

# WPLYW MOCY MIKROFAL W CZASIE SUSZENIA MIKROFALOWO – PRÓŻNIOWEGO NA JAKOŚĆ KOŃCOWĄ SUSZU Z OWOCÓW PIGWOWCA JAPOŃSKIEGO

Klaudiusz JAŁOSZYŃSKI, Marta PASŁAWSKA, Mariusz SURMA,  
Bogdan STĘPIEŃ, Ryszard SERAFIN, Aleksander KRZYŚ

**Streszczenie:** Procesowi suszenia mikrofalowo-próżniowego poddano owoce pigwowca japońskiego. Celem pracy było wyznaczenie kinetyki suszenia owoców pigwowca, określenie skurczu suszarniczego, ocena aktywności przeciwutleniającej i zawartości polifenoli w suszu jak również określenie maksymalnej temperatury nagrzewania materiału. Proces suszenia przeprowadzono przy ciśnieniu 2-4 kPa i czterech mocach mikrofal 120, 240, 360 i 480 W. Kinetykę suszenia opisano modelem Pagea. Maksymalny objętościowy skurcz suszarniczy kształtował się na poziomie 81%. Wraz ze wzrostem mocy mikrofal maleje skurcz suszarniczy i rośnie temperatura suszonego materiału. Zawartość polifenoli w suszu kształtowała się na poziomie  $2,2 \text{ gGAE} \cdot 100 \text{ g s.s.}^{-1}$ , a aktywność przeciwutleniająca kształtowała się na poziomie  $19,4 \text{ mmolTE} \cdot 100 \text{ g s.s.}^{-1}$ .

**Słowa kluczowe:** pigwowiec japoński, suszenie mikrofalowo-próżniowe, kinetyka, skurcz, polifenole, aktywność przeciwutleniająca

## 1. Wstęp i cel pracy

Konwencjonalne metody utrwalania warzyw i owoców, prowadzą do znacznej degradacji cennych związków odżywczych i aromatycznych oraz przyczyniają się do znaczącego pogorszenia cech organoleptycznych produktu [1, 14]. Metodą najczęściej stosowaną na skalę przemysłową jest suszenie konwekcyjne [13]. Wadą tej metody jest relatywnie długi czas suszenia przy jednoczesnym działaniu wysokiej temperatury.

Metoda, która może zapewnić otrzymanie produktu o bardzo dobrych właściwościach jest suszenie mikrofalowo-próżniowe [12, 19]. Wynika to z następujących przesłanek:

- zastosowanie obniżonego ciśnienia powoduje obniżenie temperatury wrzenia wody w porównaniu z ciśnieniem atmosferycznym. Wynikiem tego jest znaczne ograniczenie niekorzystnego efektu termicznego wpływającego na zmiany struktury, tekstury, cech organoleptycznych, a także strat biochemicznych żywności [18],
- zastosowanie nagrzewania mikrofalowego powoduje dostarczenie ciepła do całej objętości suszonego materiału w krótkim czasie. Wynikiem tego jest bardziej efektywny wewnętrzny transport ciepła niż przy tradycyjnych procesach suszenia, co znacząco skraca czas suszenia [12].

Podczas suszenia z wykorzystaniem nagrzewania mikrofalowego konieczny jest odpowiedni dobór parametrów suszenia. Nieodpowiednie prowadzenie procesu może doprowadzić do pogorszenia jakości produktu. Zastosowanie zbyt wysokiej mocy mikrofal może prowadzić do gwałtownego wzrostu temperatury i niejednokrotnie do przypalania materiału [18]. Metoda mikrofalowo-próżniowa przy odpowiednim doborze i właściwym sterowaniu mocą mikrofal jak również zakresem ciśnienia, umożliwia bardzo szybkie

