WYDAWNICTWO
INŻYNIERIA ROLNICZA
AGRICULTURAL ENGINEERING
2013: Z. 4(147) T.1
S. 325-333
ISSN 1429-7264
Polskie Towarzystwo Inżynierii Rolniczej
http://www.ptir.org

WPŁYW TEMPERATURY CZYNNIKA SUSZĄCEGO NA KINETYKĘ SUSZENIA, ZAWARTOŚĆ POLIFENOLI I AKTYWNOŚĆ PRZECIWUTLENIAJĄCĄ SUSZONEJ FONTANNOWO PAPRYKI CZERWONEJ

Mariusz Surma, Klaudiusz Jałoszyński, Marta Pasławska
Instytut Inżynierii Rolniczej, Uniwersytet Przyrodniczy we Wrocławiu
Stanisław Peroń
Państwowa Wyższa Szkoła Zawodowa w Sulechowie

Streszczenie. Wiele badań naukowych potwierdza, że zastosowanie procesów technologicznych do obróbki tkanki roślinnej (m.in. suszenie) może w różnym stopniu wpływać na jej wartość odżywczą, zawartość polifenoli i zdolność przeciwrodnikową. W pracy przedstawiono wyniki badań dotyczących wpływu temperatury czynnika suszącego na dynamikę wysychania, aktywność przeciwutleniającą i zawartość polifenoli w papryce czerwonej suszonej fontannowo. Wzrost temperatury czynnika suszącego z 70 do 90^{o}C przy zachowaniu stałości pozostałych parametrów procesu spowodował skrócenie czasu suszenia z 344 do 108 minut i zwiększenie średniego objętościowego strumienia wilgoci około 3,5 krotnie. W czasie suszenia papryki czerwonej stwierdzono, że wraz ze wzrostem temperatury czynnika suszącego wzrasta zawartość związków polifenolowych i aktywność przeciwutleniająca.

Słowa kluczowe: suszenie fontannowe, papryka czerwona, polifenole i aktywność przeciwutleniająca

Wstęp i cel badań

Papryka czerwona (*Capsicum annuum* L.) jest zaliczana do cennych warzyw ze względu na swój skład chemiczny, walory dietetyczne i smakowe. Sto gram papryki czerwonej zawiera zestaw witamin: A – 333 µg, E – 2,9 mg, K – 5 µg, ryboflawina – 0,1 mg, niacyna – 1,4 mg, B_5 – 0,3 mg, a B_6 – 0,3 mg, biotyna – 3 µg, B – 52 µg, C – 150 mg i minerały: sód – 6 mg, potas – 250 mg, wapń – 15 mg, magnez – 14 mg, fosfor – 35 mg, żelazo – 0,5 mg, cynk – 0,3 mg, miedź – 0,1 mg, mangan - 0,1 mg, jod – 2,3 µg i nielotne olejki eteryczne. Ma właściwości antyseptyczne, przeciwwirusowe, łagodzi dolegliwości przewodu pokarmowego, zbija gorączkę, reguluje ciśnienie krwi, chroni przy tym przed przedwczesnym zwapnieniem naczyń krwionośnych. Wymienione wyżej związki powodują, że

papryka jest znakomitym przeciwutleniaczem – zapobiega m.in. procesom starzenia, powstawaniu komórek rakowych (Borowska, 1995).

Owoce i warzywa stanowią dla człowieka bogate źródło związków o właściwościach przeciwutleniających. Związki te reprezentowane są przede wszystkim przez: polifenole (kwasy fenolowe i flawonoidy z antocyjanami), witaminy A, C i tokoferole, karotenoidy, selen, chlorofiliny, glutation, indole, fityniany, tiocyjaniany (Wawrzyniak i in., 2011; Kanner i in., 1994). Wykazują one zdolność neutralizacji szkodliwego działania wolnych rodników i nadtlenków lipidowych.

