

ANALIZA SUSZENIA MIKROFALOWO-PRÓŻNIOWEGO PAPRYKI CZERWONEJ

*Klaudiusz Jałoszyński, Marta Paślawska, Mariusz Surma, Bogdan Stępień
Małgorzata Serowik*

Instytut Inżynierii Rolniczej, Uniwersytet Przyrodniczy we Wrocławiu

Streszczenie. Celem pracy było opisanie kinetyki suszenia mikrofalowo-próżniowego papryki prowadzonego przy stałej mocy mikrofal 480 W i trzech zakresach ciśnień 2-4; 4-6 i 6-8 kPa. Określono również zmiany temperatury materiału w czasie suszenia oraz wyznaczono zawartość polifenoli i aktywność przeciwutleniającą suszu. Przeprowadzone badania pozwoliły na stwierdzenie, że w kinetyce suszenia dla wszystkich trzech zakresów ciśnień wyróżnić można dwa okresy suszenia: okres stałej szybkości suszenia, opisany równaniem liniowym i okres zmiennej szybkości suszenia, opisany równaniem wykładniczym. Suszenie mikrofalowo-próżniowe (VM) przy ciśnieniu 2-4 kPa spowodowało spadek zawartości związków polifenolowych do wartości $5,82 \text{ mgGAE} \cdot \text{g}^{-1} \text{ s.s.}$ i nieznaczny spadek aktywności przeciwutleniającej do $74,90 \mu\text{molTE} \cdot \text{g}^{-1} \text{ s.s.}$ w porównaniu do surowca przed suszeniem i suszenia konwekcyjnego. Maksymalna temperatura, do której nagrzewała się próbka, to 97°C .

Słowa kluczowe: papryka czerwona, suszenie mikrofalowo-próżniowe, kinetyka, temperatura, polifenole, aktywność przeciwutleniająca

Wstęp i cel badań

Wiele badań z różnych dziedzin naukowych potwierdza, że warzywa, obok związków odżywczych, zawierają również cenne dla zdrowia składniki bioaktywne (Kosson i in., 2010). Liczną grupę wśród tych składników stanowią związki polifenolowe o właściwościach przeciwutleniających. Związki te są cennym narzędziem w profilaktyce wielu chorób, m. in.: nowotworowych, krążenia, stymulują one układ immunologiczny i opóźniają procesy starzenia (Zalega i Szostak-Węgierek, 2013; Chen i in., 2012).

Papryka słodka, zwana wielkoowocową, jest bogatym źródłem witamin: C i E, związków fenolowych z grupy flawonoidów, jak: luteolina, karotenoidy (β -karoten, kapsorubiny, kapsantyny) (Perucka i Materska, 2007; Shotorbani i in., 2013). Apak i in. (2013) wyznaczyli zawartość polifenoli ogółem i aktywność przeciwutleniającą metanolowych wyciągów popularnych warzyw: cebuli (czerwonej, białej, żółtej), papryki (czerwonej, zielonej), czosnku i kapusty. Badania metodą z wykorzystaniem rodnika ABTS wykazały, że naj-

wyższą aktywnością przeciwutleniającą charakteryzowała się cebula – od 37,2 do 49,7 $\mu\text{mol TE}\cdot\text{g}^{-1}$, kolejno papryka czerwona – 28,6 $\mu\text{mol TE}\cdot\text{g}^{-1}$, czosnek – 23,7 $\mu\text{mol TE}\cdot\text{g}^{-1}$, papryka zielona – 23,9 $\mu\text{mol TE}\cdot\text{g}^{-1}$ i biała kapusta – 10,5 $\mu\text{mol TE}\cdot\text{g}^{-1}$. Zmierzone stężenie polifenoli ogółem dla papryki czerwonej wynosiło 8,6 mg GAE $\cdot\text{g}^{-1}$ i 6,3 mg GAE $\cdot\text{g}^{-1}$ dla papryki zielonej. Perucka i Materska (2007) przeprowadziły analizę zawartości witaminy C w różnych odmianach papryki i wykazały, że zawartość kwasu L-askorbinowego wynosiła od 101,19 mg $\cdot(100\text{g})^{-1}$ dla King Artur do 167,54 mg $\cdot(100\text{g})^{-1}$ dla odmiany Robustini. Zawartość polifenoli również była zmienna i zawierała się w przedziale od 37,54 mg $\cdot(100\text{g})^{-1}$ dla Red Knight do 67,3 mg $\cdot(100\text{g})^{-1}$ dla Robustini (Perucka i Materska, 2007). Surma-Zadora i in. (2011) analizowali zawartość witaminy C w paprykach: zielonej, żółtej, pomarańczowej i czerwonej. Największe stężenie antyutleniaczy zawierała papryka czerwona 157,1 mg $\cdot(100\text{g})^{-1}$, najmniejsze odnotowano dla papryki żółtej 135,8 mg $\cdot 100\text{g}^{-1}$. Nadeem i in. (2011) podali, że zawartość polifenoli ogółem wyznaczona metodą Folina-Ciocalteu dla papryki zielonej, żółtej, pomarańczowej i czerwonej wynosiła kolejno 2,4; 3,3; 3,4; 4,2 mmol $\cdot\text{g}^{-1}_{\text{s.m.}}$ w przeliczeniu na ekwiwalent katechiny (CE).

