest powszechnie stosowaną w przetwórstwie spożywczym metodą usuwania wody z surowców roślinnych. Proces polega na konwekcyjnym dostarczeniu ciepła do materiału suszonego znajdującego się w komorze suszarniczej. Medium suszącym najczęściej jest powietrze, rzadziej ze względu na większe koszty używa się pary przegrzanej [Rahman i Perera 2007]. Podstawową wadą suszenia konwekcyjnego jest jego negatywny wpływ na jakość otrzymywanych suszy, spowodowany długotrwałym działaniem podwyższonej temperatury oraz powietrza. Długie przebywanie surowców w komorze suszącej prowadzi do wielu negatywnych zmian w tkance roślinnej i utraty cennych, wrażliwych na temperaturę związków odżywczych. Susze konwekcyjne mają zmienioną barwę i właściwości sensoryczne, charakteryzują się słabą zdolnością do rehydracji, co wskazuje na niszczenie struktury tkankowej podczas suszenia [Witrowa-Rajchert 1999, Stępień 2009].

Rozwój technologiczny, stymulowany wzrastającą świadomością konsumentów oraz konkurencją na rynku spożywczym, skłania do poszukiwania innowacyjnych metod przetwórstwa, pozwalających na otrzymywanie produktów z wykorzystaniem mniejszych nakładów energetycznych oraz charakteryzujących się lepszymi walorami jakościowymi [niż tradycyjne Funebo i in. 2002]. Właściwości etanolu skłoniły badaczy do prowadzenia doświadczeń nad możliwościami użycia go jako środka odwadniającego w zabiegach poprzedzających właściwy proces suszenia. Wykazano jego korzystne działanie na jakość otrzymywanych suszy oraz przyspieszenie procesu suszenia [Braga i in. 2009, Corrêa i in. 2012].

Etanol jest związkiem organicznym z grupy alkoholi, zaliczanym do rozpuszczalników organicznych, który wpływa na rozpuszczanie ścian komórkowych, co może prowadzić do ich większej przepuszczalności, a zatem intensyfikacji procesów wymiany ciepła i masy. Charakteryzuje się niższą temperaturą wrzenia oraz mniejszym napięciem powierzchniowym niż woda, co wpływa na zmniejszenie skurczu suszarniczego materiałów odwadnianych z udziałem alkoholu. Alkohol etylowy ze względu na swoje właściwości jest także używany do modyfikowania atmosfery podczas suszenia konwekcyjnego. Susząc ananasy tą techniką, udało się uzyskać intensywniejszą ewaporację wody i skrócić czas suszenia aż o 34% [Santos i Silva 2009]. Tłumaczy się to kondensacją par etanolu na powierzchni próbki, w której miesza się on z wodnym roztworem (wody i cukrów), w wyniku czego następuje zwiększenie prężności par [Santos i Silva 2008]. W celu lepszego zrozumienia powierzchniowego mechanizmu działania etanolu na tkanki roślinne przeprowadzono symulację molekularną. Tarek i inni [1996] dowiedli, że molekuly blisko powierzchni materiału układają się w sposób maksymalizujący powstawanie agregatów etanol – woda. Orientacja, rozkład cząsteczek na powierzchni materiału wskazują, że układ sprzyja tworzeniu wiązań wodorowych.

Celem pracy było zbadanie wpływu immersyjnej obróbki wstępnej alkoholem etylowym na przebieg suszenia konwekcyjnego tkanki jabłka, zawartość polifenoli ogółem, skurcz oraz właściwości higroskopijne suszy jabłkowych. Jako materiał porównawczy wykorzystano jabłko niepoddane procesom wstępnym.

MATERIAŁ I METODY

Jako materiału badawczego użyto jabłek odmiany Ligol, pochodzących z upraw doświadczalnych Katedry Sadownictwa Szkoły Głównej Gospodarstwa Wiejskiego w Warszawie. Mięksiz jabłka pokrojono w plastry o średnicy $30 \pm 0,2$ mm i grubości $10 \pm 0,2$ mm.

Obróbkę wstępną przeprowadzono poprzez immersję surowca w roztworze alkoholu etylowego o stężeniu 96%, temperaturze $20 \pm 1^\circ\text{C}$ przez czas 5, 15, 60 oraz 180 s. Naważkę 20 g surowca zanurzano w $0,05 \text{ dm}^3$ alkoholu etylowego (stosunek masy surowca do masy roztworu wynosił 1:2).