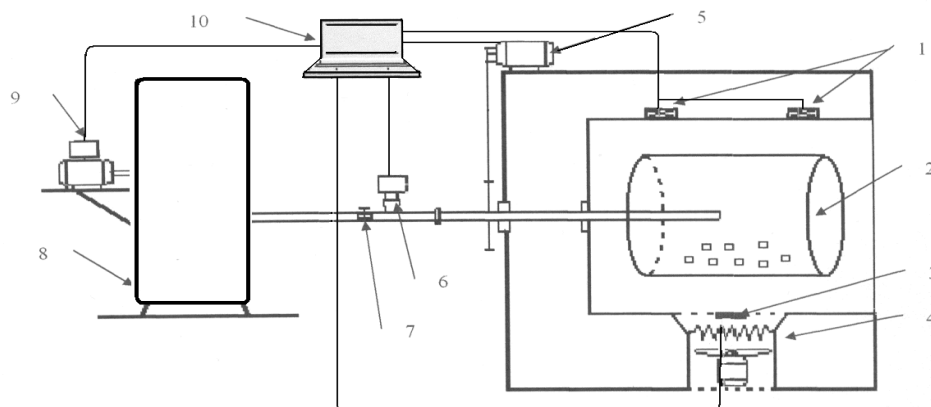
usunięcie wody z materiału przy umiarkowanej temperaturze próbki i ograniczonym kontakcie z tlenem [18]. Warunkiem zastosowania tej metody na skalę przemysłową jest rozpoznanie zjawisk zachodzących podczas tego procesu oraz jego skutków. Zachodzi więc konieczność optymalizacji procesu suszenia z wykorzystaniem energii mikrofalowej dla poszczególnych materiałów w celu uzyskania produktu końcowego o jak najwyższej jakości. W literaturze brak jest doniesień dotyczących wykorzystania metody mikrofalowo-próżniowej do suszenia owoców pigwowca japońskiego.

Owoce pigwowca japońskiego wykorzystywane są w przemyśle spożywczym, farmaceutycznym i kosmetycznym. Charakterystyczny aromat, duża wartość odżywcza wynikająca z dużej zawartości kwasów organicznych, witamin, polifenoli, składników mineralnych oraz błonnika [9,20] powodują że owoc ten może być cennym składnikiem diety człowieka. Owoce pigwowca bogate w witaminy, a w szczególności witaminę C, której ilość kształtuje się na poziomie 55-92 mg/100 g owoców [5]. W owocach pigwowca znajduje się ponad dwadzieścia związków fenolowych, są to kwasy fenolowe i flawonoidy a ich ilość kształtuje się na poziomie 645 mg/100 g sumy polifenoli [5]. W porównaniu z innymi owocami pigwowiec bogaty jest w składniki mineralne żelazo, molibden jak również magnez, sód, miedź, cynk i fosfor [6]. Ponadto owoce pigwowca charakteryzują się wysoką zawartością pektyn, związków cennych dla diety człowieka (regulują m.in. pracę przewodu pokarmowego), których jest tu około 0,8-1,29%, czyli dwukrotnie więcej niż w jabłkach [8]. Duża zawartość cennego błonnika w owocach pigwowca kształtująca się na poziomie 33 g/100 g suszu pozwala uznać je za pro-zdrowotne. Najnowsze badania farmakologiczne pigwowca japońskiego podkreślają jego właściwości farmakologiczne i biologiczne [3,23]. Przeprowadzone badania wykazały szereg właściwości przeciwpalnych, przeciwbólowych, przeciwbakteryjnych, przeciwskurczowych. Owoce pigwowca charakteryzują się dużą zawartością polifenoli jak również silną aktywnością antyoksydacyjną. W przemyśle kosmetycznym głównie wykorzystywane są nasiona. Najnowsze badania wykazały, że olej z nasion pigwowca ma właściwości lecznicze [15] jak również absorbuje promieniowanie UV-B i C.

Celem pracy było opisanie kinetyki suszenia mikrofalowo-próżniowego owoców pigwowca japońskiego, określenie temperatury nagrzania materiału w czasie suszenia, ocena aktywności przeciwutleniającej i zawartości polifenoli w suszu, oraz określenie wielkości końcowego skurczu suszarniczego w zależności od zastosowanej mocy mikrofal.

