

ANALIZA PROCESU SUSZENIA PAPRYKI CZERWONEJ W ZŁOŻU FONTANNOwym Z NAGRZEWANIEM MIKROFALOWYM

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

Streszczenie. Celem pracy było określenie możliwości zastosowania suszarki fontannowej z nagrzewaniem mikrofalowym surowca i uzyskanie informacji odnośnie przebiegu procesu i kinetyki ubytków wody oraz przedstawienie wpływu procesu suszenia na aktywność przeciwutleniającą i zawartość polifenoli w papryce czerwonej. W czasie suszenia papryki czerwonej stwierdzono, że wraz ze wzrostem mocy mikrofal wzrasta zawartość związków polifenolowych i aktywność przeciwutleniająca. Wyniki badań wskazują, że suszenie fontannowo-mikrofalowe pozwala uzyskać susz dobrej jakości i wpływa na poprawę jakości suszu z papryki w porównaniu z tradycyjnym suszeniem konwekcyjnym.

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

Wstęp i cel badań

Papryka, zwana inaczej pieprzowcem rocznym (*Capsicum annuum L.*) jest jednorocznym warzywem cenionym przez konsumentów ze względu na wysoką wartość biologiczną i specyficzny smak.

Spożywanie papryki pomaga obniżyć ciśnienie krwi oraz chroni przed chorobami układu krążenia. Zawarte w niej polifenole usuwają wolne rodniki, które przyspieszają proces starzenia się organizmu. Papryka czerwona stanowi cenne źródło witaminy C oraz witamin o właściwościach antyoksydacyjnych A i E, które określane są mianem witamin płodności i młodości, ponadto zawiera witaminy z grupy B, szczególnie B₁ i B₂ oraz P, białko, kwasy organiczne, znaczną ilość cukrów, sole mineralne (potas, wapń) i nietłone olejki eteryczne. Papryka żółta i papryka czerwona zawierają czterokrotnie więcej witaminy C niż cytryna (Gajc-Wolska i Skąpski, 2002; Markus i in. 1999). Zawarte w papryce substancje fitoaktywne wykazują działanie przeciwzapalne, przeciwbakteryjne

oraz poprawiają działanie układu immunologicznego, dlatego jej spożywanie jest szczególnie zalecane w okresie jesienno-wiosennym.

W tabeli 1 przedstawiono skład papryki, który jest zróżnicowany i zależy od odmiany i barwy.

Tabela 1

Skład chemiczny papryki

Table 1

The chemical composition of pepper

Składniki	Zawartość w 100 g części jadalnej
Woda	87,0-93,0 g
Białko	0,7-1,90 g
Tłuszcz	0,20-0,60 g
Sód	0,50-0,30 g
Potas	160,0-435,0 mg
Magnez	12 mg
Żelazo	0,40-0,90 mg
Fosfor	25,0 - 38,0 mg
Karoteny a)	0,11 - 1,56 mg
Karoteny b)	2,68 - 6,65 mg
Witamina E	0,25 - 3,0 mg
Witamina B1	0,04 - 0,09 mg
Witamina B2	0,03 - 0,07 mg
Witamina C	91 - 200 mg

Źródło: Kucharczyk, 1989

Suszenie papryki najczęściej odbywają się w warunkach złoża nieruchomego tj. w suszarkach komorowych, tunelowych lub taśmowych. Jak wynika z praktyki, przy tego typu suszeniu występuje nierównomierność wysychania surowca oraz możliwość jego przegrzania. Główną wadą takiego procesu jest bardzo nieefektywna wymiana ciepła, która znacznie wydłuża czas podczas suszenia. Jednakże długi czas suszenia i używanie wysokich temperatur mają niekorzystny wpływ na jakość produktu suszonego (Marzec i Zdrożna, 2008). Nie bez znaczenia jest też fakt, że niektóre suszarki (zwłaszcza taśmowe) powodują wysokie koszty inwestycyjne i eksploatacyjne.