Ze względu na sezonowość papryki wskazane jest jej właściwe przetwarzanie. Techniki przetwarzania surowca znacząco wpływają na zawartość i skuteczność działania związków bioaktywnych, ponieważ są one niestabilne i podatne na degradację (Shotorbani i in., 2013).

Lima i in. (2009) zaobserwowali spadek zawartości związków fenolowych w warzywach w wyniku obróbki termicznej. Alternatywną metodą utrwalania może być proces suszenia. Wangcharoen i Morasuk (2008) poddali suszeniu ostrą paprykę chili i przeanalizowali pod kątem zdolności antyoksydacyjnej. Okazało się, że papryka suszona w temperaturze 70, 100, 121°C wykazała wyższą aktywność niż świeża, przy czym wyższa temperatura była korzystniejsza.

Dotychczasowe wyniki badań wskazują, że metoda mikrofalowo-próżniowa doskonale nadaje się do utrwalania wielu surowców roślinnych, m.in. marchwi (Lin i in., 1998), truskawek (Wojdyło i in., 2009), jabłek (Sham i in., 2001), bananów (Mousa i Farid, 2002), czosnku (Figiel, 2009) oraz dyni (Nawirska i in., 2009). Zarówno kinetyka suszenia, determinująca czas trwania procesu suszenia, jak i temperatura wewnątrz materiału decydują o aktywności biologicznej składników zawartych w produkcie. Ponadto temperatura materiału, ściśle związana z ciśnieniem panującym wewnątrz struktury komórkowej, wpływa na intensywność „puffingu”, który zmniejsza skurcz i poprawia teksturę wysuszonego produktu (Sham i in., 2001).

Celem pracy było opisanie kinetyki suszenia papryki czerwonej przy stałej mocy mikrofal i różnych zakresach ciśnień, określenie temperatury materiału w czasie suszenia oraz określenie zawartości polifenoli i aktywności przeciwutleniającej papryki świeżej i wysuszonej metodą mikrofalowo-próżniową.

Metodyka badań

Do badań użyto paprykę czerwoną odmiany Trapez. Materiał umyto, pozbawiono gniazda nasiennego, pokrojono w plastry o grubości 10 mm i tak przygotowany materiał poddano procesowi suszenia. Do zrealizowania badań wykorzystano suszarkę mikrofalowo-

wo-próżniową Plazmatronika SM-200 prezentowaną w artykule (Jałoszyński i in., 2006). Zasadniczą częścią stanowiska był zbiornik suszarniczy z umieszczonymi wewnątrz przegrodami pozwalającymi na ujednoczenie poziomu nagrzewania materiału. Zbiornik umieszczano we wnęce mikrofalowej i podłączano do układu odpowiedzialnego za uzyskanie i utrzymanie odpowiedniego ciśnienia. W celu uzyskania równomiernego nagrzania próbek, oprócz zastosowania mieszacza pola, zbiornik suszarniczy wykonywał ruch obrotowy. Pole elektromagnetyczne wytwarzały dwa magnetrony o łącznej mocy 1200 W. Moc magnetronów sterowana była amplitudowo.