## **2. Materiał i metodyka**

Do badań użyto owoce pigwowca japońskiego (*Chaenomeles japonica*) z prywatnej plantacji w Rudzie Milickiej. Do zrealizowania badań wykorzystano suszarkę mikrofalowo-próżniową Plazmatronika SM-200 przedstawioną na rysunku 1. Zasadniczą częścią stanowiska był bęben suszarniczy wykonany ze szkła o niskim współczynniku strat dielektrycznych, w którego wnętrzu umieszczany był materiał przeznaczony do suszenia. Zbiornik umieszczano we wnęce mikrofalowej i podłączano do układu odpowiedzialnego za uzyskanie i utrzymanie odpowiedniego ciśnienia.



Rys 1. Schemat stanowiska do suszenia mikrofalowo-próżniowego SM-200 Plazmatronika 1-magnetrony, 2- komora suszenia, 3- czujnik temperatury, 4- grzałki, 5- silnik elektryczny i przekładnia, 6- miernik podciśnienia, 7- zawór zamykający, 8- zbiornik wyrównawczy, 9- pompa próżniowa, 10- komputer

Źródło: opracowanie własne

Badania przeprowadzono przy czterech mocach mikrofal 120, 240, 360, 480 W i jednym zakresie ciśnień 2-4 kPa. Materiał krojono w kostkę o krawędzi 10 mm przy użyciu wykrojnika, co zapewniało dokładność utrzymania wymiaru  $\pm 0,2$  mm. Próbkę materiału o masie ok. 60 g ważono na wadze laboratoryjnej WPE-300 i umieszczano w zbiorniku suszarniczym, a następnie rozpoczynano proces suszenia. Kolejne doświadczenia kończono po 4, 8, 12 i tak do 130 minuty w przypadku mocy 120 W. Przy zastosowaniu mocy 240, 360 i 480 W proces suszenia kończono odpowiednio po 72, 48 i 40 minutach, gdy masa surowca nie zmieniała się. Doświadczenia wykonano w trzech powtórzeniach.

Pomiar temperatury materiału suszonego wykonywano przy użyciu kamery termowizyjnej FLIR I5.

Oznaczenie zawartości suchej substancji dla wszystkich doświadczeń przeprowadzono zgodnie z Polską Normą PN-91/R-87019.

W celu przedstawienia kinetyki procesu suszenia obliczono względną zawartość wody korzystając z następującego wzoru:

$$MR = \frac{u_{\tau} - u_r}{u_0 - u_r} \quad (1)$$

gdzie:

- $MR$  – względna zawartość wody (-),
- $u_0$  – początkowa zawartość wody ( $\text{kgH}_2\text{O} \cdot \text{kg}^{-1}$  s.s.),
- $u_{\tau}$  – zawartość wody po czasie  $\tau$  ( $\text{kgH}_2\text{O} \cdot \text{kg}^{-1}$  s.s.),
- $u_r$  – równowagowa zawartość wody ( $\text{kgH}_2\text{O} \cdot \text{kg}^{-1}$  s.s.).

Do matematycznego opisu krzywych suszenia zastosowano modele najczęściej wykorzystywane w literaturze przedstawione w tabeli 1. Analizę regresji krzywych suszenia przeprowadzono przy wykorzystaniu programu TC 3D oraz arkusza Microsoft Excel 2007.

Tab. 1. Modele matematyczne użyte do opisu przebiegu kinetyki procesu suszenia pigwowca japońskiego

Numer	Nazwa modelu	Równanie
1	Newton	$MR = \exp(-k\tau)$
2	Page	$MR = \exp(-k\tau^a)$
3	Henderson Pabis	$MR = a \exp(-k\tau)$
4	Modif. Henderson i Pabis	$MR = a \exp(-k\tau) + b \exp(-g\tau) + c \exp(-h\tau)$
5	Two-Term Asymptotic	$MR = a \exp(b\tau) + c \exp(d\tau)$
6	Two-Term Logarithmic	$MR = a \exp(-k\tau) + b$
7	Wang i Singla	$MR = 1 + a\tau + b\tau^2$
8	Midilli i in.	$MR = a \exp(-k\tau^n) + b\tau$

Źródło: opracowanie własne

W celu wyboru modelu najlepiej opisującego uzyskane dane wyznaczono średni błąd kwadratowy *RMSE* [17].