Alternatywnym sposobem suszenia niektórych ziarnistych surowców zielarskich (owoc jałowca, głogu, jarzębiny itp.) lub wstępnie rozdrobnionych może być suszenie w złożu fontannowym. Jak wykazały doniesienia niektórych autorów szybkość suszenia jak i wielkość strumienia wilgoci z jednostki objętości komory suszenia mogą być kilkakrotnie wyższe dla suszarek fontannowych w porównaniu z klasycznymi metodami suszenia przy podobnych temperaturach czynnika suszącego (Peroń i Pęksa, 2008; Surma i in., 2011).

Wydaje się, że korzystniejsze wskaźniki techniczno-ekonomiczne (Glaser, 1991) można uzyskać susząc owoce w warstwie sfluidyzowanej lub fontannowej.

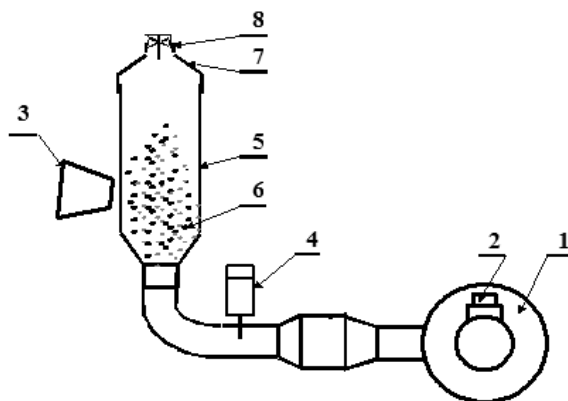
Zastosowanie suszenia mikrofalowego lub konwekcyjnego z nagrzewaniem mikrofalowym materiału pozwala na równomierne odparowanie wody w całej objętości suszonego materiału. Za zastosowaniem mikrofal przemawia fakt, że otrzymany wysuszony produkt

jest wysokiej jakości odżywczej i sensorycznej, przy jednoczesnym skróceniu czasu suszenia w porównaniu z innymi metodami suszenia (Kieca i Musielak, 2010; Jakubczyk, 2009, Szarycz i in., 2006).

Celem pracy było określenie możliwości zastosowania suszarki fontannowej z nagrzewaniem mikrofalowym surowca i uzyskanie informacji odnośnie przebiegu procesu oraz kinetyki ubytków wody oraz przedstawienie wpływu zastosowanej mocy mikrofal w trakcie procesu suszenia na aktywność przeciwutleniającą i zawartość polifenoli w papryce czerwonej.

Metodyka badań

Proces suszenia fontannowo-mikrofalowego przeprowadzono na stanowisku przedstawionym na rys. 1 znajdującym się w Instytucie Inżynierii Rolniczej we Wrocławiu.



Rysunek 1. Schemat stanowiska pomiarowego: 1 – wentylator, 2 – regulator prędkości przepływu, 3 – magneson, 4 – termopara, 5 – komora suszenia, 6 – fontannujące złożo, 7 – króciec pomiarowy, 8 – anemometr, 9

Figure 1. Scheme of the experimental stand: 1 – fan, 2 – control damper, 3 – magnetron, 4 – thermoelement, 5 – drying chamber, 6 – fountain bed, 7 – measuring pipe, 8 – anemometer

Do badań użyto papryki czerwonej odmiany King Arthur, którą poddawano rozdrobieniu w kostkę o wymiarach 10x10x7 mm. Stanowisko pomiarowe do suszenia składało się z wentylatora promieniowego, który (1) zasysał powietrze z otoczenia, a następnie tłoczył je do stożkowo-cylindrycznej komory suszenia (5), zawierającej próbkę suszonego surowca o masie 400 gram i wilgotności początkowej ok. 91%. Komorę suszenia wykonano częściowo ze szkła organicznego, co umożliwiała obserwację fontannującego złoża. Wymiary komory suszenia były następujące - średnica części cylindrycznej 0,095 m, średnica wlotu 0,047 m, kąt rozwarcia stożka w dolnej części komory – 80°, wysokość komory 0,6 m. Dno komory podtrzymującej warstwę surowca stanowiła siatka z fosforobrazu

o wymiarach oczek 0,2x0,2 mm. Anemometr skrzydełkowy (8), umieszczony wewnątrz króćca pomiarowego, pozwalał na pomiar prędkości przepływu czynnika suszącego przez komorę suszarki.