Badania suszenia przeprowadzono przy trzech zakresach ciśnień 2-4, 4-6, 6-8 kPa i jednej mocy mikrofal na poziomie 480 W. Próbkę materiału o masie ok. 60 g wazono na wadze laboratoryjnej WPE-300 i umieszczano w zbiorniku suszarniczym, a następnie rozpoczynano proces suszenia. Kolejne doświadczenia kończono po 2, 4, 8, 12 i tak do 54 minuty przy ciśnieniu 6-8 kPa. W przypadku zakresu ciśnień 4-6 i 2-4 kPa kończono odpowiednio po 42 i 34 minutach. Bezpośrednio po wyjęciu ze zbiornika w próbkach określano temperaturę nagrzania przy użyciu kamery termowizyjnej Flir i50, a następnie oznaczano zawartość wody zgodnie z polską normą PN-90/A-75101. Pozwoliło to na uzyskanie kolejnych punktów krzywej suszenia. Doświadczenia wykonano w trzech powtórzeniach, stosując każdorazowo materiał świeży.

W celu porównania wpływu metody suszenia wykonano serię doświadczeń suszenia konwekcyjnego w temperaturze 70°C i przepływie powietrza 0,3 m·s⁻¹ na stanowisku przedstawionym w artykule (Jałoszyński i in., 2006).

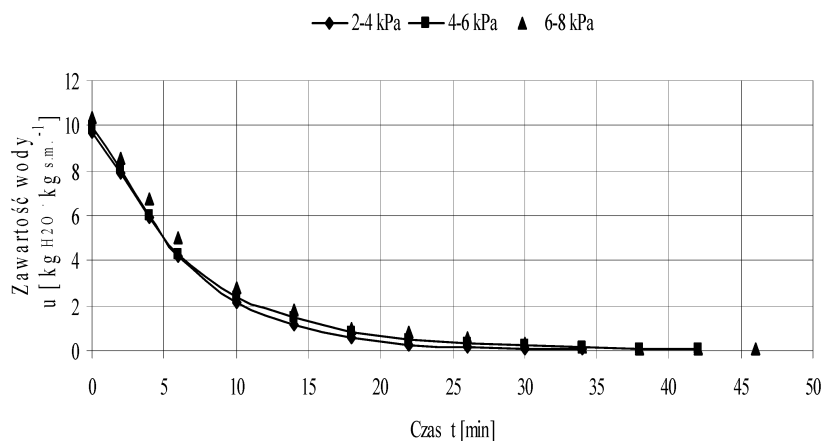
Do matematycznego opisu krzywych suszenia wykorzystano estymację nieliniową, stosując program Statistica 5.0.

Polifenole ogółem oznaczono przy użyciu spektrometru UV-VIS zgodnie z metodą opracowaną przez Gao i in. (2000), z użyciem odczynnika Folina-Ciocalteu. Wyniki przeliczono na ekwiwalent kwasu galusowego (GAE) i wyrażono w mg·g⁻¹ s.s.). Pomiar aktywności przeciwutleniającej wykonano, wykorzystując metodę z kationorodnikiem ABTS⁺ według Re i in. (1999). Zawartość przeciwutleniaczy w badanych próbkach przedstawiono jako ilość równoważnika μmol Trolox (TE) w 1 g suchej substancji.

Wyniki badań

W przypadku wszystkich trzech zakresów ciśnień w przebiegu kinetyki suszenia wyróżnić można dwa okresy suszenia. Pierwszy okres, o stałej szybkości suszenia, opisano równaniem liniowym. Okres ten kończył się, gdy zawartość wody w materiale obniżyła się do wartości krytycznej, kształtującej się na poziomie 4,2 kg_{H₂O}·kg_{s.m.}⁻¹, poniżej której rozpoczynał się drugi okres suszenia, opisany równaniem wykładniczym. Na rysunku 1 przedstawiono spadek zawartości wody w surowcu w czasie dla wybranych zakresów ciśnień. Materiał suszony był do zawartości wody na poziomie 0,07 kg_{H₂O}·kg_{s.s.}⁻¹ co odpowiada wilgotności 7%.

W tabeli 1 przedstawiono wartości stałych w równaniach liniowych i wykładniczych dla wszystkich zakresów ciśnień. Wartości współczynników poszczególnych równań obliczono za pomocą programu TC 3D.