Określono wartość skurczu objętościowego. Próbkę o masie ok. 60 g umieszczano w cylindrze miarowym napełnionym wodą i odczytywano objętość, po czym po ich wyjęciu i osuszeniu na bibule filtracyjnej materiał poddawano procesowi suszenia. Po wysuszeniu materiał ważono i umieszczano w tym samym cylindrze miarowym wypełnionym toluenem i odczytywano objętość. Każde doświadczenie wykonano w trzech powtórzeniach. Skurcz wywołany suszeniem obliczano z zależności.

$$S = \left(1 - \frac{V_k}{V_0}\right) \cdot 100\% \quad (2)$$

gdzie:

$V_k$  – objętość kocowa (m<sup>3</sup>),  
 $V_0$  – objętość początkowa (m<sup>3</sup>).

Polifenole ogółem oznaczono przy użyciu spektrofotometru UV-VIS zgodnie z metodą opracowaną przez Gao i in.[6], z użyciem odczynnika Folina-Ciocalteu [10, 22]. Wynik przeliczono na ekwiwalent kwasu galusowego (GAE) i wyrażono w g·100g<sup>-1</sup> s.s. Pomiar aktywności przeciwutleniającej wykonano, wykorzystując metodę z kationorodnikami ABTS według Re i in. [11]. Zawartość przeciwutleniaczy w badanych próbkach przedstawiono jako ilość równoważnika mmol TE w 100 g suchej substancji. Każdy pomiar wykonano w trzech powtórzeniach.

W celu określenia wpływu zastosowanych mocy mikrofal na końcowy skurcz suszarniczy, zawartość polifenoli i aktywność przeciwutleniającą przeprowadzono analizę

wariancji wykorzystując arkusz kalkulacyjny MS Excel 2007, przy poziomie istotności  $\alpha=0,05$ .

### 3. Wyniki i dyskusja

Czas suszenia mikrofalowo-próżniowego owoców pigwowca japońskiego do tej samej wartości względnej zawartości wody, wynosił od 130 do 40 minut. Najdłuższy czas zanotowano w przypadku zastosowania najmniejszej mocy mikrofal. Zwiększenie mocy z poziomu 120 do 240 W spowodowało skrócenie czasu suszenia o 45%. Zwiększenie mocy mikrofal z 360 do 480W spowodowało skrócenie czasu suszenia odpowiednio o 60 i 71%. Jednoczynnikowa analiza wariancji wykazała istotny wpływ mocy mikrofal na czas suszenia.

W tabeli 2 przedstawiono wyniki analizy regresji dopasowania danych eksperymentalnych przeprowadzonej odpowiednio dla każdej mocy mikrofal. Na podstawie analizy współczynników determinacji mieszczących się w przedziale od 0,978 do 0,999 można stwierdzić, że większość z zastosowanych modeli dobrze opisywała dane doświadczalne. Najmniejszy współczynnik  $R^2$  jest w przypadku modelu nr 7 Wanga i Singha. Również w przypadku tego modelu wartość RMSE była największa na poziomie 0,04. Model ten najgorzej opisywał dane doświadczalne również w badaniach Wiktora i in. [21] i Dzikiego i in. [2]. Najwyższą wartością współczynnika determinacji ( $R^2$ ) i jednocześnie najmniejszym średnim błędem kwadratowym RMSE charakteryzował się model nr 2 Pagea. Model ten bardzo dobrze opisywał kinetykę suszenia mikrofalowo-próżniowego owoców pigwowca japońskiego przy zastosowaniu wszystkich mocy mikrofal. Badania wielu autorów potwierdzają dobre dopasowanie modelu Pagea do danych doświadczalnych [4, 21].