Prędkość przepływającego strumienia powietrza wynosiła $7 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ (co pozwalało na fontannowanie złoża), a jego temperatura wynosiła ok. 21°C . Moc mikrofal ustalono na poziomie 250, 440 i 600 W. Materiał suszony był do wilgotności końcowej wynoszącej ok. 5%. W trakcie badań mierzono ubytki masy wody (przez pierwsze 30 minut pomiary dokonywano co 3 minuty, przez resztę procesu co 6 minut). Za pomocą kamery termowizyjnej Flir i50 mierzono średnią temperaturę nagrzewania się suszonych cząstek. Początkową i końcową zawartość wody w materiale określano metodą suszarkową wg PN 90/A-75101.03. Średni objętościowy strumień wilgoci m ($\text{kg H}_2\text{O m}^{-3}\text{h}^{-1}$) obliczano z zależności

$$m = \frac{m_w}{V_k \cdot \tau} \quad (1)$$

gdzie:

- m_w – 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.

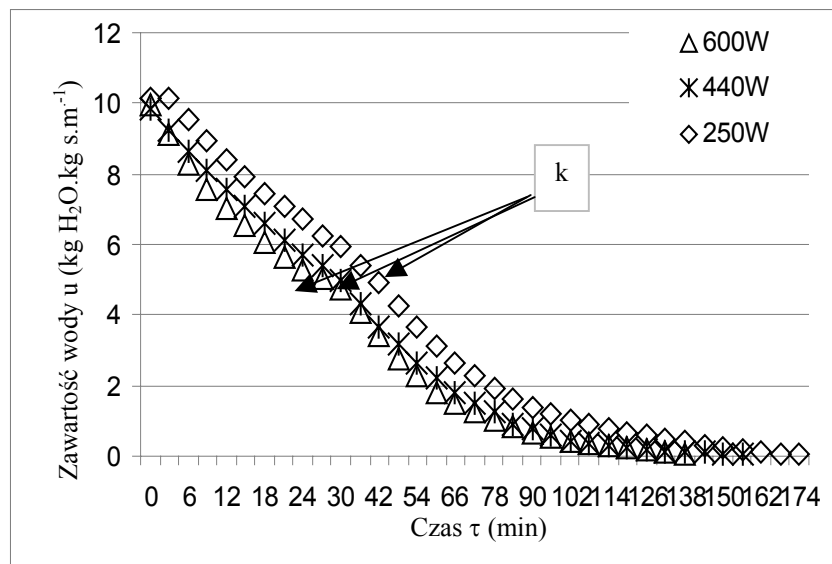
W świeżym i wysuszonym surowcu oznaczano:

- Sumę związków polifenolowych ogółem metodą Folina-Ciocalteu: Metoda Folina-Ciocalteu wykorzystuje redukcyjne właściwości związków polifenolowych. Odczynnik Folina-Ciocalteu zawiera w swym składzie kwas fosfowolframowy oraz kwas fosfomolibdenowy. Substancje te po utlenieniu fenoli przekształcają się do tlenków odpowiednio wolframu i molibdenu. Powstały barwny roztwór wykazuje maksymalną absorpcję przy długości fali $\lambda=735\text{nm}$ (Oszmiański, 2007).
- Aktywność przeciwutleniającą: do oznaczenia pojemności przeciwutleniającej ekstraktów wykorzystano metodę z kationorodnikami ABTS. Zmiany stężenia kationorodników ABTS określano spektrofotometrycznie przy długości fali 735 nm.

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

Wyniki badań

Na rysunku 2 przedstawiono wpływ mocy mikrofal na spadek zawartości wody w czasie suszenia fontannowego z nagrzewaniem mikrofalowym kostki papryki czerwonej od zawartości wody ok. $10 \text{ kg H}_2\text{O kg s}\cdot\text{m}^{-1}$ do ok. $0,055 \text{ kg H}_2\text{O kg s}\cdot\text{m}^{-1}$. Zastosowano trzy moce mikrofal 250, 440 i 600W przy prędkości strumienia powietrza $7 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ i wilgotności początkowej ok. 91%. W celu polepszenia czytelności wykresów jednostka czasu została przedstawiona w minutach wg PN-ISO 30-1:2000/A1.