Suszenie konwekcyjne przeprowadzono w suszarce laboratoryjnej z wymuszonym, równoległym do warstwy materiału przepływem powietrza o temperaturze 70°C i prędkości przepływu $1,5 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$, a obciążenie sita wynosiło około $1,97 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-2}$. W trakcie suszenia co 1 min odnotowywano ubytki masy materiału, używając wagi analitycznej (Axis A5000, Radwag, Radmom, Polska) i rejestrowano komputerowo za pomocą programu Pomiar. Proces kończono przy stałej masie materiału utrzymującej się minimum 10 min. Analizę czasu suszenia prowadzono przy względnej zawartości wody w materiale wynoszącej 0,02. Suszenie wykonywano w dwóch powtórzeniach. Krzywe suszenia sporządzono jako zależność względnej zawartości wody od czasu. Względną zawartość wody (MR) wyznaczono zgodnie ze wzorem [Midilli i in. 2002]:

$$MR = \frac{u}{u_0}$$

gdzie:

u – zawartość wody w czasie suszenia [$\text{kg H}_2\text{O}\cdot\text{kg}^{-1}\text{ss}$],

u_0 – początkowa zawartość wody [$\text{kg H}_2\text{O}\cdot\text{kg}^{-1}\text{ss}$].

Zawartość polifenoli oznaczano w świeżej oraz wysuszonej tkance, po uprzedniej immersji w etanolu przez 1 i 3 min. Wykorzystywano metodę Folina-Ciocalteu'a, a za wzorzec służył kwas chlorogenowy. Absorbancję roztworów mierzono wobec próby ślepej przy długości fali $\lambda = 750 \text{ nm}$ w spektrofotometrze Helios Thermo Electron v. 7.03 [Wiktor i in. 2016].

Oznaczenie zdolności higroskopijnych suszu, wyrażonych kinetyką sorpcji pary wodnej, prowadzono w eksykatorze nad nasyconym roztworem NaCl, w środowisku o aktywności wody $a_w = 0,75$, ważąc materiał z dokładnością do $\pm 0,0001 \text{ g}$ na wadze analitycznej typu AE 204S firmy Mettler, w stałej temperaturze wynoszącej 25°C , przez 72 h. Próbkę ważono po 0,5; 1; 3; 6; 24; 48 i 72 h. Pomiaru dokonano w trzech powtórzeniach dla każdego suszu.

Skurcz materiału obliczono na podstawie wyznaczonych objętości plastrów surowych oraz po suszeniu. Objętość oznaczano poprzez zasypanie materiału umieszczonego w cylindrze miarowym o objętości 10 cm^3 suchym piaskiem morskim o objętości 7 cm^3 oraz odczytaniu objętości końcowej. Objętość wyznaczano z różnicy objętości po zasypaniu piaskiem i objętości piasku. Po określeniu objętości plastrów wyznaczono skurcz ze wzoru:

$$S = \left(1 - \frac{V_k}{V_0} \right) \cdot 100\%$$

gdzie:

S – skurcz [%],

V_k – objętość suszonego plastra [cm^3],

V_0 – objętość plastra przed suszeniem [cm^3].

Oprogramowanie Microsoft Office Excel 2013 wykorzystano do opracowań matematycznych, statystycznych oraz graficznych.

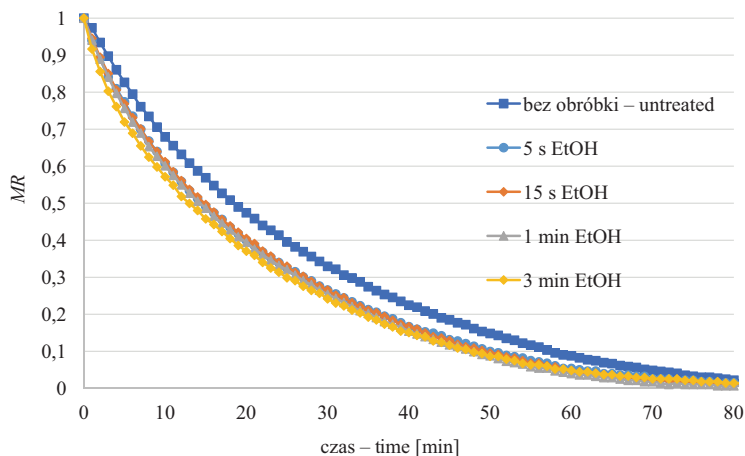
Analizy statystycznej dokonano przy użyciu programu Statistica 10. Przeprowadzono jednoczynnikową analizę wariancji. Jednorodność wariancji sprawdzano, wykorzystując test Levena. Test Tukeya (na poziomie istotności $\alpha = 0,05$) posłużył do wyznaczenia grup jednorodnych.