Tab. 2. Zestawienie wartości współczynnika determinacji i parametru RMSE dla wszystkich modeli

Nr	Moc mikrofal [W]	$R^2$	RMSE	Nr	Moc mikrofal [W]	$R^2$	RMSE
1	120	0,999	0,0075	2	120	0,999	0,0072
	240	0,998	0,0141		240	0,998	0,0102
	360	0,998	0,0147		360	0,999	0,0089
	480	0,997	0,0191		480	0,999	0,0088
3	120	0,999	0,0074	4	120	0,999	0,0071
	240	0,997	0,0139		240	0,997	0,0135
	360	0,998	0,0147		360	0,999	0,0041
	480	0,998	0,0191		480	0,999	0,0088
5	120	0,999	0,0069	6	120	0,999	0,0065
	240	0,998	0,0127		240	0,998	0,0122
	360	0,999	0,0041		360	0,999	0,0043
	480	0,999	0,0072		480	0,999	0,0072
7	120	0,985	0,0438	8	120	0,998	0,0274
	240	0,978	0,0525		240	0,997	0,0105
	360	0,991	0,0328		360	0,997	0,0136
	480	0,992	0,0306		480	0,997	0,0161

Źródło: opracowanie własne

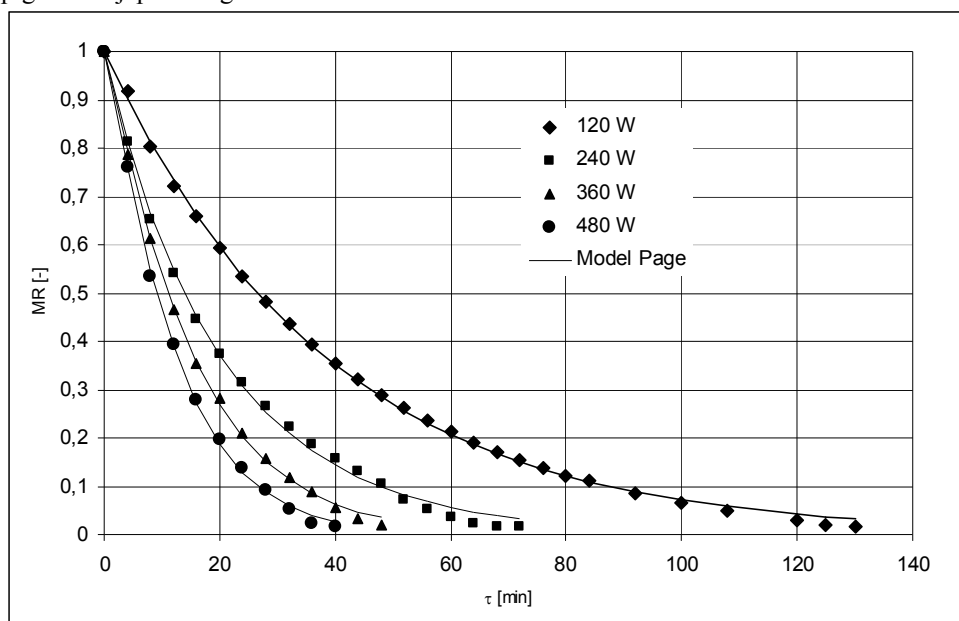
W tabeli 3 przedstawiono wartości współczynników występujących w modelu nr 2, otrzymanych na podstawie analizy regresji.

Tab. 3. Wartości współczynników w modelu Pagea opisującego przebieg suszenia mikrofalowo-próżniowego owoców pigwowca

Moc mikrofal [W]	$k$	$a$
120	0,0251	1,0105
240	0,0536	0,9733
360	0,0519	1,0775
480	0,0589	1,1160

Zródło: opracowanie własne

Na rysunku 2 przedstawiono porównanie eksperymentalnych oraz przewidywanych modelem Pagea krzywych suszenia owoców pigwowca japońskiego, w zależności od mocy mikrofal. Analiza krzywych pozwala potwierdzić dobre dopasowanie modelu do punktów doświadczalnych. Zwiększenie mocy mikrofal ma wpływ na kinetykę suszenia owoców pigwowca japońskiego.