Rysunek 2. Spadek zawartości wody w czasie w suszonej fontannowo-mikrofalowej papryce przy trzech mocach mikrofal 250, 440, 600W. Prędkość powietrza $v=7 \text{ m s}^{-1}$, temperatura powietrza 21°C .

Figure 2. Water content drop during drying of peppers at three microwave power 250, 440, 600 W. Air velocity $v=7 \text{ m s}^{-1}$, air temperature 21°C

Jak wynika z przebiegu krzywych w miarę wzrostu mocy mikrofal z 250 do 600W czas suszenia uległ skróceniu o ok. 21%. Przy mocy mikrofal 250 W czas suszenia próbki wynosił 174 minuty, zwiększenie mocy do 440 W spowodowało skrócenie procesu do 156 minut, a zastosowanie mocy 600 W spowodowało skrócenie czasu suszenia do 138 minut.

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. Granice między okresem pierwszym i drugim zaznaczono na poszczególnych krzywych literą k. Przeprowadzona analiza pozwoliła na określenie formuł empirycznych opisujących I i II okres suszenia. Zaproponowane równania opisują poszczególne etapy suszenia.

I okres suszenia można opisać równaniem prostej:

$$u_{(\tau)}=a+b\tau \quad (2)$$

gdzie A_1 i B_1 – oznaczają stałe równania (2) dla każdej z zastosowanych mocy mikrofal.

II okres suszenia można ująć zależnością wykładniczą:

$$u_{(\tau)}=A_2 e^{-B_2 \tau} \quad (3)$$

gdzie A_2 i B_2 – oznaczają stałe równanie (3) dla każdej z zastosowanych mocy mikrofal.

W tabeli 1 zamieszczono stałe oraz współczynniki determinacji R^2 dotyczące równań opisujących I i II okres suszenia fontannowo-mikrofalowego papryki czerwonej.

Tabela 1

Współczynniki równań i determinacji dla I i II okresu suszenia w zależności od zastosowanej mocy mikrofal

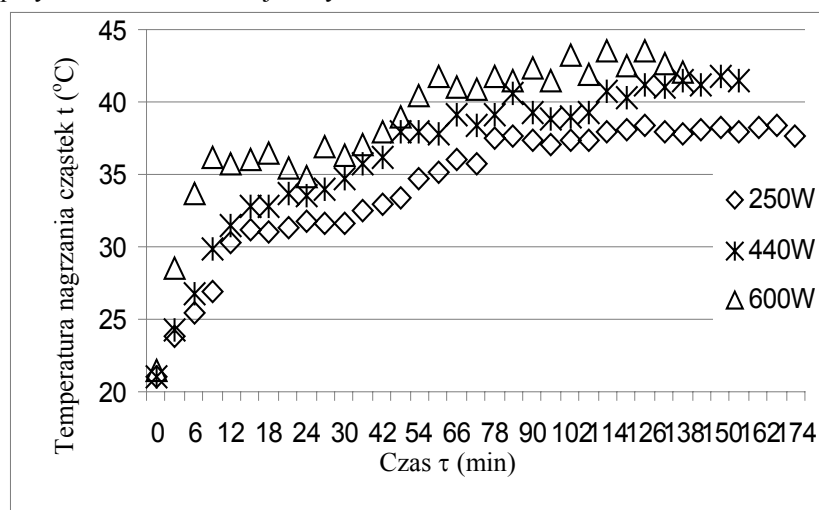
Table 1

The coefficients of equations and determination for I and II stage of drying for different on the applied microwave power

Moc mikrofal	Współczynniki równania I		Współczynnik determinacji R^2	Współczynniki równania II		Współczynnik determinacji R^2
	a	b		A	B	
250W	-0,1609	10,37	0,99	16,085	0,0285	0,97
440W	-0,1872	9,79	0,99	14,935	0,0346	0,99
600W	-0,2721	9,95	0,98	13,023	0,0343	0,98

Źródło: obliczenia własne autora

Na rysunku 3 przedstawiono przebieg zmian temperatury suszonego materiału przy zastosowaniu różnej mocy mikrofal.