WYNIKI I DISKUSJA

Suszenie świeżego jabłka niepoddanego obróbce wstępnej do względnej zawartości wody (u/u_0) równej 0,02 trwało 82 min (rys. 1, tab.). Czas osiągnięcia tej samej względnej zawartości wody w plastrach poddanych wstępnemu zanurzeniu w etanolu był krótszy i wynosił 71–78 min w zależności od czasu obróbki, co oznacza redukcję czasu potrzebnego do osiągnięcia tej samej zawartości wody o 4,9–13,4% w porównaniu do plastrów suszonych bez wcześniejszych zabiegów wstępnych. Zauważalna jest przy tym tendencja redukcji czasu wraz z wydłużaniem się zabiegów wstępnych. Najszybciej względną zawartość wody równą 0,02 osiągnął susz poddany obróbce immersyjnej przez 3 min. Analiza statystyczna (test Tukeya) wykazała istotne różnice w czasie suszenia tkanki niepodanej zabiegom wstępnym w stosunku do prób poddawanych immersji, przy czym czas suszenia jabłka poddanego immersji przez 1 i 3 min nie różnił się istotnie w ujęciu statystycznym (tab.).

Podobną zależność skrócenia czasu procesu uzyskali Silva i inni [2014] podczas suszenia konwekcyjnego liści guaco. W badaniach tych uzyskano skrócenie suszenia z 11,6 do 8,2 h, czyli zredukowano o 29% czas procesu usuwania wody z materiału poddanego wstępnej immersji w etanolu w porównaniu do próbki niepoddanej operacji wstępnej. W próbach doświadczalnych wykorzystujących jedynie modyfikację atmosfery alkoholem etylowym w komorze suszarniczej także uzyskano efekt redukcji czasu odwadniania. Czas suszenia ananasów został skrócony aż o 34%, a bananów o 13%, zaś dodatkowe potraktowanie powierzchni bananów alkoholem zredukowało czas o kolejne 2% [Fernandes i Rodrigues 2007].

Suszenie jabłka niepoddanego zabiegom wstępnym spowodowało zmniejszenie zawartości związków polifenolowych o 18% w porównaniu do jabłka surowego, w którym zawartość polifenoli wyniosła 1464 mg kwasu chlorogenowego $\cdot 100 \text{ g}^{-1} \text{ ss}$ (rys. 2). Zastosowanie zaś obróbki wstępnej i suszenia doprowadziło do dalszych strat polifenoli. Redukcja związków polifenolowych była zależna od czasu zastosowanej obróbki wstępnej. Największe, istotne straty w stosunku do próbki kontrolnej (suszu uzyskanego z materiału niepoddanego obróbce wstępnej), sięgające 40%, odnotowano po obróbce trwającej 3 min. Zmiany spowodowane obróbką przez 1 min były mniejsze i w porównaniu do próby kontrolnej wynosiły 8%. Redukcja ta była jednak istotna statystycznie w porównaniu do próbki jabłka suszonego, w której nie zastosowano immersji. Straty te