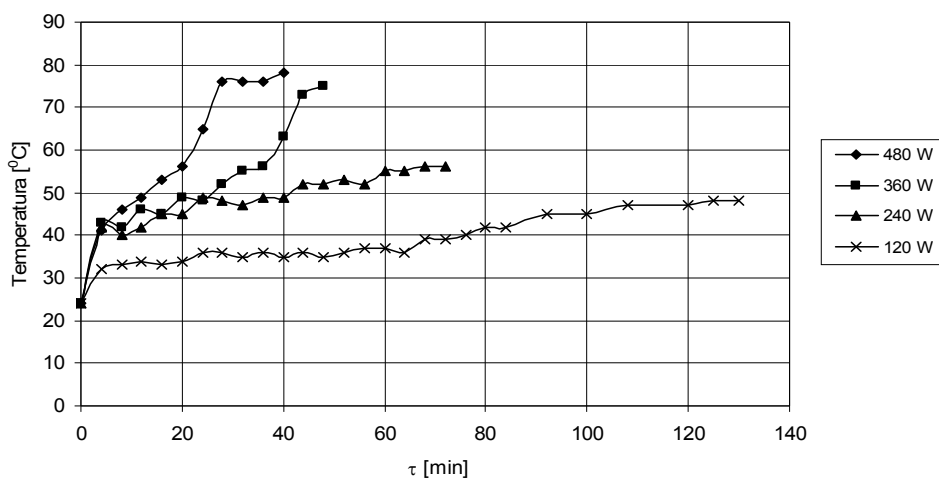
Rys. 2. Wartości doświadczalne i krzywe suszenia mikrofalowo-próżniowego uzyskane na podstawie modelu Pagea dla wszystkich mocy mikrofal

Źródło: opracowanie własne

Na rysunku 3 przedstawiono przebiegi zmiany temperatury materiału w czasie trwania procesu suszenia mikrofalowo-próżniowego. Gwałtowny wzrost temperatury materiału zachodzi w pierwszych 4 minutach trwania procesu suszenia. W przypadku zastosowania najmniejszej mocy mikrofal 120 W, maksymalna temperatura, do jakiej nagrzał się materiał wynosiła 48° C. Zwiększenie mocy dwukrotnie spowodowało wzrost temperatury materiału

do około 56° C. Zastosowanie mocy 360 i 480 W spowodowało wzrost maksymalnej temperatury nagrzania materiału odpowiednio do 73 i 79 °C. We wszystkich czterech przypadkach zaobserwowano stabilizację temperatury w końcowym okresie suszenia co związane jest z brakiem wody w materiale. Przeprowadzona analiza wariancji wykazała istotny wpływ mocy mikrofal na maksymalną temperaturę materiału.

W celu ograniczenia niekorzystnego działania podwyższonej temperatury w trakcie procesu suszenia należy doprowadzić do opracowania optymalnego modelu sterowania mocą mikrofal w trakcie suszenia. Stopniowe obniżanie mocy mikrofal powiązane z wilgotnością materiału doprowadzi do uzyskania produktu o bardzo dobrych właściwościach pro-zdrowotnych przy zachowaniu stosunkowo krótkiego czasu suszenia.