Przeciwutleniacze zawarte w warzywach i owocach należą do substancji o działaniu prozdrowotnym. Zaliczają się one do tzw. fitozwiązków, zwanych substancjami nieodżywczymi. Stosowane są jako czynnik prewencyjny i leczniczy w wielu chorobach (Rouseff R. i Nagy S., 1994).

Wiele badań naukowych potwierdza, że zastosowanie procesów technologicznych do obróbki tkanki roślinnej (m.in. suszenie) może w różnym stopniu wpływać na jej wartość odżywczą, zawartość polifenoli i zdolność przeciwrodnikową.

Suszenie produktów pochodzenia roślinnego może zakończyć się sukcesem, jeśli zostaną dobrane czynniki: obliczone wielkości termodynamiczne oraz cyrkulacja powietrza odpowiadająca za transport wilgoci z otoczenia suszonego materiału. Podstawą suszenia produktów żywnościowych jest dostarczanie ciepła i usuwanie wilgoci w taki sposób, by nie zmienić w sposób istotny właściwości produktu (Krzykowski i in., 2011, Witrowa-Rajchert, 2000).

Celem pracy było przedstawienie uzyskanych wyników dotyczących dynamiki wysychania papryki czerwonej w suszarce fontannowej i wpływu temperatury czynnika suszącego na zawartość polifenoli i aktywność przeciwutleniającą.

Metodyka badań

Paprykę czerwoną odmiany King Arthur, którą poddawano rozdrobnieniu w kostkę | o wymiarach 10×10x7 mm o wilgotności początkowej ok. 91% poddano procesowi suszenia prowadzonemu w suszarce fontannowej przy temperaturze czynnika suszącego 70, 80, 90^{o}C. Prędkość przepływającego strumienia powietrza wynosiła 7 m·s^{-1} (co pozwalało na fontannowanie złoża) i mierzono ją anemometrem skrzydełkowym Lutrom YK-80AP z dokładnością ±0,1 m·s^{-1}. Do pomiaru temperatury czynnika suszącego użyto termopary Cu-Ko (±0,5 ^{o}C). Pomiarów ubytków wody dokonywano ważąc komorę wraz z materiałem na wadze WPT3/6 z dokładnością ±0,1 g. Temperaturę otoczenia mierzono termometrem temperaturowym (±1 ^{o}C). Próbkę surowca o masie 500 gram suszono do wilgotności końcowej ok. 5%. Początkową i końcową zawartość wody w materiale określano metodą suszarkową wg PN 90/A-75101.03. Średni objętościowy strumień wilgoci m (kg $H_2O \cdot m^{-3}h^{-1}$) obliczano z zależności:

$$m = \frac{m_w}{V_k \cdot \tau} \tag{1}$$

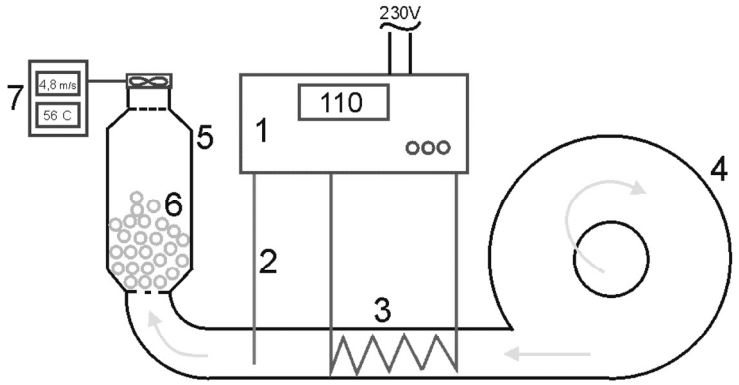
gdzie:

m_v – ubytek masy wody w trakcie całego procesu suszenia (kg),

V_k – objętość komory suszenia (m^3),

τ – czas trwania procesu suszenia (h). Każdy cykl pomiarów powtarzano trzykrotnie.

Suszenie prowadzono w laboratoryjnej suszarce fontannowej przedstawionej na rysunku 1.



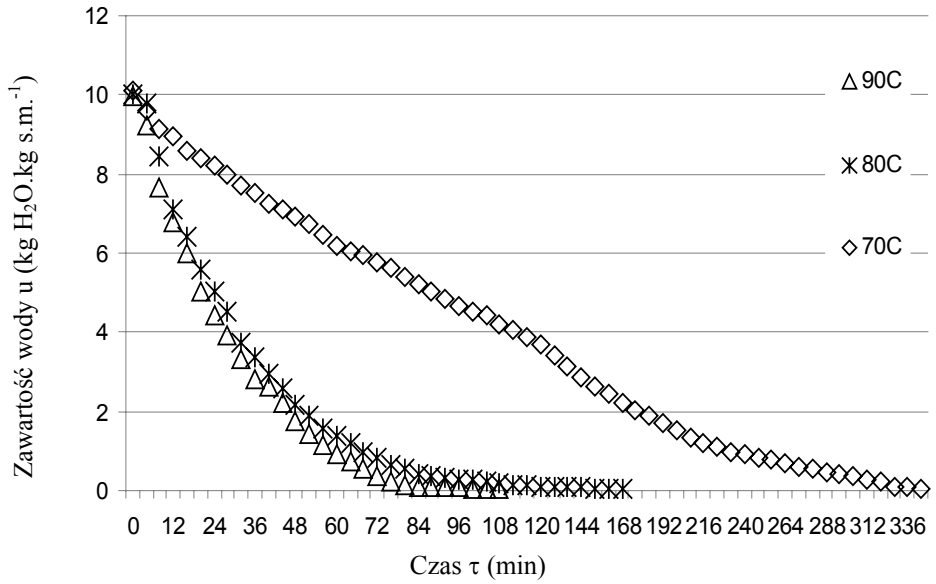
Rysunek 1. Schemat stanowiska pomiarowego: 1 – nagrzewnica z regulatorem temperatury, 2 – termopara, 3 – nagrzewnica, 4 – wentylator, 5 – komora suszenia, 6 – złoże, 7 – anemometr
Figure 1. Schematic representation of the test rigs: 1 – heater with temperature regulator, 2 – thermoelement, 3 – heater, 4 – fan, 5 – drying chamber, 6 – bed, 7 – anemometer

Sumę związków polifenolowych ogółem oznaczono metodą Folina-Ciocialteu (Oszmiański i in., 2007). Do oznaczenia pojemności przeciwutleniającej ekstraktów wykorzystano metodę z kationorodnikami ABTS. Zmiany stężenia kationorodników ABTS określano spektrofotometrycznie przy długości fali 735 nm. (Brand-Williams i in., 1995). Zaletą tego testu, w porównaniu z innymi, jest możliwość jego stosowania w szerokim zakresie pH (Wawrzyniak i in., 2011).

Dodatkowo przeprowadzono suszenie konwekcyjne papryki w temperaturze 70ºC (na tym samym stanowisku pomiarowym przy prędkości czynnika fontannującego 0,4 $m \cdot s^{-1}$) w celu porównania zachodzących zmian zawartość związków polifenolowych i aktywności przeciwutleniającej w odniesieniu do suszenia fontannowego z nagrzewaniem mikrofalowym.

Wyniki

Wpływ temperatury czynnika suszącego na spadek zawartości wody w złożu papryki suszonej od zawartości wody ok. 10 kg $H_2O \cdot$kg s.m.$^{-1}$ do ok. 0,05 kg $H_2O \cdot$kg s.m.$^{-1}$ przy prędkości czynnika suszącego v=7 $m \cdot s^{-1}$ i przedstawiono na rysunku 2. W celu polepszenia czytelności wykresów jednostka czasu została przedstawiona w minutach wg PN-ISO 30-1:2000/A1.



Rysunek 2. Spadek zawartości wody w surowcu w czasie przy różnych temperaturach czynnika suszącego
Figure 2. Drop of the moisture content in time at different temperatures of the drying agent

Jak wynika z przebiegu krzywych suszenia w miarę wzrostu temperatury powietrza czas suszenia papryki ulegał znacznemu skróceniu. Na przykład dla temperatury 70°C wynosił ok. 344 minut. Przy podwyższeniu temperatury do 90°C uzyskano skrócenie czasu suszenia do ok. 108 minut.

Z rozkładu punktów na wykresie wynika, że suszenie papryki odbywało się wg. dwóch okresów. Czas trwania I okresu oraz graniczne zawartości wody, przy których zaczyna się okres malejącej szybkości suszenia należy traktować jako przybliżone, ze względu na niezbyt częste czasy próbkowania. Po osiągnięciu parametru u_{kr} rozpoczynał się II okres suszenia, punk ten został obliczony przy użyciu programu TC 3D. Dla papryki suszonej w temperaturze 70ºC I okres suszenia kończył się przy zawartości u ok. 3,4 kg H_2O·kg s.s.$^{-1}$, 80ºC przy u ≈3,6 kg H_2O·kg s.s.$^{-1}$, a 90ºC przy u wynoszącym ok. 3,9 kg H_2O·kg s.s.$^{-1}$.

Analiza spadków zawartości wody w czasie suszenia papryki pozwoliła na określenie formuł opisujących ten proces, pierwszy okresu suszenia, który można opisać równaniem prostej:

$$u_{(\tau)I}=a\tau+b \tag{1}$$

W ciągu następnego okresu suszenia (II okres suszenia) zawartość wody maleje zgodnie z funkcją wykładniczą, osiąga założony poziom wilgotności ok. 5%. Punkty pomiarowe dla temperatur od 70 do 90ºC, opisano równaniem wykładniczym postaci:

$$u_{(\tau)II}=Ae^{-B\tau} \tag{2}$$

znanym z teorii konwekcyjnego suszenia słusznym dla II okresu (Pabis 1982).

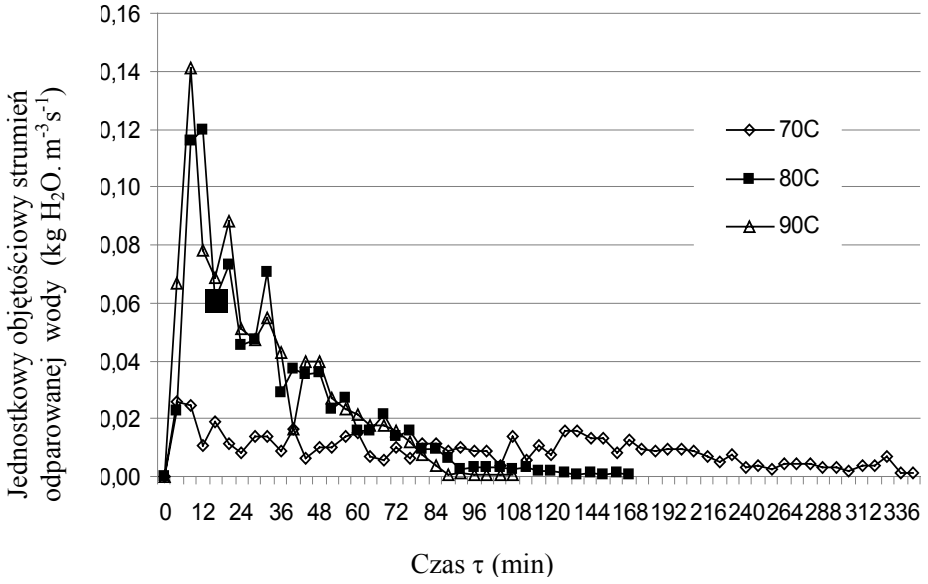
W tabeli 1 zamieszczono parametry oraz współczynniki determinacji R^2 dotyczące równań opisujących I i II okres suszenia papryki.