Rys. 1. Względna zawartość wody podczas suszenia tkanki jabłka

Fig. 1. Dimensionless moisture content during drying of apple tissue

Tabela. Czas suszenia oraz jego procentowa redukcja

Table. Drying time and its percentage reduction

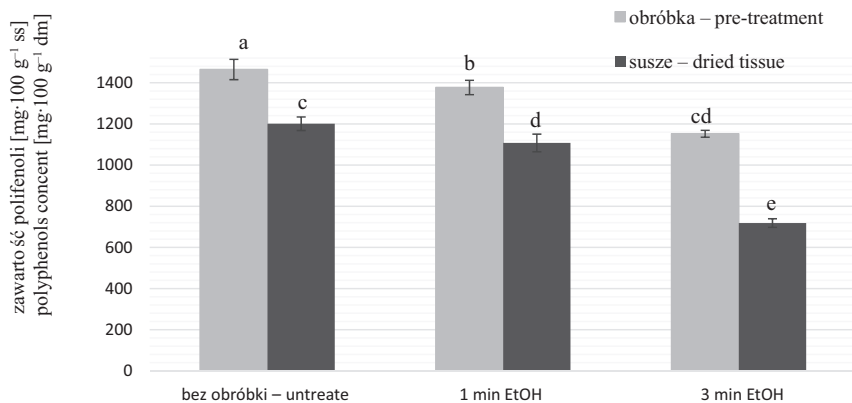
Materiał Material	Czas suszenia Drying time [min]	Redukcja czasu suszenia Drying time reduction [%]	Skurcz Shrinkage [%]
Bez obróbki	82a	–	51,6 ±2,7a
5 s EtOH	78b	4,9	52,7 ±1,4b
15 s EtOH	77b	6,0	51,9 ±0,7ab
60 s EtOH	73bc	11,0	59,0 ±1,4c
180 s EtOH	71c	13,4	69,1 ±1,7d

a, b, c, d – grupy homogeniczne, nieróżniące się w ujęciu statystycznym ($\alpha = 0,05$).

a, b, c, d – homogeneous groups, not differing in a statistical approach ($\alpha = 0.05$).

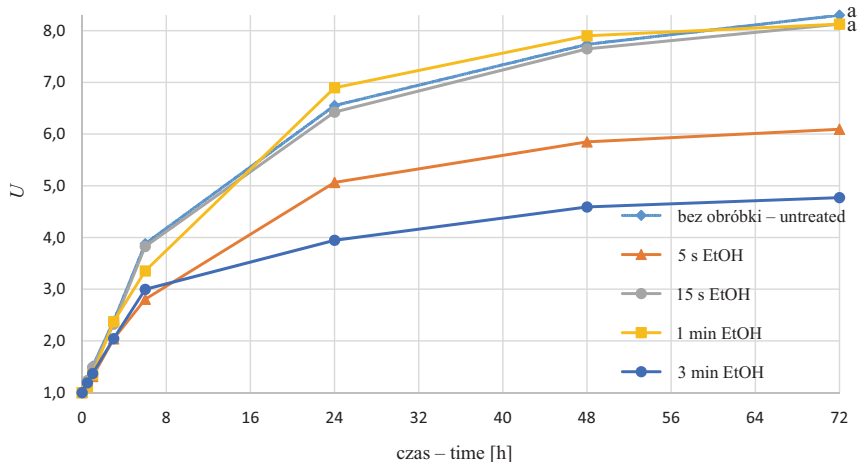
zostały zapoczątkowane zabiegami wstępnymi, po których nastąpiło istotne zmniejszenie ich zawartości w porównaniu do jabłka surowego. Proces suszenia dodatkowo wpłynął na zmniejszenie zawartości związków polifenolowych, gdyż gorące medium miało destrukcyjny wpływ na materiał [Ścibisz i Mitek 2006].

Biorąc pod uwagę intensywność adsorpcji pary wodnej stwierdzono, że próby poddane wcześniejszej immersji w alkoholu etylowym przez 15 s, 1 min, a także susz kontrolny po 3 h adsorpcji pary wodnej z nasyconego roztworu NaCl o aktywności wody $a_w = 0,75$ charakteryzowały się największą chłonnością. Susze te uzyskały największą szybkość przyrostu zawartości wody, zwiększały swoją zawartość wody ponad ośmiokrotnie (rys. 3). Mniejszą zdolnością adsorpcji pary wodnej charakteryzował się materiał poddany wstępnie obróbce immersyjnej w etanolu przez 5 s oraz 3 min. W tych przypadkach immersja w etanolu spowodowała istotnie statystycznie zmniejszenie zdolności sorpcyjnych suszy, co może wskazywać na ich zwiększoną stabilność przechowalniczą.