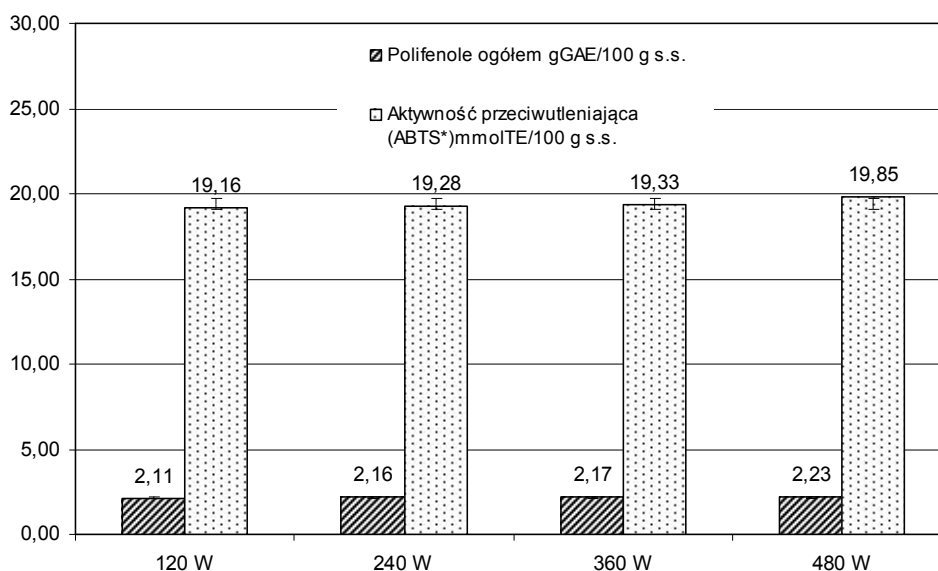


Rys. 3. Zmiany temperatury nagrzania materiału w czasie suszenia mikrofalowo-próżniowego  
Źródło: opracowanie własne

Proces suszenia mikrofalowo-próżniowego spowodował znaczne ograniczenie skurczu suszarniczego w stosunku do suszenia konwekcyjnego (dla pigwowca japońskiego 93%). W przypadku zastosowania najmniejszej mocy mikrofal końcowy objętościowy skurcz suszarniczy kształtował się na poziomie 81%. Zwiększenie mocy mikrofal z 240 do 360 W spowodowało ograniczenie skurczu suszarniczego odpowiednio o 6 i 15 %. W przypadku zastosowania największej mocy mikrofal skurcz suszarniczy kształtował się na poziomie 60%. Analiza wariancji wykazała istotny wpływ zastosowanej mocy mikrofal na końcowy skurcz suszarniczy.

Na rysunku 4 przedstawiono wpływ procesu suszenia mikrofalowo-próżniowego na aktywność przeciwutleniającą i zawartość polifenoli ogółem w owocach pigwowca japońskiego. W przypadku materiału świeżego zawartość polifenoli ogółem była na poziomie 2,94 gGAE·100 g s.s.<sup>-1</sup>, a aktywność przeciwutleniająca 29,2 mmolTE·100 g s.s.<sup>-1</sup>. W przypadku zastosowania najmniejszej mocy mikrofal 120 W nastąpiło największe obniżenie zawartości polifenoli ogółem do wartości 2,11 gGAE·100g s.s.<sup>-1</sup> i aktywności przeciwutleniającej do ok. 19,16 mmolTE·100 g s.s.<sup>-1</sup> w porównaniu z materiałem

świeżym. Zwiększenie mocy mikrofal, spowodowało nieznaczny wzrost zawartości polifenoli ogółem i aktywności przeciwutleniającej tak jak w badaniach [18, 12]. W przypadku zastosowania największej mocy mikrofal zawartość polifenoli obniżyła się do ok.  $2,23 \text{ gGAE} \cdot 100 \text{ g s.s.}^{-1}$  i aktywność przeciwutleniającą do ok.  $19,85 \text{ mmolTE} \cdot 100 \text{ g s.s.}^{-1}$ . Między zawartością polifenoli i aktywnością przeciwutleniającą dla pigwowca japońskiego stwierdzono istnienie korelacji liniowej. Zwiększenie zawartości polifenoli powodowało zwiększenie zdolności przeciwutleniającej [16]. Wielu autorów wykazywało wysoką korelację liniową pomiędzy zawartością polifenoli a zdolnością przeciwutleniającą [6, 7]. Przeprowadzona analiza statystyczna wykazała brak istotnego wpływu zastosowanych mocy mikrofal na zawartość polifenoli ogółem i aktywność przeciwutleniającą w suszu pigwowca japońskiego. W tym przypadku sterowanie mocą mikrofal w zakresie 120 - 480 W nie spowoduje istotnych zmian zawartości polifenoli i aktywności przeciwutleniającej w suszu pigwowca japońskiego.



Rys. 4. