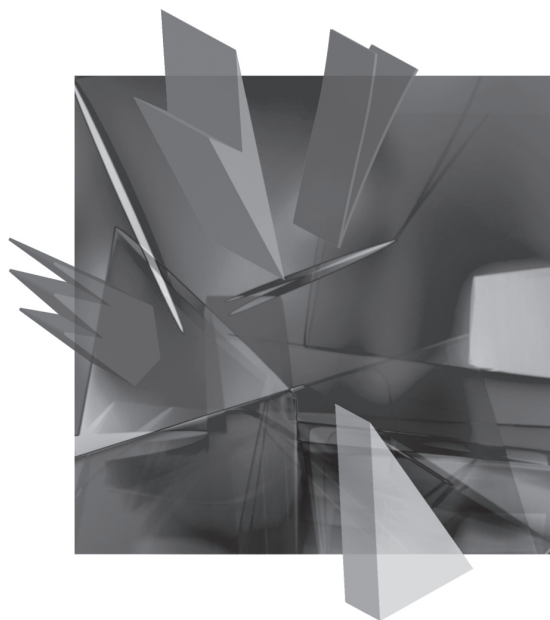


NAUKI INŻYNIERSKIE I TECHNOLOGIE ENGINEERING SCIENCES AND TECHNOLOGIES

4(15)•2014



Wydawnictwo Uniwersytetu Ekonomicznego we Wrocławiu
Wrocław 2014

Redaktor Wydawnictwa: Joanna Świrska-Korlub

Redaktor techniczny: Barbara Łopusiewicz

Korektor: Justyna Mroczkowska

Łamanie: Beata Mazur

Projekt okładki: Beata Dębska

Publikacja jest dostępna w Internecie na stronach:

www.ibuk.pl, www.ebscohost.com,

w Dolnośląskiej Bibliotece Cyfrowej www.dbc.wroc.pl,

AGRO <http://agro.icm.edu.pl>, <http://journals.indexcopernicus.com>,

The Central and Eastern European Online Library www.ceeol.com,

a także w adnotowanej bibliografii zagadnień ekonomicznych BazEkon

http://kangur.uek.krakow.pl/bazy_ae/bazekon/nowy/index.php

Informacje o naborze artykułów i zasadach recenzowania znajdują się
na stronie internetowej Wydawnictwa

www.wydawnictwo.ue.wroc.pl

Kopiowanie i powielanie w jakiegokolwiek formie
wymaga pisemnej zgody Wydawcy

© Copyright by Uniwersytet Ekonomiczny we Wrocławiu
Wrocław 2014

ISSN 2080-5985

Wersja pierwotna: publikacja drukowana

Druk i oprawa:

EXPOL, P. Rybiński, J. Dąbek, sp.j.

ul. Brzeska 4, 87-800 Włocławek

Spis treści

Wstęp	7
Maria Baranowska, Władysław Chojnowski, Hanna Nowak: Dezynfekcja w zakładach mleczarskich	9
Marta Ciecierska: Ocena poziomu świadomości konsumentów w zakresie migracji niepożądanych substancji chemicznych do żywności z opakowań i materiałów będących w kontakcie z żywnością	23
Aleksandra Gołoś, Dariusz Piotrowski, Piotr Grzegory, Mariusz Wojnowski: Wpływ temperatury na strukturę i barwę truskawek suszonych wybranymi metodami	31
Natalia Kordala, Małgorzata Lewandowska, Artur Kleina, Karolina Świątek: Ocena właściwości celuloリティcznych <i>Cellulosimicrobium cellulans</i> do biokonwersji polisacharydów słomy rzepakowej	43
Tomasz Lesiów, Kamila Orzechowska-Przybyła, Alina Niewelt: Rola przeglądów zarządzania w doskonaleniu jakości i bezpieczeństwa żywności, obsługi klienta oraz systemu zarządzania jakością w dwóch wybranych przedsiębiorstwach przemysłu żywnościowego	56
Alicja Mańka, Karolina Kosatka, Klaudia Dąbrowska, Renata Stańczyk, Małgorzata Krzywonos: Finansowy i ekonomiczny aspekt prowadzenia własnej winnicy	76
Andrzej Okruszek, Teresa Skrabka-Blotnicka: Automatyczne linie uboju bydła i trzody chlewnej.....	84
Agnieszka Pilarska: Wykorzystanie fermentacji metanowej do zagospodarowania wybranych produktów odpadowych przemysłu spożywczego	100
Karolina Świątek, Małgorzata Lewandowska, Andrzej Juszcuk, Natalia Kordala: Otrzymywanie etanolu ze słomy rzepakowej w procesie symultanicznej hydrolizy i fermentacji w systemie półciąglym	112
Maria Wachowska, Marek Adamczak: Wpływ sposobu i czasu solenia oraz dojrzewania sera edamskiego na jego wybrane parametry jakościowe.....	126
Tomasz Lesiów, Ewa Biazik, Andrzej Okruszek: Sprawozdanie z VI Konferencji Naukowo-Technicznej z cyklu Nauka – Praktyce pt. „Zastosowanie nowatorskich rozwiązań technologicznych w przemyśle spożywczym” ...	137

Summaries

Maria Baranowska, Władysław Chojnowski, Hanna Nowak: Disinfection in dairy plants	22
Marta Ciecierska: Evaluation of level of consumer awareness in migration of undesirable chemicals to food from food packaging and food contact materials.....	30
Aleksandra Gołoś, Dariusz Piotrowski, Piotr Grzegory, Mariusz Wojnowski: Influence of the temperature on the structure and color of strawberries dried by selected methods	42
Natalia Kordala, Małgorzata Lewandowska, Artur Kleina, Karolina Świątek: Evaluation of cellulolytic properties of microorganisms for bioconversion of food industry wastes	55
Tomasz Lesiów, Kamila Orzechowska-Przybyła, Alina Niewelt: The role of management reviews in the improvement of food quality and safety, customer service and quality management system in two selected enterprises of food industry	75
Alicja Mańka, Karolina Kosatka, Klaudia Dąbrowska, Renata Stańczyk, Małgorzata Krzywonos: Financial and economic aspect of running own vineyard	83
Andrzej Okruszek, Teresa Skrabka-Blotnicka: Automated commercial slaughter lines of pigs and cattle.....	99
Agnieszka Pilarska: The use of methane fermentation in the development of selected waste products of food industry.....	111
Karolina Świątek, Małgorzata Lewandowska, Andrzej Juszcuk, Natalia Kordala: Obtaining of ethanol from rape straw in the process of simultaneous hydrolysis and fermentation in fed-batch system.....	125
Maria Wachowska, Marek Adamczak: Influence of the brine composition and time of Edam cheese salting and ripening on its selected quality parameters.....	136