Rys. 2. Zawartość polifenoli w tkance jabłka; a, b, c, d, e – grupy homogeniczne nieróżniące się w ujęciu statystycznym ($\alpha = 0,05$)

Fig. 2. Polyphenolsconcent in apple tissue; a, b, c, d, e – homogeneous groups not differing in a statistical approach ($\alpha = 0.05$)



Rys. 3. Względna zawartość wody suszy jabłkowych po obróbce immersyjnej w alkoholu etylowym, przetrzymywanych przez 72 h nad roztworem NaCl ($a_w = 0,75$)

Fig. 3. Relative water content in dried apple after immersive pre-treatment in ethanol solution, stored for 72 h under NaCl solution ($a_w = 0.75$)

Intensywna adsorpcja pary wodnej przez susze po 15 s oraz 1 min obróbki wstępnej mogła być skutkiem dobrze zachowanych centrów adsorpcji. Zmniejszona higroskopijność sugeruje zaistnienie negatywnych deformacji w budowie komórkowej suszy. Wydłużenie czasu immersji w etanolu do 1 i 3 min spowodowało, w porównaniu z suszem kontrolnym, istotne zwiększenie skurczu (tab.). mogło doprowadzić do zmniejszonej zdolności adsorpcji pary wodnej przez materiał, co równocześnie gwarantuje większą stabilność przecho-

walniczą. Największym skurczem spośród badanych suszy, wynoszącym $69,1 \pm 1,7\%$, charakteryzował się materiał po trzyminutowej obróbce w alkoholu etylowym. Jednocześnie ta próbka charakteryzowała się najmniejszą zdolnością adsorpcji pary wodnej.

WNIOSKI

1. Zastosowanie zabiegu wstępnego, polegającego na immersji plasterów jabłka w etanolu, może prowadzić do otrzymania suszu charakteryzującego się jakością porównywalną do jakości suszy jabłkowych, przy wytwarzaniu których nie zastosowano żadnych zabiegów poprzedzających suszenie konwekcyjne.
2. Suszenie konwekcyjne, poprzedzone obróbką wstępną plasterów jabłka w etanolu, skutkowało redukcją czasu procesu o 4,9–13,4% w porównaniu do plasterów suszonych bez wcześniejszych zabiegów wstępnych. Im dłuższy był czas immersji, tym krócej trwało suszenie.
3. Zabiegi wstępne oraz suszenie spowodowały degradację polifenoli zawartych w tkance jabłka. Wykazano redukcję zawartości związków polifenolowych w suszonej tkance jabłka wraz z przedłużaniem obróbki wstępnej.
4. Zastosowanie immersji w alkoholu etylowym może przyczynić się, przy określonym czasie tego procesu, do zmniejszonej higroskopijności, a tym samym do zwiększonej trwałości przechowalniczej suszy.
5. Analiza wyników doświadczalnych pozwala na zasugerowanie optymalnych parametrów zabiegów wstępnych przed suszeniem plasterów jabłka. Odpowiednim czasem do przeprowadzenia obróbki immersyjnej w etanolu jest 1 min. Susze po minutowej obróbce wstępnej charakteryzowały się dobrymi, analizowanymi w niniejszych badaniach, wyróżnikami jakości. Optymalny czas obróbki wpływał także korzystnie na optymalizację czasu suszenia konwekcyjnego, tym samym redukując koszty z nim związane.

LITERATURA

- Braga A.M.P., Pedrosa M.P., Augusto F., Silva M.A., 2009. Volatiles identification in pineapple submitted to drying in an ethanolic atmosphere. *Drying Technol.* 27(2), 248–257.
- Corrêa J.L.G., Braga A.M.P., Hochheim M., Silva M.A., 2012. The Influence of ethanol on the convective drying of unripe, ripe, and overripe bananas. *Drying Technol.* 30(8), 817–826.
- Fernandes F.A., Rodrigues S., 2007. Ultrasound as pre-treatment for drying of fruits: Dehydration of banana. *J. Food Eng.* 82(2), 261–267.
- Funebo T., Ahrné L., Prothon F., Kidman S., Langton M., Skjöldebrand C., 2002. Microwave and convective dehydration of ethanol treated and frozen apple – physical properties and drying kinetics. *Int. J. Food Sci. Technol.* 37(6), 603–614.
- Janowicz M., Domian E., Lenart A., 2009. Zmiany struktury wewnętrznej suszonej konwekcyjnie tkanki jabłek wywołane odwadnianiem osmotycznym. *Inż. Rol.* 13, 67–73.
- Janowicz M., Lenart A., 2007. Rozwój i znaczenie operacji wstępnych w suszeniu żywności. W: B. Dobrzański jr, L. Mieszkalski (red.). *Właściwości fizyczne suszonych surowców i produktów spożywczych* Komitet Agrofizyki PAN. Wydawnictwo Naukowe FRNA, Lublin, 15–33.

- Midilli A., Kucuk H., Yapar Z., 2002. A new model of single layer drying. *Drying Technol.* 7, 1503–1513.
- Rahman M.S., Perera C.O., 2007. Drying and food preservation. W: M.S. Rahman (red.). *Handbook of Food Preservation*. CRC Press LLC, London, 403–432.
- Santos P.H.S., Silva M.A., 2008. Retention of vitamin C in drying processes of fruits and vegetables – A review. *Drying Technol.* 26(12), 1421–1437.
- Santos P.H.S., Silva M.A., 2009. Kinetics of L-ascorbic acid degradation in pineapple drying under ethanolic atmosphere. *Drying Technol.* 27(9), 947–954.
- Silva M.G., Celeghini R.M.S., Silva M.A., 2014. Ethanol as drying accelerator of guacoleaves. W: J. Andrieu, R. Peczański, S. Vessot (red.). *19th International Drying Symposium*, Edp Sciences, Lyon.
- Stępień B., 2009. Wpływ metody suszenia na wybrane cechy mechaniczne marchwi po ponownym uwodnieniu. *Inż. Rol.* 13, 251–258.
- Ścibisz I., Mitek M., 2006. Aktywność przeciwutleniająca i zawartość związków fenolowych w suszach z owoców borówki wysokiej (*Vaccinium corymbosum* L.). *ŻNTJ* 4(49), 68–76.
- Tarek M., Tobias D.J., Klein M.L., 1996. Molecular dynamics investigation of an ethanol-water solution. *Physica A.* 231, 117–122.
- Wiktor A., Sledz M., Nowacka M., Rybak K., Witrowa-Rajchert D., 2016. The influence of immersion and contact ultrasound treatment on selected properties of the apple tissue. *App. Acoust.* 103, 136–142.
- Witrowa-Rajchert D., 1999. Rehydracja jako wskaźnik zmian zachodzących w tkance roślinnej w czasie suszenia. Fundacja Rozwój SGGW, Warszawa.

THE IMPACT OF ETHANOL ON DRYING PROCESS AND SELECTED PROPERTIES OF APPLE TISSUE

Summary. Fruits and vegetables are valuable food products. Their preservation by conventional drying techniques results in the loss of biologically active compounds. The high temperature and time of the presence of a material in a drying chamber contribute to other negative changes – the structure of the material is degraded, as well as sensory characteristics are changed. It is therefore important to seek novel technological solutions, in order to obtain a high quality product and reduction of energy consumption during a process. High hopes give a non-thermal combined method – the use of convective drying preceded by dehydration in ethyl alcohol solution. The aim of this study was to investigate the effect of immersion pre-treatment in ethanol on the course of convective drying and dried apple tissue properties. The kinetics of convective drying, polyphenols content, water adsorption capacity and shrinkage of dried apple tissue were investigated. Convective drying, preceded by the pre-treatment of apple slices in 96% ethanol solution affected reducing of drying time from 4.9 to 13.4%, compared to apple without pre-treatment. With the prolongation of the pre-treatment time the content of polyphenols in dried apple tissue was reduced. Longer time of immersion in ethanol led to reduce water absorption capacity. Shrinkage analysis showed the relationship of shrinkage growth along with elongation of pre-treatment which correlated with their reduced hygroscopicity and increased storage stability. The appropriate time to carry out immersion treatment was 1 min. Dried apple after this pre-treatment were characterised by high quality. This time of pre-treatment had also a positive effect on the shortening time of convective drying, thereby reducing the costs of

the process. The use of an innovative pre-treatment procedure of immersion of apple slices in ethanol at appropriate pre-treatment parameters can lead to obtain better quality dried apples than tissues dried by convective method without any treatment. Moreover, the costs of the drying may be reduced due to a shorter time of the evaporation process.

Key words: apple, drying kinetics, shrinkage, hygroscopicity, polyphenols