Tabela 1
Współczynniki równań i determinacji dla I i II okresu suszenia w zależności od temperatury czynnika suszącego
Table 1
The coefficients of equations and determination for the I i II period of drying depending on the temperature of the drying medium

Temper. suszenia	Współczynniki równania I		Współczynnik determinacji, R^2	Współczynniki równania II		Współczynnik determinacji, R^2
	a	b		A	B	
t= 70°C	-0,085	9,9852	0,98	14,852	0,012	0,96
t= 80°C	-0,1374	9,7773	0,99	35,919	0,050	0,98
t= 90°C	-0,2435	9,8121	0,99	25,905	0,060	0,98

Źródło: obliczenia własne autora

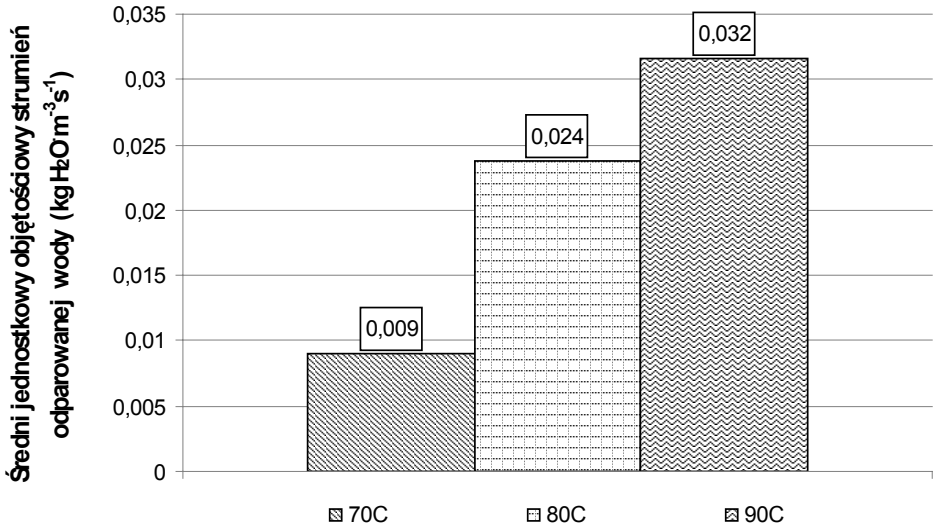
Na rysunku 3 przedstawiono zależność chwilowego objętościowego strumienia wilgoci w czasie suszenia fontannowego papryki przy trzech temperaturach czynnika suszącego.



Rysunek 3. Zależność objętościowego strumienia wilgoci w czasie suszenia przy różnych temperaturach czynnika suszącego
Figure 3. Dependence of the volumetric flow of moisture flux during drying at different temperatures of the drying medium

Między 40 a 48 minutą trwania procesu można zauważyć gwałtowny spadek chwilowego strumienia wilgoci, co może się wiązać ze znacznym skurczem suszonego materiału.

Jednym z ważniejszych czynników charakteryzujących pracę suszarki jest wielkość objętościowego strumienia wilgoci $\dot{V}$. Średnie wartości m dla różnych temperatur suszenia przedstawiono na rysunku 4.



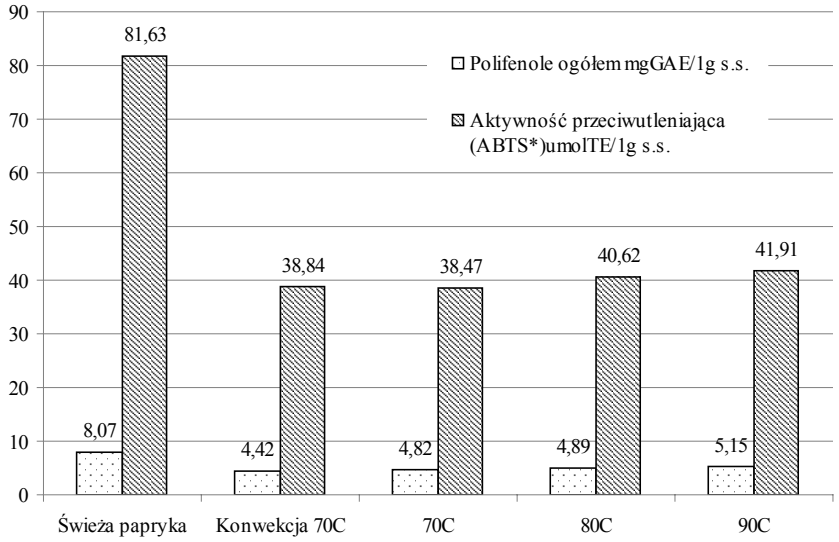
Rysunek 4. Zależność średniego objętościowego strumienia wilgoci $\dot{V}$ od temperatury czynnika suszącego, prędkość czynnika suszącego 7m·s^{-1}
Figure 4. Dependence of drying temperature on the value of the average volumetric stream of moisture, rate of drying medium 7 m·s^{-1}

Jak wynika z histogramu, przy temperaturze czynnika suszącego równej 70ºC wartość średniego objętościowego strumienia wilgoci $\dot{V}$ wynosiła ok. 32 kg $H_2O \cdot m^{-3} \cdot h^{-1}$. Podwyższenie temperatury czynnika do 90^{o}C skutkowało wzrostem q_v do wartości ok. 114 kg $H_2O \cdot m^{-3} \cdot h^{-1}$. Zwiększenie temperatury czynnika suszącego z 70 do 90ºC skutkowało prawie 3,5 krotnym zwiększeniem średniego objętościowego strumienia wilgoci. Zwiększenie temperatury czynnika suszącego powodowało szybsze odparowanie wilgoci w coraz głębszych warstwach ciała suszonego, przemieszczanie się pary wodnej do powierzchni (dyfuzja wewnętrzna) i dyfuzja w warstwie przepływającego powietrza.

Proces suszenia fontannowego spowodował zmniejszenie aktywności przeciwutleniającej i zawartości polifenoli w wysuszonej papryce. Wzrost temperatury przy suszeniu fontannowym pozwolił na skrócenie czasu trwania procesu, a tym samym czasu ekspozycji na niekorzystne działanie podwyższonej temperatury, tlenu i światła. W odniesieniu do suszenia konwekcyjnego papryki w temperaturze 70ºC zwiększanie temperatury suszenia od 70 do 90ºC (suszenie fontannowe) skutkowało wzrostem zawartość polifenoli i aktywności przeciwutleniającej. Przeprowadzona analiza wariancji pomiędzy wartościami otrzymanymi dla kolejnych powtórzeń wykazała brak istotnych różnic.

Na rysunku 5 przedstawiono wpływ procesu suszenia fontannowego na aktywność przeciwutleniająca i zawartość polifenoli ogółem w papryce czerwonej. Zastosowanie temperatury czynnika suszącego na poziomie 70ºC spowodowało spadek zawartości polifenoli ogółem do wartości ok. 4,82 mgGAE·1g s.s.$^{-1}$ i aktywności przeciwutleniające do ok. 38,47 umolTE·1g s.s.$^{-1}$. Zwiększenie temperatury fontannującego powietrza do 90^{o}C spowodowało wzrost zawartości polifenoli ogółem do ok. 5,15 mgGAE·1g s.s.$^{-1}$ i aktywności przeciwutleniające do ok. 41,92 umolTE·1g s.s.$^{-1}$.

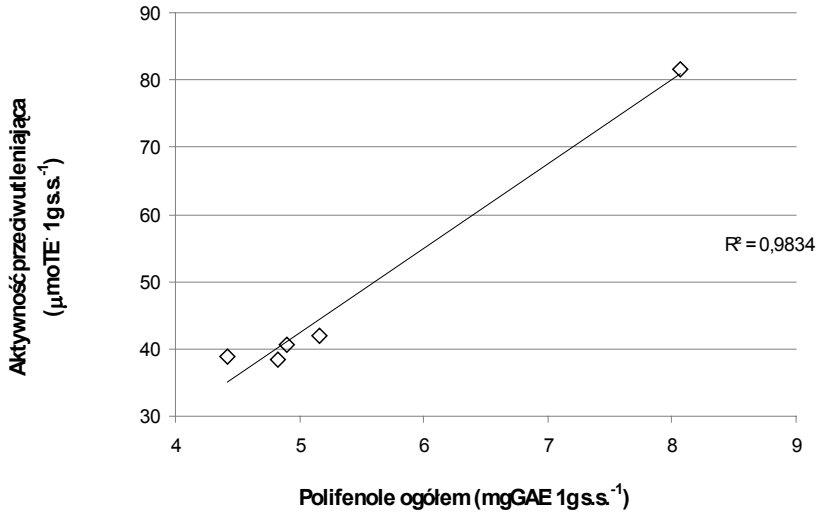
Podwyższenie temperatury czynnika suszącego skróciło czas suszenia papryki czerwonej oraz zwiększyło zdolność antyoksydacyjną. Podobne wyniki otrzymali Wangcharoen i Morasuk (2009).



Rysunek 5. Wpływ procesu suszenia fontannowego na aktywność przeciwutleniająca i zawartość polifenoli ogółem w papryce czerwonej

Figure 5. Effect of fountain drying process on the antioxidant activity and total polyphenol content of red pepper

Między zawartością polifenoli i aktywnością przeciwutleniającą dla papryki świeżej stwierdzono istnienie korelacji, co przedstawiono na rys. 6. Zwiększenie zawartości polifenoli powodowało zwiększenie zdolności przeciwutleniającej w papryce. W wielu pracach wykazano dodatni wpływ zawartości polifenoli na aktywność przeciwutleniającą (Kuljarachanan i in., 2009; Gasik, 2008). Wielu autorów wykazało wysoką korelację liniowa między zawartością polifenoli ogółem a zdolnością przeciwutleniającą (Bieżankowska-Kopeć, Pisulewski, 2006; Gasik i in. 2008). Wzrost zawartości polifenoli ogółem był niejako konsekwencją zwiększania się aktywności przeciwutleniającej w suszonej papryce czerwonej. Może to dowodzić istnienia wysokiej korelacji pomiędzy zawartością polifenoli ogółem a aktywnością przeciwutleniającą. Nie stwierdzono zdecydowanych różnic między otrzymanymi danymi a spotykanymi w literaturze, odnośnie wpływu temperatury suszenia na produkt i na zachowanie w nim składników bioaktywnych (Oszmiański i in., 2007).



Rysunek 6. Zależność aktywności przeciwutleniającej od zawartości polifenoli w papryce czerwonej
Figure 6. The influence of the antioxidant activity of the polyphenol content in red pepper

Wnioski

1. W przebiegu kinetyki suszenia papryki czerwonej wyróżniono dwa okresy suszenia:
   – Fazę początkową (I okres suszenia – o stałej szybkości suszenia)
   – Fazę końcową (II okres suszenia – o zmiennej szybkości suszenia)
2. Wzrost temperatury czynnika suszącego z 70ºC do 90ºC przy zachowaniu stałości pozostałych parametrów procesu spowodował skrócenie czasu suszenia z 344 do 108 minut, a zwiększenie temperatury czynnika suszącego z 70ºC do 90ºC skutkowało prawie 3,5 krotnym zwiększeniem średniego objętościowego strumienia wilgoci.
3. W czasie suszenia papryki czerwonej stwierdzono, że wraz ze wzrostem mocy mikrofal wzrasta zawartość związków polifenolowych i aktywność przeciwutleniająca.

Literatura

Bieżankowska-Kopeć R., Pisulewski P.M. (2006) *Wpływ procesów termicznych i biologicznych na pojemność przeciwutleniającą nasion fasoli (Phaseolus Vulgaris L.).* Żywność. Nauka. Technologia. Jakość. 3(48), 51-64

Borowska J. (1995) Owoce i warzywa jako źródło naturalnych przeciwutleniaczy. Cz.II. Przem. Ferm. Owoc. Warzyw. 3, 94-96.

Brand-Williams W., Cuvelier M.E., Berset C. (1995) *Use of a free radical method to evaluate antioxidant activity.* Lebensm. – Wiss. U. Techn. 28, 25-30.

Gasik A., Mitek M., Kalisz S. (2008) *Wpływ procesu maceracji oraz warunków przechowywania na aktywność przeciwutleniającą i zawartość wybranych składników soku z derenia (Cornus Mas).* Żywność. Nauka. Technologia. Jakość. 5(60), 161-167

Kanner J, Frankel E, Granit R. (1994) *Natural antioxidants in grapes and wines*. J Agric Food Chem 42, 64-69.
Krzykowski A., Polak R., Rudy S. 2011 *Retencja karotenoidów w papryce w zależności od obróbki wstępnej oraz sposobu i warunków suszenia.* Inżynieria Rolnicza 1(126), 115-121
Kuljarachanan, T., Devahastin, S., Chiewchan, N., (2009) *Evolution of Antioxidant Compounds in Lime Residues during Drying, Food Chemistry,* 113(4), 944-949.
Oszmiański J., Wolniak M., Wojdyło A., Wawer I. (2007) *Comparative study of polyphenolic content and antiradical activity of cloudy and clear apple juices.* J. Sci. Food. Agric. 87, 573-579.
Pabis, S. (1982) *Teoria konwekcyjnego suszenia płodów rolnych.* PWRiL, Warszawa.
Rouseff RL, Nagy S. (1994) *Health and nutritional benefits of citrus fruit components.* Food Technol 11, 125-132.
Wangcharoen W., Morasuk W. (2009) *Antioxidant capacity changes of bird chili (Capsicum frutescens Linn.) during hot air rying.* Kasetsart Journal (Natural science), vol. 43, 12-20.
Wawrzyniak A., Krotki M., Stoparczyk B. (20011) *Właściwości antyoksydacyjne owoców i warzyw.* Medycyna Rodzinna 1, 19-23
Witrowa-Rajchert D. 2000. *Nowe metody usuwania wody z żywności. Żywność w dobie ekspansji naukowej: potencjał, oczekiwania, perspektywy*. Materiały konferencyjne - *XXXI Sesja Naukowa Komitetu Technologii i Chemii Żywności PAN*, Poznań, 137-145.

THE IMPACT OF TEMPERATURE DRYING MEDIUM ON THE KINETICS OF DRYING, POLYPHENOLS CONTENT AND ANTIOXIDANT ACTIVITY OF RED PEPPERS DRIED WITH THE FOUNTAIN METHOD

Abstract. Many research studies have confirmed that the use of processes for the treatment of plant tissue (including drying) can, to varying degrees affect its nutritional value, the content of polyphenols and antioxidant capacity. The paper presents results of studies on the effect of temperature on the dynamics of drying, antioxidant activity and polyphenol content of red peppers dried with the fountain method. The temperature rise from 70° C to 90° C while maintaining the stability of other process parameters resulted in reduction of the drying time from 344 to 108 minutes, and increase of the average volumetric moisture flux by about 3.5 times. During drying of red peppers it was found that along with the increase of temperature of the drying medium the content of polyphenol compounds and antioxidant activity increases.

Key words: fountain drying, red peppers, polyphenols and antioxidant activity

Adres do korespondencji:
Mariusz Surma; e-mail: mariusz.surma@up.wroc.pl
Instytut Inżynierii Rolniczej
Uniwersytet Przyrodniczy we Wrocławiu
ul. Chełmińskiego 37/41
51-630 Wrocław