**Aleksandra Gołoś, Dariusz Piotrowski, Piotr Grzegory,
Mariusz Wojnowski**

Szkoła Główna Gospodarstwa Wiejskiego w Warszawie

e-mails: piotr_grzegory@sggw.pl; dariusz_piotrowski@sggw.pl

WPLYW TEMPERATURY NA STRUKTURĘ I BARWĘ TRUSKAWEK SUSZONYCH WYBRANYMI METODAMI

Streszczenie: Celem pracy była analiza wpływu temperatury na strukturę i barwę truskawek suszonych metodą konwekcyjną, próżniową oraz konwekcyjno-próżniową. Zamrożone i rozmrożone truskawki odmiany Senga Sengana poddano suszeniu konwekcyjnemu, próżniowemu i konwekcyjno-próżniowemu (dwuetapowemu, w etapie pierwszym usuwano 50% wody) w temperaturach otoczenia około 45, 55 i 65°C. Ponadto dla środkowej temperatury (55°C) zaproponowano suszenie dwuetapowe z usunięciem 30, 50 i 70% początkowej zawartości wody w etapie konwekcyjnym. Zmiany struktury oceniano za pomocą pomiarów liniowych wykorzystywanych do wyznaczenia skurczu (osiowego i promieniowego) oraz barwnych fotografii wykonanych za pomocą kamery i optycznego stereoskopowego mikroskopu. Barwę oznaczono za pomocą fotokolorymetru odbiciowego w układzie CIE L*a*b*. Zarówno suszenie próżniowe, jak i dwuetapowe pozwoliło uzyskać skurcz osiowy oraz promieniowy truskawek niższy dla suszenia konwekcyjnego. Struktura truskawek wysuszonych konwekcyjnie w temperaturach 55 oraz 65°C nie różniła się znacznie, podobnie jak skurcz suszarniczy, a dla suszu uzyskanego w 45°C struktura uległa największej destrukcji, na co wskazuje największy skurcz osiowy. Susząc dwuetapowo przy 50-procentowym odparowaniu wody w etapie konwekcyjnym, nie zaobserwowano wyraźnych różnic zmian w strukturze suszy otrzymanych przy trzech poziomach temperatury, przy czym pomiary jasności lub nasycenia barwy zostały zaklasyfikowane i do wspólnych, i do różnych grup jednorodnych. Wykorzystanie suszenia łączonego z odpowiednio dobraną długością etapu konwekcyjnego ma walor praktyczny.

Słowa kluczowe: truskawki, suszenie: konwekcyjne, próżniowe, konwekcyjno-próżniowe, struktura, stosowanie mikroskopu optycznego, barwa.

DOI: 10.15611/nit.2014.4.03

1. Wstęp

Truskawki są owocami uprawianymi w różnych strefach klimatycznych, m.in. ze względu na swoje właściwości odżywcze. Niestety, większość odmian truskawek uprawianych w Polsce w stanie świeżym występuje jedynie od końca maja do poło-

wy lipca, w zależności od odmiany. Dzięki zastosowaniu utrwalania truskawek produkty z nich wytwarzane są dostępne przez cały rok [Cao i in. 1998; Górska, Ścibisz 2011]. Jednak nawet po utrwalaniu truskawek metodą mrożenia na etapie rozmrażania, np. mikrofalowego, występują straty wielu składników, w tym antocyjanów, związków decydujących o ich barwie [Rydz, Piotrowski, Mieszkalska 2015]. Modyfikacja parametrów barwy może stanowić wskaźnik zmian zachodzących podczas wytwarzania i składowania produktu, w tym także dotyczących zmian jego struktury i budowy wewnętrznej [Mieszkalska, Piotrowski 2014].

Jedną z metod przedłużania trwałości truskawek jest suszenie: konwekcyjne, próżniowe, sublimacyjne lub łączone (kombinowane) [Cieurzyńska, Lenart, 2008; Piotrowski i in. 2011; Janowicz i in. 2014; Piotrowski i in. 2014; Sitkiewicz i in. 2014]. Produkty żywnościowe charakteryzują się skomplikowaną strukturą, która jest kreowana w przypadku produktów nieprzetworzonych przez samą naturę albo przez procesy technologiczne (np. suszenie) [Grzegory, Pietrzak, Piotrowski 2014]. Delikatna struktura truskawek ulega destrukcji w wyniku suszenia i w konsekwencji powstaje skurcz suszarniczy [Piotrowski i in. 2011; Janowicz i in. 2014; Piotrowski i in. 2014]. Nie tylko sposób suszenia, ale również jego parametry, takie jak temperatura, mają wpływ na właściwości fizyczne truskawek, w związku z tym ważne jest wybranie metody i odpowiedniej temperatury, żeby uzyskać produkt o jak najlepszej jakości i akceptowalnej strukturze [Araya-Farias, Ratti 2009; Piotrowski i in. 2011; Grzegory, Pietrzak, Piotrowski 2014].

2. Materiał i metodyka badań

Materiał do badań stanowiły truskawki odmiany Senga Sengana o średnicy 27 ± 1 mm, zamrożone i przechowywane w temperaturze -18°C . Przed eksperymentem surowiec został rozmrożony w temperaturze $+25 \pm 1^\circ\text{C}$ przez 2,5 godziny. Następnie przeprowadzono suszenie metodą: konwekcyjną, próżniową oraz konwekcyjno-próżniową do stałych wskazań wagi. Procesy suszenia zostały przeprowadzone w: (1) komorowej suszarce próżniowej SPT; (2) laboratoryjnej suszarce konwekcyjnej o wymuszonej cyrkulacji powietrza. Parametry dla trzech metod suszenia zostały przedstawione w tab. 1. Na podstawie kinetyki suszenia konwekcyjnego (od k45 do k65) w zadanych temperaturach ustalono czasy suszenia dla pierwszego etapu konwekcyjnego dla kolejnych suszeń łączonych [Piotrowski, Gołoś, Grzegory 2014] (pięć eksperymentów: od 50%k45p45 do 50%k65p65; tab. 1). W przypadku suszenia konwekcyjno-próżniowego etap konwekcyjny prowadzono w temperaturach 45, 55 i 65°C do momentu usunięcia 30, 50 oraz 70% początkowej zawartości wody.

Skurcz oznaczano za pomocą pomiarów liniowych truskawek przed rozmrożeniem i tych samych truskawek po suszeniu ($n = 4$), wykonując cztery pomiary osiowe (pionowe) S_{os} i cztery promieniowe (poziome) S_{pr} [Piotrowski i in. 2011].

Barwę oznaczano za pomocą fotokolorymetru Chroma-Meter serii CR-300 firmy Minolta w układzie CIE $L^*a^*b^*$ oraz obliczono dodatkowo nasycenie (SI) [Mi-

nolta 1991; Wołosiak 2009]. Pomiar był wykonywany w stałych warunkach oświetlenia dla 10 truskawek przed suszeniem oraz dla tych samych 10 truskawek po suszeniu. Dla każdej truskawki wykonywano trzy pomiary, uzyskując do analizy barwy 30 pomiarów.

Strukturę truskawek analizowano na podstawie zdjęć uzyskanych za pomocą optycznego stereoskopowego mikroskopu NIKON SMZ 1500 oraz oprogramowania NIS – Elements BR wersja 3.20 [Nikon 2008; Grzegory, Pietrzak, Piotrowski 2014]. Całą truskawkę przekrojono na pół i z każdej połowy wycięto plaster o grubości 5 mm. Wykonano fotografie wszystkich plasterów dla czterech truskawek przy powiększeniu całkowitym mikroskopu 32 razy. Dla potrzeb publikacji wybrano po jednym reprezentatywnym obrazie przekroju.

Obliczenia oraz analizę statystyczną wykonano za pomocą programu Microsoft Excel 2003 i programu IBM SPSS Statistics wersja 21.0 PL [Cypriańska, Bedyńska 2007; Krejtz, Krejtz 2007; Szczerbuk, Bedyńska 2007] firmy IBM Corp. Programy wykorzystano do tworzenia raportów tabelarycznych, wykresów z wybranymi statystykami opisowymi lub przeprowadzenia testu porównań wielokrotnych Gamesa-Howella, niewymagającego spełnienia kryterium o jednorodności wariancji [Krejtz, Krejtz 2007; Piotrowski i in. 2014]. W odniesieniu do barwy i skurczu normalność rozkładu analizowanych parametrów oceniono za pomocą testu Shapiro-Wilka (tab. 2). Na jego podstawie ustalono, że test porównań wielokrotnych można zastosować do skurczu promieniowego (S_{pr}), jasności (L^*), czerwieni ($+a^*$) oraz nasycenia (SI).

Tabela 1. Układ eksperymentów, oznaczenia oraz parametry stosowane podczas suszenia truskawek (mrożonych i rozmrożonych) sposobem konwekcyjnym, próżniowym i konwekcyjno-próżniowym
Table 1. Scheme of experiments, symbols and parameters used during drying strawberries (frozen and thawed) by convective, vacuum and convective-vacuum methods

Metoda suszenia Drying methods	Kod suszenia Drying code	Parametry suszenia Drying parameters		
		temp. temp. T [°C]	ciśnienie pressure P [kPa]	czas time t [min]
Konwekcyjne Convective	k45	45	100	1070
	k55	55	100	881
	k65	65	100	652
Próżniowe Vacuum	p45	45	4	1030
	p55	55	4	872
	p65	65	4	561
Konwekcyjno- -próżniowe Convective-vacuum	50%k45p45	45&45	100\4	110+830 = 940
	30%k55p55	55&55	100\4	60+741 = 801
	50%k55p55	55&55	100\4	115+761 = 876
	70%k55p55	55&55	100\4	178+673 = 851
	50%k65p65	65&65	100\4	80+736 = 816

Źródło: opracowanie własne.

Source: own study.

Tabela 2. Wyniki istotności testu Shapiro-Wilka (p) weryfikujące zgodność z rozkładem normalnym pomiarów skurczu i barwy

Table 2. Results of significance Shapiro-Wilk test (p) verifying agreement with normal distribution of shrinkage and color measurements

Wyszczególnienie Specification	S_{os}	S_{pr}	L^*	$+a^*$	$+b^*$	SI
Istotność testu Test significance	0,000	0,967	0,176	0,059	0,000	0,379

Jeśli $p \geq 0,05$ hipoteza o normalności rozkładu nie jest odrzucona. If $p \geq 0.05$ the normal distribution hypothesis is not rejected.

Źródło: opracowanie własne.

Source: own study.

3. Wyniki i dyskusja

Wartości procentowe dla skurczu osiowego i promieniowego zestawiono w tab. 3. Największy skurcz osiowy oraz promieniowy powstał w wyniku suszenia konwekcyjnego przy temperaturze najniższej 50°C (odpowiednio 68,1 oraz 20,7%), a najniższy przy temperaturze najwyższej 70°C (62,6 oraz 20,2%). Najmniejszy skurcz osiowy i promieniowy powstał przy suszeniu próżniowym i podobnie jak przy suszeniu konwekcyjnym, przy czym zaistniała prawidłowość: im wyższa była temperatura suszenia, tym skurcz był mniejszy w przypadku skurczu osiowego. Wynika to prawdopodobnie z tego, że przy podwyższonej temperaturze czas suszenia był krótszy i suszony materiał był w mniejszym stopniu narażony na działanie temperatury. Skurcz truskawek podczas suszenia konwekcyjno-próżniowego miał wartości zbliżone do uzyskanych w wyniku suszenia próżniowego. Natomiast był zdecydowanie niższy od uzyskanego w wyniku suszenia konwekcyjnego. Skurcz osiowy oraz promieniowy był najniższy podczas zastosowania najwyższej temperatury (odpowiednio 26,2 i 9,8%), natomiast w temperaturach 45 i 50°C oraz 55 i 60°C wartości skurczu były do siebie zbliżone (tab. 3).

Suszenie próżniowe i konwekcyjno-próżniowe pozwala na uzyskanie produktu o mniejszym skurczu suszarniczym, a więc o lepszej jakości niż suszenie konwekcyjne; im krótszy jest etap konwekcyjny, tym skurcz suszarniczy jest mniejszy. Dzieje się tak, gdyż podczas suszenia konwekcyjnego dochodzi do załamania struktury i powstania skurczu w wyniku powolnego odparowywania wody, natomiast w warunkach obniżonego ciśnienia cząstki suszonego materiału zdecydowanie łatwiej zachowują swoją objętość, co prowadzi do powstania mniejszego skurczu suszarniczego.

Podobne wyniki uzyskali Wang i Brennan [1995], którzy zaobserwowali, że przy suszeniu konwekcyjnym ziemniaków większy skurcz wystąpił przy suszeniu w temperaturze wyższej, 70°C, niż w niższej, wynoszącej 40°C. Piotrowski i wsp. [2014] również zaobserwowali większy skurcz pionowy i poziomy dla niższej temperatury

suszenia, wynoszącej 50°C, a mniejszy skurcz dla temperatury 70°C, zarówno przy zadanym ciśnieniu 4, jak i 16 kPa. W innych badaniach Sitkiewicz i wsp. [2014] skurcz i gęstość otrzymanych suszy truskawkowych zależały od zastosowanych parametrów suszenia, co było szczególnie widoczne w przypadku produktów otrzymanych w kolejnych wariantach procesu suszenia kombinowanego.

Tabela 3. Skurcz osiowy i promieniowy wysuszonych truskawek

Table 3. Axial and radial shrinkage of dried strawberries

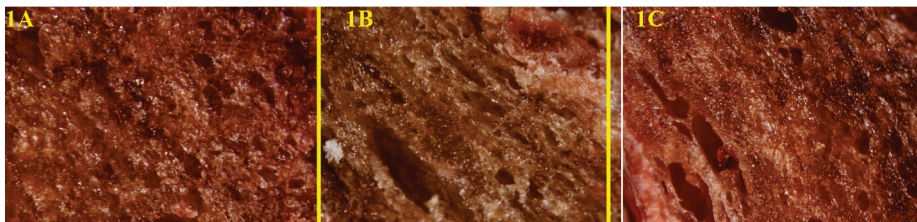
Kod suszenia Drying code	S_{os} (%)	SD S_{os} (%)	S_{pr} (%)	SD S_{pr} (%)
k45	68,1 ^(c)	±1,4	20,7 ^(c)	±3,9
k55	62,7 ^(c)	±2,9	20,7 ^(c)	±4,4
k65	62,6 ^(c)	±4,4	20,2 ^(bc)	±1,4
p45	31,9 ^(ab)	±9,3	15,0 ^(ab)	±2,0
p55	25,8 ^(a)	±2,6	9,0 ^(a)	±4,5
p65	19,4 ^(a)	±5,6	11,2 ^(ab)	±8,1
50%k45p45	30,0 ^(ab)	±8,9	14,9 ^(ab)	±4,8
30%k55p55	27,1 ^(a)	±2,4	10,7 ^(a)	±1,1
50%k55p55	31,9 ^(ab)	±7,6	17,40 ^(bc)	±8,6
70%k55p55	42,3 ^(b)	±4,6	16,8 ^(bc)	±1,9
50%k65p65	26,2 ^(a)	±3,9	9,8 ^(a)	±3,1

a, b, c – wartości średnie oznaczone tą samą literą w kolumnie nie różnią się istotnie statystycznie (test Gamesa-Howella, $p = 0,05$).

a, b, c – average values indicated by the same letters in a column are not significantly different (Games-Howell test, $p = 0.05$).

Źródło: opracowanie własne.

Source: own study.

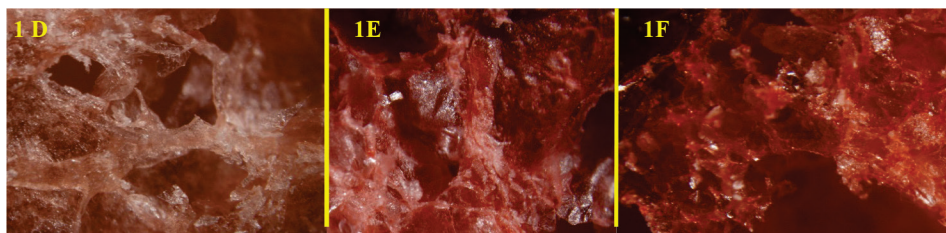


Fot. 1A, 1B, 1C. Mikroskopowe obrazy struktury wewnętrznej truskawek suszonych konwekcyjnie w temperaturze otoczenia około 45, 55 i 65°C przy powiększeniu 32×

Photos. 1A, 1B, 1C. Microscopic images of internal structure of strawberries dried by convective method at ambient temperature about 45, 55 and 65°C at the magnification of 32×

Źródło: zbiory własne.

Source: own photos.

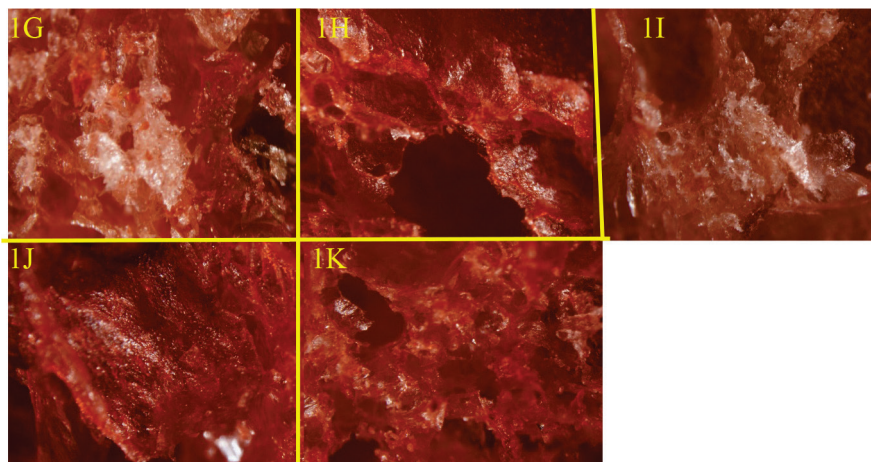


Fot. 1D, 1E, 1F. Mikroskopowe obrazy struktury wewnętrznej truskawek suszonych próżniowo w temperaturze otoczenia około 45, 55 i 65°C przy powiększeniu 32×

Photos 1D, 1E, 1F. Microscopic images of internal structure of strawberries dried by vacuum method at ambient temperature about 45, 55 and 65°C at the magnification of 32×

Źródło: zbiory własne.

Source: own source.



Fot. 1G, 1H, 1I, 1J, 1K. Mikroskopowe obrazy struktury wewnętrznej truskawek suszonych konwekcyjnie – próżniowo; wariant procesu: w temperaturze otoczenia ↔ udział odparowania wody w etapie konwekcyjnym; 1G) około 45&45°C ↔ 50%; 1H) 55&55°C ↔ 30%; 1I) 55&55°C ↔ 50%; 1J) 55&55°C ↔ 70%; 1K) 65&65°C ↔ 50%; przy powiększeniu 32×

Photos 1G, 1H, 1I, 1J, 1K. Microscopic images of internal structure of strawberries dried by convective-vacuum; process variant: at ambient temperature ↔ share of evaporation water at convective stage; 1G) about 45&45°C ↔ 50%; 1H) 55&55°C ↔ 30%; 1I) 55&55°C ↔ 50%; 1J) 55&55°C ↔ 70%; 1K) 65&65°C ↔ 50%; at the magnification of 32×

Źródło: zbiory własne.

Source: own source.

Na fotografii 1 (11 zdjęć) przedstawiono przekroje wysuszonych wybranymi sposobami owoców z truskawek mrożonych/rozrożonych.

W wyniku suszenia konwekcyjnego niezależnie od zastosowanej temperatury struktura powstałego suszu uległa znacznej destrukcji, co przedstawiono na zdję-

ciach (fot. 1A, 1B, 1C). Tkanka suszu tworzy zwartą, jednolitą całość. Struktury truskawek wysuszonych konwekcyjnie w temperaturach 55 oraz 65°C nie różnią się znacznie, podobnie jak skurcz suszarniczy, a w temperaturze 45°C struktura uległa największej destrukcji, na co wskazują największe przestrzenie widoczne na zdjęciach oraz największy skurcz osiowy. Struktura truskawek wysuszonych próżniowo jest bardziej otwarta i porowata od struktury truskawek suszonych konwekcyjnie (fot. 1D, 1E, 1F). Im wyższa była temperatura suszenia próżniowego, tym struktura była bardziej porowata. W przypadku suszy konwekcyjno-próżniowych (fot. 1G-1K) zaobserwowano następującą właściwość: struktura suszy była tym bardziej porowata, im dłuższy był etap próżniowy.

Janowicz i in. [2009] wykazali, że podczas suszenia konwekcyjnego jabłek ich struktura uległa znacznym zmianom, a komórki uległy spłaszczeniu i zmniejszyła się porowatość jabłek suszonych konwekcyjnie w stosunku do świeżych owoców. Podobne wyniki uzyskali Giri i Prasad [2007], badając strukturę grzybów suszonych konwekcyjnie i sposobem mikrofalowo-próżniowym. Struktura grzybów suszonych konwekcyjnie była mniej otwarta i porowata od struktury grzybów suszonych mikrofalowo-próżniowo, a także zaobserwowano silny skurcz tkanek. Struktura grzybów suszonych sposobem mikrofalowo-próżniowym była bardziej porowata przy zastosowaniu niższego ciśnienia. Ciurzyńska i Lenart [2005] podczas suszenia konwekcyjnego truskawek zauważyli znaczną destrukcję struktury komórek wysuszonych owoców oraz duże, nieregularne przestrzenie powstałe na skutek rozerwania ścian komórkowych. Wybrane właściwości mechaniczne suszy truskawkowych sugerowały największe zniszczenie struktury w suszu konwekcyjnym [Piotrowski i in. 2014]. Analizowane w niniejszej pracy badania były prowadzone na jednej odmianie truskawek (Senga Sengana), a badania Janowicz i in. [2014] wykazały, że zróżnicowanie odmian jest widoczne zarówno na poziomie zamrożonego surowca, jak i otrzymanych liofilizatów truskawkowych. Przykładowo susze odmiany Senga Sengana odróżniały się od Pandory wielkością i kształtem komórek [Janowicz i in. 2014].

Analizując wpływ temperatury suszenia na jasność uzyskanego suszu (tab. 4), stwierdzono, że największą jasnością na poziomie 36,44 charakteryzowały się truskawki wysuszone sposobem konwekcyjno-próżniowym w temperaturach 55 i 60°C do 30% odparowania zawartości wody w etapie konwekcyjnym, a najmniejszą (30,44) truskawki wysuszone tym samym sposobem, ale w temperaturach najniższych: 45 i 50°C, do 50% zawartości wody. Podczas suszenia konwekcyjnego jasność wzrastała wraz ze wzrostem temperatury; największa była przy temperaturze 65°C.

Podobne wyniki otrzymał Alibas [2007], badając parametry barwy liści pokrzywy. Wykazał, że podczas suszenia konwekcyjnego w temperaturze najniższej, czyli 50°C, uzyskano jasność barwy najbardziej zbliżoną do świeżego surowca. Podczas suszenia próżniowego jasność najbardziej zbliżoną do surowca uzyskano w temperaturze najwyższej, czyli 75°C. Figiel [2010] uzyskał wysokie wartości (L^*) zarówno

no podczas suszenia konwekcyjnego kostek buraka, jak również suszenia łączonego konwekcyjno-mikrofalowo-próżniowego z etapem konwekcyjnym prowadzącym do usunięcia najmniejszej zawartości wody, podobnie do wyników uzyskanych w niniejszej pracy. Wykazał również, że wartości (L^*) wzrastały wraz ze zmniejszeniem zawartości wody w suszu. Wysokie wartości (L^*) w próbkach wysuszonych konwekcyjnie mogły wynikać z wystąpienia reakcji Maillarda spowodowanej wysoką temperaturą i długim czasem suszenia.