Rysunek 1. Spadek zawartości wody w surowcu w czasie przy różnych zakresach ciśnień
Figure 1. Decrease of water content in the raw material in time at varied pressure scopes

Tabela 1

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

Table 1

Equations and determination coefficients for I and II period of drying process depending on the applied power of microwaves

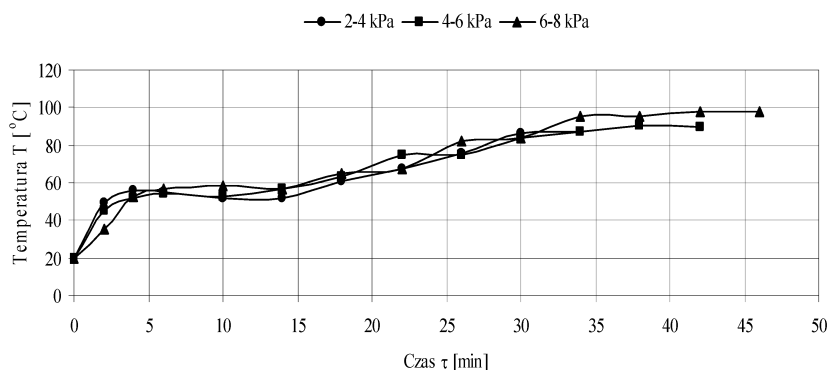
Ciśnienie	$u=a\tau+b$		Współczynnik determinacji, R^2	$u=Ae^{-B\tau}$		Współczynnik determinacji, R^2
	A	B		A	B	
2-4 kPa	-0,892	9,562	0,999	10,149	0,158	0,996
4-6 kPa	-0,956	9,960	0,999	7,486	0,118	0,996
6-8 kPa	-0,754	10,087	0,994	7,750	0,110	0,993

Na rysunku 2 przedstawiono przebieg zmian temperatury suszonego materiału dla wszystkich trzech zakresów ciśnień.

Jak można zauważyć na rysunku 2, ciśnienie z przedziału 2-4 kPa pozwala na uzyskanie najniższej temperatury materiału suszonego, jak również najkrótszy czas suszenia, kształtujący się na poziomie 34 minut. W przypadku ciśnienia 4-6 kPa czas suszenia wydłużył się do 42 minut, a w przypadku ostatniego zakresu – do 46 minut.

Do badań chemicznych wytypowano ciśnienie na poziomie 2-4 kPa. Zakres, w którym temperatura nagrzania materiału była najniższa i kształtowała się na poziomie 87°C. W przypadku pozostałych zakresów ciśnień materiał nagrzewał się odpowiednio do 91 i 98°C.

Wyniki badań chemicznej zawartości polifenoli i aktywności przeciwutleniającej papryki świeżej i suszonej metodą mikrofalowo-próżniową zestawiono w tabeli 2.



Rysunek 2. Zestawienie przebiegu narastania temperatury materiału dla wszystkich zakresów ciśnień

Figure 2. The list of the temperature growth course of the material for all scopes of pressures

Tabela 2

Zawartość polifenoli ogółem oraz aktywność przeciwutleniająca papryki świeżej, wysuszonej mikrofalowo-próżniowo i konwekcyjnie

Table 2

The content of total polyphenols and antioxidant activity of fresh pepper, dried with microwave- vacuum method and conventional method

Wyszczególnienie	Polifenole ogółem (mg GAE·g ⁻¹ s.s.)	Aktywność przeciwutleniająca ABTS ⁺ (μmol TE·g ⁻¹ s.s.)
Świeża	8.07 (0.08)	81.63 (1.26)
VM_2-4kPa	5.82 (0.06)	74.90 (0.60)
Konwekcja_70°C	4.42 (0.03)	38.84 (0.75)

Kim i in. (2011) wykonali oznaczenia spektrofotometryczne z wykorzystaniem odczynnika Folina-Ciocalteu i podali, że owoce papryki świeżej (*Capsicum Annuum* L.) zawierają 731,75 mgCE·(100 g)⁻¹ s.s. polifenoli ogółem. Owoce świeżej papryki w prowadzonych badaniach były zasobniejsze w związki polifenolowe i zawierały 8,07 mg GAE·g⁻¹ s.s. oraz wykazały aktywność przeciwutleniającą na poziomie 81,63 μmol TE·g⁻¹ s.s.). Suszenie spowodowało znaczny spadek zarówno związków polifenolowych, jak i aktywności przeciwutleniającej, przy czym bardziej destrukcyjne okazało się suszenie konwekcyjne. Suszenie mikrofalowo-próżniowe (VM) przy ciśnieniu 2-4 kPa spowodowało spadek związków polifenolowych do wartości 5,82 mg GAE·g⁻¹ s.s. i nieznaczny spadek aktywności przeciwutleniającej do 74,90 μmol TE·g⁻¹ s.s.) Wiriya i in. wykazali, że podczas suszenia papryki chili w 70°C sposobem konwekcyjnym nastąpił znaczny spadek polifenoli od 468,29 do 266,84 mg·(100 g)⁻¹ s.s..

Dla zbadanych prób papryki zaobserwowano, że wraz ze spadkiem polifenoli aktywność przeciwutleniająca malała. Degradacja związków bioaktywnych podczas suszenia jest wynikiem nieodwracalnego procesu ich utleniania w podwyższonej temperaturze. Za proces utleniania związków fenolowych odpowiedzialne są enzymy, które powodują rozkład labilnych związków aktywnych i w konsekwencji – spadek aktywności przeciwutle-

niającej. Suszenie mikrofalowe pozwoliło na skrócenie czasu trwania procesu suszenia, a tym samym – czasu ekspozycji na niekorzystne działanie podwyższonej temperatury, tlenu, światła. Wyniki badań wskazują, że ten sposób suszenia wpływa na poprawę jakości suszu z papryki w porównaniu z tradycyjnym suszeniem konwekcyjnym.

Wnioski

1. W przebiegu kinetyki suszenia papryki czerwonej można wyróżnić dwa okresy suszenia: o stałej i zmiennej szybkości suszenia dla wszystkich analizowanych zakresów ciśnień. Pierwszy okres suszenia kończył się wraz z osiągnięciem krytycznej zawartości wody na poziomie $4,2 \text{ kg}_{\text{H}_2\text{O}} \cdot \text{kg}_{\text{s.m.}}^{-1}$.
2. W czasie suszenia mikrofalowo-próżniowego (VM) papryki czerwonej wraz ze wzrostem ciśnienia następuje wzrost temperatury nagrzania materiału suszonego od 87°C dla zakresu 2-4 kPa do 98°C dla 6-8 kPa.
3. Suszenie mikrofalowo-próżniowe (VM) przy ciśnieniu 2-4 kPa pozwoliło na zachowanie 72% zawartości związków polifenolowych i 92% aktywności przeciwutleniającej w porównaniu ze świeżym surowcem. Suszenie mikrofalowo-próżniowe było metodą mniej destrukcyjną niż suszenie konwekcyjne.

Literatura

- Apak, R.; Gorinstein, S.; Böhm., Schaich K.M.; Özyürek, M.; Güçlü, K. (2013). *Methods of measurement and evaluation of natural antioxidant capacity/ activity (IUPAC Technical Report)*, Pure Appl. Chem., 85, 957-998.
- Chen, L.; Hwang, J-E.; Mo Gu, K.; Kim, J-H.; Choi, B.; Song, K-S.; Park, Y.; Kang, Y-H. (2012). *Comparative Study of Antioxidant Effects of Five Korean Varieties Red Peper (Capsicum annuum L) Extracts from Various Parts Including Placenta, Stalk and Pericarp*. Food Sci. Biotechnol., 21(3), 715-721.
- Figiel, A. (2009). *Drying kinetics and quality of vacuum-microwave dehydrated garlic cloves and slices*. Journal of Food Engineering, 94, 98-104.
- Gao, X.; Ohlander, M.; Jeppsson, N.; Bjork, L.; Trajkorski, V.(2000). *Changes in antioxidant effects and their relationship to phytonurients in fruits of Sea buckthorn (Hippophae rhamnoides L.) during maturation*. J. Agric. Food Chem. 48, 1485-1490.
- Jałoszyński, K.; Szarycz, M.; Jarosz, B. (2006). *Wpływ suszenia konwekcyjnego i mikrofalowo-podciś-nieniowego na zachowane związków aromatycznych w pietruszce naciowej*. Inżynieria Rolnicza. Nr 12 (87). s. 209-215.
- Kosson, R.; Elkner, K.; Szafirowska-Wałędzik, A. (2010). *Jakość sensoryczna warzywnych przetworów ekologicznych z papryki i fasoli szparagowej* http://www.inhort.pl/nowosci_warz_50.html
- Lima, G.P.P.; Lopes, T.D.V.C.; Rossetto, M.R.M.; Vianello, F. (2009). *Nutritional composition, phenolic compounds, nitrate content in eatable vegetables obtained by conventional and certified organic grown culture subject to thermal treatment*. International J Food Sci Technol., 44: 1118-24.
- Mousa, N.; Farid, M. (2002). *Microwave vacuum drying of banana slices*. Drying Technology, 20(10), 2055-2066.
- Nadeem, M.; Anjum, F.M.; Khan, M R.; Saeed, M.; Riaz, A. (2011). *Antioxidant Potential of Bell Pepeer (Capsicum annuum L.- A Review*, J. Food. Sci., 21(1-4), 45-51.
- Nawirska, A.; Figiel, A.; Kucharska, A.Z.; Sokół-Letowska, A.; Biesiada, A. (2009). *Drying kinetics and quality parameters of pumpkin slices dehydrated using different methods*. Journal of Food Engineering, 94, 14-20

- Perucka, I.; Materska, M. (2007). Antioxidant vitamin contents of *Capsicum annuum* fruit extracts as affected by processing and varietal factors. *Acta Sci. Pol. Technol. Aliment*, 6(4), 67-74
- Re, R.; Pellegrini, N.; Proteggente, A.; Pannala, A.; Yang, M.; Rice-Evans, C.A. (1999). Antioxidant activity applying and improved ABTS radical cation decolorization assay. *Free Radical Biology and Medicine* 26, 1231-7.
- Sham, P. W. Y.; Scaman, C. H.; Durance, T. D. (2001). Texture of vacuum microwave dehydrated apple chips as affected by calcium pretreatment, vacuum level, and apple variety. *Journal of Food Science*, 66(9), 1341-1347.
- Shotorbani, N.Y.; Jamei, R.; Haidari, R. (2013). Antioxidant activities of two sweet pepper *Capsicum annuum* L. varieties phenolic extracts and the effects of thermal treatment. *Avicenna Journal of Phytomedicine*, 3, 25-34.
- Surma-Zadora, M.; Cieřlik, E.; Grzych-Tuleja, E.; Bodzioch, A. (2011). Próba znalezienia współzależności pomiędzy zawartością witaminy C a barwą papryki. *Bromat. Chem. Toksykol. XLIV*, 1, 17-24.
- Wangcharoen, W.; Morasuk, W. (2008). Antioxidant capacity changes in Chili Spur Pepper (*Capsicum annuum* Linn. var. *acuminatum* Fingerh.) during drying process. *As. J. Food Ag-Ind.*, 1(02), 68-77.
- Wiriy, P.; Paiboon, T.; Somchart, S. (2009). Effect of drying air temperature and chemical pretreatments on quality of dried chilli. *International Food Research Journal*, 16, 441-454.
- Wojdyło, A.; Figiel, A.; Oszmiański, J. (2009). Effect of drying methods with the application of vacuum-microwave on the phenolic compounds, colour and antioxidant activity in strawberry fruits. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 57, 1337-1343.
- Zalega, J.; Szostak-Węgierek, D. (2013). Żywnie w profilaktyce nowotworów. Część I. Polifenole roślinne, karotenoidy, błonnik pokarmowy. *Probl. Hig. Epidemiol.*, 94(1), 41-49

ANALYSIS OF MICROWAVE-VACCUM DRYING OF RED PEPPER

Abstract. The objective of the paper was to describe the kinetics of microwave-vacuum drying of pepper carried out at the constant power of microwaves amounting to 480 W and three scopes of pressures 2-4; 4-6 and 6-8 kPa. Changes of temperatures of the material in the time of drying and polyphenols content as well as antioxidant activity of dried pepper were determined. The research which was carried out allowed the statement that two drying periods for all three scopes of pressures may be determined: period of constant speed of drying described with a linear equation and the period of variable speed of drying described with exponential equation. Microwave-vacuum drying (VM) at the pressure 2-4 Pa resulted in the decrease of polyphenol compounds content for the value of 5.82 mgGAE/1 g s.s. and slight decrease of antioxidant activity to 74.90 $\mu\text{molTE}/1\text{g s.s}$ in comparison to the raw material before drying and convective drying. Maximum temperature of heating a sample was 97°C.

Key words: red pepper, microwave -vacuum drying, kinetics, temperature, polyphenols, antioxidant activity

Adres do korespondencji:

Klaudiusz Jałoszyński; e-mail: klaudiusz.jaloszynski@up.wroc.pl
Instytut Inżynierii Rolniczej
Uniwersytet Przyrodniczy we Wrocławiu
ul. Chelmińskiego 37/41
51-630 Wrocław