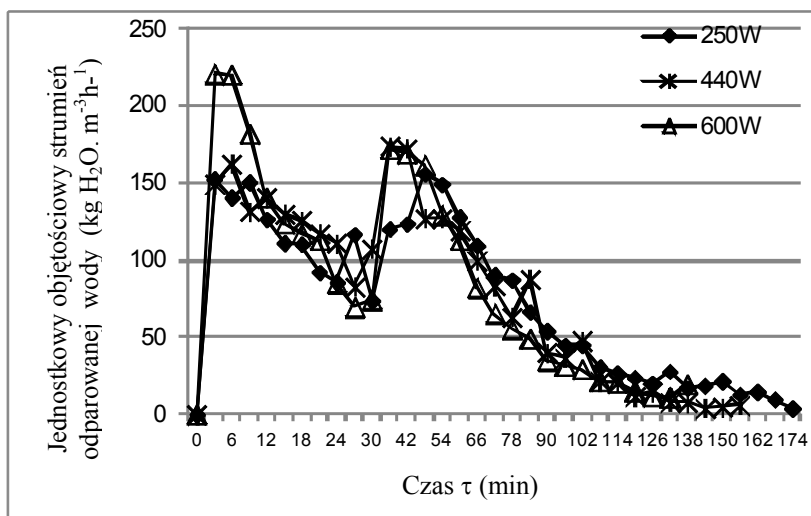


Rysunek 3. Przebieg zmian średniej temperatury cząstek suszonych przy różnej mocy mikrofal. Prędkość powietrza $v=7 \text{ m s}^{-1}$, temperatura powietrza 21°C

Figure 3. The average temperature course of changes dried peppers at different of microwave power. Air velocity $v=7 \text{ m s}^{-1}$, air temperature 21°C

Jak można zauważyć na rysunku 3 zastosowanie powietrza fontannującego złożone o temperaturze ok. 21°C pozwoliło na obniżenie średniej temperatury suszonych cząstek, przez co cząstki nie były przegrzewane i przypalane jak to często występuje przy suszeniu mikrofalowym. Przy zastosowaniu mocy mikrofal 250W średnia temperatura nagrzewania suszonych cząstek wynosiła ok. 38°C , przy 440W wynosiła ok. 42°C a przy najwyższej zastosowanej mocy 44°C .

Jak wynika z badań (rys. 4) w miarę wzrostu mocy mikrofal z 250 do 600 W zwiększał się objętościowy strumień wilgoci. W ciągu pierwszych 30 minut trwania procesu suszenia następuje odparowanie około 50% wody. Między 21 a 36 minutą procesu można zauważyć bardzo duży spadek objętościowego strumienia odparowanej wody – wiąże się to z tym, że w tym czasie następuje bardzo duży skurcz suszonych cząstek. Średni objętościowy strumień wilgoci dla mocy 250 W wyniósł ok. $73 \text{ kg H}_2\text{O}\cdot\text{m}^{-3}\cdot\text{h}^{-1}$, dla 440 W – ok. $82 \text{ kg H}_2\text{O}\cdot\text{m}^{-3}\cdot\text{h}^{-1}$ a dla 600 W ok. $87 \text{ kg H}_2\text{O}\cdot\text{m}^{-3}\cdot\text{h}^{-1}$ i zwiększył się o ok. 20%.



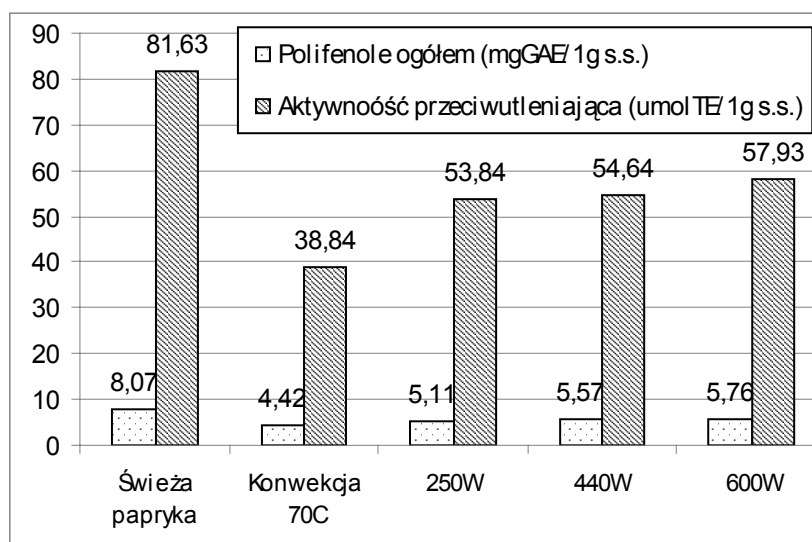
Rysunek 4. Wpływ temperatury mocy mikrofal na wartość chwilowego strumienia wilgoci. Prędkość powietrza $v=7 \text{ m s}^{-1}$, temperatura powietrza 21°C

Figure 4. Impact of microwave power on the value momentary moisture flux. Air velocity $v=7 \text{ m s}^{-1}$, air temperature 21°C

Na rysunku 5 przedstawiono wpływ procesu suszenia na zawartość związków polifenolowych i aktywności przeciwutleniającej. Dla porównania zamieszczono wyniki papryki suszonej konwekcyjnie w temperaturze 70°C . Wyniki pomiarów materiału suszonego konwekcyjnie pozwoliły porównać ze zmianami zawartość związków polifenolowych i aktywności przeciwutleniającej papryki suszonej fontannowo z nagrzewaniem mikrofalowym. Proces suszenia spowodował zmniejszenie aktywności przeciwutleniającej i zawartości polifenoli w stosunku do surowca świeżego. Suszenie konwekcyjne w temperaturze 70°C było bardziej destrukcyjne w porównaniu do suszenia fontannowo-mikrofalowego. Oznaczenie zawartości polifenoli i aktywności przeciwutleniającej pozwoliło na określenie zmian w suszonym materiale w odniesieniu do suszenia konwekcyjnego.

Zastosowaniu mocy mikrofal 250, 440 i 600 W spowodowało odpowiednio: zmniejszenie zawartości polifenoli o około 37, 31 i 29% i zmniejszenie aktywności przeciwutleniającej o ok. 34, 33 i 30% w stosunku do świeżej papryki. Wraz ze wzrostem zastosowanej mocy mikrofal rosła zawartość polifenoli i aktywność przeciwutleniająca. Przeprowadzona analiza wariancji pomiędzy wartościami otrzymanymi dla kolejnych powtórzeń mocy

mikrofal 250, 440 i 600 W wykazała brak istotnych różnic. Wielu autorów wykazało wysoką korelację liniową między zawartością polifenoli ogółem a zdolnością przeciwutleniającą (Bieżankowska-Kopeć i Pisulewski, 2006; Gasik i in., 2008). W wielu przypadkach oznaczanie polifenoli ogółem może służyć do określania właściwości przeciwutleniającej (Oszmiański, 2007). Wzrost mocy mikrofal przy suszeniu fontannowo-mikrofalowym pozwolił na skrócenie czasu trwania procesu, a tym samym czasu ekspozycji na niekorzystne działanie podwyższonej temperatury, tlenu i światła. Podobne wyniki otrzymali Wangcharoen i Morasuk (2009) susząc paprykę chili w temperaturze 70, 100, 121°C. Zwiększanie temperatury suszenia spowodowało wyższą zdolność antyoksydacyjną (Petrucka i Materska, 2003).



Rysunek 5. Wpływ procesu suszenia fontannowo-mikrofalowego na aktywność przeciwutleniającą i zawartość polifenoli ogółem w papryce czerwonej
 Figure 5. Effect of fountain-microwave drying process the antioxidant activity and total polyphenol content of red pepper

Wyniki badań wskazują, że suszenie fontannowo-mikrofalowe pozwala uzyskać susz dobrej jakości i wpływa na poprawę jakości suszu z papryki w porównaniu z tradycyjnym suszeniem konwekcyjnym, co wiąże się ze znacznym skróceniem czasu suszenia i skróceniem czasu ekspozycji materiału na niekorzystne czynniki (temperatura, światło, tlen).

Wnioski

1. Zwiększanie mocy mikrofal z 250 do 600 W spowodowało ok 21% skrócenie czasu suszenia.
2. W czasie suszenia papryki czerwonej stwierdzono, że wraz ze wzrostem mocy mikrofal wzrasta zawartość związków polifenolowych i aktywność przeciwutleniająca.
3. Zastosowanie czynnika fontannującego złoże o temperaturze ok. 21°C powodowało obniżenie średniej temperatury cząstek i eliminowało przegrzewanie surowca w trakcie trwania procesu, bez konieczności zmiany mocy mikrofal, co często występuje przy nagrzewaniu mikrofalowym.
4. Zwiększenie mocy mikrofal z 250 do 600 W skutkowało około 20% zwiększeniem średniego objętościowego strumienia wilgoci odparowanej z jednostki objętości komory w czasie jednej godziny.

Literatura

- Biežankowska-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) supl. 51-64.
- Gajc-Wolska, J.; Skąpski, H. (2002). Yield of sweet pepper depending on cultivars and growing conditions. *Folia Horticulturae* 14(1), 95-103.
- 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) supl. 161-167.
- Glaser, R. (1991). *O możliwości suszenia krajank warzywnych w warstwie pulsofluidalnej*. Materiały VII Sympozjum Suszarnictwa, 147-154.
- Jakubczyk, E. (2009). Charakterystyka suszenia konwekcyjnomikrofalowego spienionego przecieru jabłkowego. *Żywność. Nauka. Technologia. Jakość.* 1(62), 109-118.
- Kieca, A.; Musielak, G. (2010). Kinetyka suszenia mikrofalowego pod obniżonym ciśnieniem. *Inż. Ap. Chem.*, 49, 3, 49-50.
- Kucharczyk, J. (1989). *Vademecum wegetarianina*. "Znaki czasu", Warszawa.
- Márkus, F.; Daoood, H.G.; Kapitány, J.; Biacs, P.A. (1999). Change in the carotenoid and antioxidant content of spice red pepper (paprika) as a function of ripening and some technological factors. *J. Agric. Food Chem.* 47, 100-107.
- Marzec, A.; Zdrożna, M. (2008). Wpływ mocy mikrofal na jakość suszu jabłkowego. *Acta Agrophysica*, 12(2), 457-467.
- Oszmiański, J. (2007). *Metody oznaczania właściwości przeciwutleniających Przeciwutleniacze w żywności*. Aspekty zdrowotne, technologiczne, molekularne, i analityczne. WNT, Warszawa, 519-532.
- Peroń, S.; Pęksa, A. (2008). *Suszenia miazgi ziemniaczanej w złożu fontannowym z wykorzystaniem pszennych otrębów, jako nośnika porowatego*. Ziemniak spożywczy i przemysłowy oraz jego przetwarzanie. V konferencja Naukowa Szklarska Poręba 12-15 maj. Wrocław.
- Perucka, I.; Materska, M. (2003). Antioxidant activity and content of capsaicinoids isolated from paprika fruits. *Pol. J. Food Nutr. Sci.* 12/53, 15-18.
- Surma, M.; Peroń, S.; Jałoszyński, K.; Pasławska, M. (2011). Wykorzystanie suszarki fontannowej do suszenia rozlogów perzu właściwego. *Inżynieria Rolnicza*, 5(130), 267-274.

Szarycz, M.; Jałoszyński, K.; Pełka, A.; Ostrowska, M.; Świerk, B. (2006). Wpływ parametrów mikrofalowopróżniowego suszenia truskawek na przebieg procesu i skurcz suszarniczy. *Inżynieria Rolnicza*, 4(79), 229-237.

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.

PN-ISO 30-1:2000/A1. *Wielkości fizyczne i jednostki mair. Część 1. Przestrzeń i czas.*

ANALYSIS OF DRYING OF RED PEPPERS THE FOUNTAIN BED WITH MICROWAVE HEATING

Abstract. The purpose of the study was to determine the applicability of spouted dryer heated by microwave material and obtain information about the process and the kinetics of water loss and of the effect of the drying process on antioxidant activity and polyphenol content of red pepper. During drying red peppers was found that with the increase of the microwave power is increased content of polyphenolic compounds and antioxidant activity. The results indicate that fountain-microwave drying ovens allows for drought of good quality and improving the quality of dried peppers over traditional convection drying.

Key word: fountain drying, microwave heating, 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