Wykazano, że czerwień ($+a^*$) była najniższa podczas suszenia konwekcyjnego w temperaturze 65°C i wynosiła 10,69, a także podczas suszenia konwekcyjno-próżniowego do 70% wody odparowanej w etapie konwekcyjnym (16,73), a najwyższa podczas suszenia próżniowego w temperaturze 60°C ; jej wartość wynosiła 23,4. Wynika z tego, że suszenie próżniowe powoduje mniejsze zmiany barwy niż suszenie konwekcyjne ze względu na stosowanie niższych temperatur oraz ograniczony dostęp tlenu, co prowadzi do zmniejszenia reakcji enzymatycznego brunatnienia, która powoduje zmiany barwy. Wyniki uzyskane podczas suszenia łączonego są zbliżone do uzyskanych podczas suszenia próżniowego, z wyjątkiem suszenia łączonego do odparowania 70% wody w temperaturach 55 i 60°C . Oznacza to, że suszenie sposobem łączonym nie powoduje znacznych zmian w barwie uzyskanych suszy w porównaniu z samym suszeniem próżniowym, a w temperaturach 55 i 60°C , niezależnie od stopnia odparowanej wody, różniło się statystycznie od samego suszenia próżniowego (z wyjątkiem odparowania 50% wody w etapie konwekcyjnym), co wykazano za pomocą testu Gamesa-Howella (tab. 4).

Podobnie jak w przypadku czerwieni suszenie spowodowało duże zmiany w wartościach żółci w stosunku do świeżego surowca, niezależnie od zastosowanego sposobu suszenia oraz temperatury. Najmniejsze różnice ($+b^*$) uzyskano w suszeniu próżniowym, a największe – w konwekcyjnym w najwyższej temperaturze. W suszeniu sposobem łączonym wyniki były zbliżone do uzyskanych podczas suszenia próżniowego, z wyjątkiem suszenia konwekcyjno-próżniowego do odparowania 70% wody w etapie konwekcyjnym w temperaturach 55 i 60°C . Różnice między wynikami uzyskanymi w suszeniu próżniowym oraz łączonym w tych samych zakresach temperatur z reguły nie były istotne statystycznie (test Gamesa-Howella), z wyjątkiem ($+b^*$) uzyskanego w suszeniu łączonym w temperaturach 55 i 60°C do 70% odparowanej wody (tab. 3).

Podobne wyniki dotyczące czerwieni oraz żółci dla suszonych liści pokrzywy otrzymał Alibas [2007]. Wykazał, że podczas suszenia konwekcyjnego parametry barwy były niższe niż podczas suszenia próżniowego, a także parametry barwy uzyskane w suszeniu próżniowym były bardziej zbliżone do parametrów barwy surowca niż w przypadku suszenia konwekcyjnego. W badaniach, które przeprowadzili Rydz, Piotrowski, Mieszalska [2015], wykazano, że suszenie próżniowe powodowało statystycznie istotne zmniejszenie zawartości antocyjanów względem ich zawartości w truskawkach zamrożonych odmiany Senga Sengana, które rozmrożono z wykorzystaniem energii mikrofal przed suszeniem. Arnaseaw, Theerakulpisut i Benjapiyaporn [2010] wykazali, że podczas suszenia próżniowego papryki ostrej zmiany bar-

Tabela 4. Wpływ sposobu suszenia na parametry barwy {jasność (L), czerwień (+a), żółć (+b), nasycenie (SI)} powierzchni zewnętrznej truskawek w wyniku suszenia: konwekcyjnego, próżniowego lub konwekcyjno-próżniowego (dwuetapowego, z pierwszym etapem przeprowadzonym przy ciśnieniu atmosferycznym (100 kPa))

Table 4. Influence of drying method on color parameters {brightness (L), redness (+a), yellowness (+b), saturation index (SI)} external surface of strawberries dried by: convective, vacuum or convective-vacuum methods (two stage, with first stage carried out at a atmospheric pressure (100 kPa))

Kod suszenia Drying methods	L [-]	+a [-]	+b [-]	SI [-]
	$L_{sr} \pm SD$	$+a_{sr} \pm SD$	$+b_{sr} \pm SD$	$SI_{sr} \pm SD$
k45	31,90 ± 1,56 (ab)	14,23 ± 2,40 (b)	5,77 ± 0,62	15,37 ± 2,37 (b)
k55	32,76 ± 5,06 (abcde)	17,75 ± 3,20 (cd)	6,93 ± 2,48	19,10 ± 3,80 (cd)
k65	34,96 ± 1,25 (d)	10,74 ± 1,67 (a)	5,83 ± 1,18	12,29 ± 1,94 (a)
p45	34,04 ± 1,60 (cd)	20,71 ± 3,26 (def)	9,79 ± 1,88	22,91 ± 3,71 (def)
p55	31,18 ± 1,95 (ab)	23,49 ± 3,13 (g)	9,11 ± 2,25	25,22 ± 3,70 (f)
p65	31,96 ± 1,84 (ab)	20,92 ± 2,82 (efg)	10,57 ± 1,92	23,45 ± 3,33 (ef)
50%k45p45	30,57 ± 2,10 (a)	21,96 ± 3,02 (fg)	10,16 ± 1,93	24,21 ± 3,50 (ef)
30%k55p55	36,15 ± 1,77 (e)	19,31 ± 2,93 (de)	8,80 ± 1,65	20,97 ± 3,60 (d)
50%k55p55	32,51 ± 2,43 (bc)	21,45 ± 3,64 (efg)	8,40 ± 2,59	23,07 ± 4,31 (def)
70%k55p55	33,71 ± 1,25 (c)	16,47 ± 2,01 (c)	5,43 ± 0,63	17,35 ± 2,04 (c)
50%k65p65	31,72 ± 1,58 (ab)	20,18 ± 2,33 (def)	10,09 ± 1,33	22,57 ± 2,67 (de)

a, b, c, d, e, f, g – wartości średnie oznaczone tą samą literą w kolumnie nie różnią się istotnie statystycznie (test Gamesa-Howella, $p = 0,05$).

a, b, c, d, e, f, g – average values indicated by the same letters in a column are not significantly different (Games-Howell test, $p = 0.05$). SD – odchylenie standardowe. SD – standard deviation.

Źródło: opracowanie własne.

Source: own study.

wy były najmniejsze w najniższych temperaturach suszenia, a także że zmiany barwy podczas suszenia próżniowego były mniejsze niż podczas suszenia konwekcyjnego prowadzonego przy ciśnieniu atmosferycznym. O barwie papryki ostrej decydują karotenoidy, a o barwie truskawek – antocyjany, lecz również można się spodziewać dalej posuniętego zniszczenia barwników w suszeniu konwekcyjnym w wyniku przedłużającego się czasu suszenia przy wyższym ciśnieniu (a porównywalnej temperaturze procesu) niż w suszeniu próżniowym.

Najmniejsze nasycenie barwy zaobserwowano w przypadku suszenia konwekcyjnego, szczególnie podczas suszenia w najwyższej temperaturze 65°C; wynosiło ono 12,11, a największe – w suszeniu próżniowym w temperaturze 60°C (25,09) (tab. 4). W przypadku suszenia łączonego wyniki są zbliżone do uzyskanych w efekcie suszenia próżniowego, a w temperaturach 55 i 60°C do odparowania 30 oraz 70% wody różnią się statystycznie od siebie. Z tego wynika, że suszenie próżniowe

i konwekcyjno-próżniowe pozwala na uzyskanie suszu o dobrych wskaźnikach barwy, w przeciwieństwie do suszenia konwekcyjnego, a w szczególności suszenia w temperaturach najwyższych, najniższych i średnich do 50% odparowania wody w etapie konwekcyjnym. Z analizy porównań wielokrotnych wynika, że nie ma statystycznie istotnej różnicy między wartościami nasycenia barwy uzyskanymi w wyniku suszenia próżniowego oraz suszenia konwekcyjno-próżniowego prowadzonych w tych samych zakresach temperatur do odparowania 50% zawartości wody w etapie konwekcyjnym, natomiast w przypadku odparowania 30 oraz 70% wody w etapie konwekcyjnym zaistniały różnice istotne statystycznie (tab. 4).

Podobne wyniki, susząc liście pokrzywy, uzyskał Alibas [2007]. Podczas suszenia próżniowego nasycenie barwy było największe i zarazem najbardziej zbliżone do nasycenia barwy surowca, a także było wyższe w wyższych temperaturach. Podczas suszenia konwekcyjnego nasycenie barwy było mniejsze niż podczas suszenia próżniowego i było najniższe w najwyższej temperaturze suszenia. Podobnie ton barwy był wyższy przy niższych temperaturach suszenia konwekcyjnego (najniższy w temperaturze 50°C), a przy suszeniu próżniowym wyższy w temperaturze wyższej (75°C). Prowadząc modelowanie zmian barwy, m.in. podczas suszenia truskawek, również dochodzono do wniosku, że im dłuższy czas suszenia i wyższa temperatura rozpatrywanego procesu, tym większej zmianie ulegają wybrane parametry barwy [Mieszkalska, Piotrowski 2014].

4. Podsumowanie

Suszenie konwekcyjne powoduje powstanie największego skurczu suszarniczego, natomiast najniższy skurcz powstaje w wyniku suszenia próżniowego. Zastosowanie suszenia łączonego prowadzi do powstania małego (w zakresie 20-40% (osiowy) i 10-20% (promieniowy)) skurczu truskawek, zbliżonego do skurczu powstałego po procesie suszenia próżniowego. Temperatura suszenia ma istotny wpływ na skurcz. Zastosowanie wyższych temperatur w rozpatrywanym zakresie zmienności (od 45 do 65°C) pozwala na uzyskanie produktu o mniejszym skurczu w suszeniu próżniowym i łączonym, co może być spowodowane krótszym czasem suszenia w wyższych temperaturach.

Suszenie konwekcyjne, niezależnie od zastosowanej temperatury, powoduje drastyczne zmiany w delikatnej strukturze truskawek. Zastosowanie suszenia próżniowego oraz łączonego prowadzi do zwiększenia porowatości struktury i polepszenia jakości suszu. Im mniejszy jest stopień odparowania na etapie konwekcyjnym (przez co etap próżniowy jest dłuższy), tym struktura jest bardziej porowata. Suszenie konwekcyjne powoduje największe zmiany barwy suszonego produktu i znaczne obniżenie większości parametrów barwy: czerwieni, żółci, w stosunku do świeżego surowca. Zastosowanie suszenia próżniowego – i samego, i jako etapu w suszeniu łączonym – prowadzi do uzyskania wyższych wartości parametrów barwy i pozwala na uzyskanie produktu o barwie zbliżonej do barwy świeżego surowca. Temperatura

suszenia ma istotny wpływ na barwę suszu. Parametry czerwieni i żółci są z reguły wyższe w niższych temperaturach (suszenie próżniowe i konwekcyjno-próżniowe), co potwierdza ich wrażliwość na działanie wysokich temperatur. Wykorzystanie suszenia łączonego z odpowiednio dobraną długością etapu konwekcyjnego ma walor praktyczny. W przypadku dążenia do osiągnięcia najwyższych wartości parametrów barwy w temperaturze 55°C dla suszenia konwekcyjno-próżniowego wskazano warianty z usunięciem w etapie suszenia konwekcyjnego 30% (dla jasności oraz żółci) i 50% (dla czerwieni i nasycenia) wody.

Literatura

- Alibas I., 2007, *Energy consumption and colour characteristics of nettle leaves during microwave, vacuum and convective drying*, "Biosystems Engineering", vol. 96, s. 495-502.
- Araya-Farias M., Ratti C., 2009, *Dehydration of foods: General concepts*, [w:] C. Ratti (red.), *Advances in Food Dehydration*, CRC Press, New York, chapter 1, s. 1-32.
- Artnaseaw A., Theerakulpisut S., Benjapiyaporn C., 2010, *Development of a vacuum heat pump dryer for drying chilli*, "Biosystems Engineering", vol. 105, s. 130-138.
- Cao G., Russel R.M., Lischner N., Prior R.L., 1998, *Serum antioxidant capacity is increased by consumption of strawberries, spinach, red wine or vitamin C in elderly women*, "The Journal of Nutrition", vol. 12, s. 2383-2390.
- Ciurzyńska A., Lenart A., 2008, *Wpływ odwadniania osmotycznego na zmiany struktury liofilizowanych truskawek*, „Acta Agrophysica”, vol. 12, 3, s. 613-624.
- Cypryńska M., Bedyńska S., 2007, *Porównywanie dwóch grup: testy t – Studenta i ich nieparametryczne odpowiedniki*, [w:] S. Bedyńska, A. Brzezicka (red.), *Statystyczny drogowkaz*, Wydawnictwo SWPS Academica, Warszawa, rozdział 8, s. 184-205.
- Figiel A., 2010, *Drying kinetics and quality of beetroots dehydrated by combination of convective and vacuum-microwave methods*, "Journal of Food Engineering", vol. 98, s. 461-470.
- Giri S.K., Prasad S., 2007, *Drying kinetics and rehydration characteristics of microwave-vacuum and convective hot-air dried mushrooms*, "Journal of Food Engineering", vol. 78, s. 512-521.
- Górska A., Ścibisz I., 2011, *Wpływ temperatury na zawartość barwników antocyjanowych*, „Przemysł Fermentacyjny i Owocowo-Warzywny”, t. 55, 4, s. 14-15.
- Grzegory P., Pietrzak T., Piotrowski D., 2014, *Wykorzystanie mikroskopii w analizie struktury suszonej żywności*, „Przemysł Spożywczy”, t. 68, 2, s. 12-15.
- Janowicz M., Domian E., Lenart A., 2009, *Zmiany struktury wewnętrznej suszonej konwekcyjnie tkanki jabłek wywołane odwadnianiem osmotycznym*, „Inżynieria Rolnicza”, r. 13, 2, s. 67-73.
- Janowicz M., Sitkiewicz I., Piotrowski D., Krasowicz E., 2014, *Structure of freeze-dried strawberries*, [w:] J. Andrieu, R. Peczalcki, S. Vessot-Crastes (red.), *Proceedings of the 19th International Drying Symposium (IDS 2014)*, August 24-27, 2014, Lyon France, EDP Sciences, Les Ulis, CD-ROM, paper/file: ids2014140074.pdf, s. 1-7.
- Krejtz K., Krejtz I., 2007, *Jednoczynnikowa analiza wariancji w schemacie międzygrupowym*, [w:] S. Bedyńska, A. Brzezicka (red.), *Statystyczny drogowkaz*, Wydawnictwo SWPS Academica, Warszawa, rozdział 9, s. 208-230.
- Mieszkańska A., Piotrowski D., 2014, *Wykorzystanie modeli barwy do oceny suszonych surowców roślinnych*, „Postępy Techniki Przetwórstwa Spożywczego”, t. 24, 2, s. 102-111.
- Minolta, 1991, *Chroma Meter CR-300/CR-310/CR-321/CR-331/CR-33C Instruction manual*, s. 1-92.
- Nikon, 2008, *NIS – Elements Advanced Research. Instrukcja użytkownika* (wersja 3.00), s. 1-205.

- Piotrowski D., Gołoś A., Grzegory P., 2014, *Shrinkage and mechanical properties of defrosted strawberries dried by convective, vacuum and convective-vacuum methods*, „Acta Agrophysica”, vol. 21, 2, s. 193-204.
- Piotrowski D., Janowicz M., Sitkiewicz I., Ciurzyńska A., Lenart A., 2011, *Wpływ temperatury i ciśnienia w komorze suszarki próżniowej na proces suszenia oraz na skurcz truskawek*, „Zeszyty Problemowe Postępów Nauk Rolniczych”, z. 558, s. 197-206.
- Rydz L., Piotrowski D., Mieszkalska A., 2015, *Wpływ procesu rozmrażania mikrofalowego truskawek na zawartość wybranych składników w suszu*, „Zeszyty Problemowe Postępów Nauk Rolniczych”, z. 581, w druku.
- Sitkiewicz I., Janowicz M., Piotrowski D., Szlendak L., Krasowicz E., 2014, *Selected physical properties and structure of strawberries convective and vacuum dried*, [w:] J. Andrieu, R. Peczalski, S. Vessot-Crastes (red.), Proceedings of the 19th International Drying Symposium (IDS 2014), August 24-27, 2014, Lyon France, EDP Sciences, Les Ulis, CD-ROM, paper/file: ids2014140073.pdf, s. 1-7.
- Szczerbuk J., Bedyńska S., 2007, *Tabelaryczne, graficzne i liczbowe sposoby podsumowywania zmiennych*, [w:] S. Bedyńska, A. Brzezińska (red.), *Statystyczny drogowskaz*, Wydawnictwo SWPS Academica, Warszawa, s. 62-93.
- Wang N., Brennan J.G., 1995, *Changes in structure, density and porosity of potato during dehydration*, „Journal of Food Engineering”, vol. 24, s. 61-76.
- Wołosiak R., 2009, *Ocena barwy produktów spożywczych*, [w:] M. Obiedziński (red.), *Wybrane zagadnienia z analizy żywności*, Wydawnictwo SGGW, Warszawa, rozdział 17, s. 222-228.

INFLUENCE OF THE TEMPERATURE ON THE STRUCTURE AND COLOR OF STRAWBERRIES DRIED BY SELECTED METHODS

Summary: The aim of the study was to analyze the effect of temperature on the structure and color of strawberries dried by convection, convection – vacuum and vacuum method. Frozen and thawed strawberries of Senga Sengana variety were dried by convection, vacuum, convective – vacuum (two-stage in the first stage removed 50% of water) at ambient temperatures of about 45, 55 and 65°C. Furthermore, for the central temperature of 55°C a two-stage drying, with the removal of 30, 50 and 70% of the initial water content in stage convection was proposed. Changes in the structure were carried out using linear measurements used to determine shrinkage (axial and radial) and color photographs taken with a camera and an optical stereoscopic microscope. The color was determined by reflective foto – colorimeter in the CIE L* a* b*. Both drying methods: vacuum and two-stage allowed to obtain axial and radial shrinkage of strawberries lower for convective drying. The structure of the convection dried strawberries at temperatures 55 and 65°C did not differ significantly from each other, as well as shrinkage obtained for drying at 45°C had the highest destruction of the structure, as indicated by the largest axial contraction. Drying in two stages with a 50% evaporation of water in the convection stage, there was no apparent difference of changes in the obtained dried structure at three temperature levels, wherein the measured brightness and chroma were classified to a common and uniform as well as different groups. The application of combined drying with suitably chosen length of the convective stage has practical value.

Keywords: strawberries, convective, vacuum, convective – vacuum drying, structure, the use of optical microscopy, color.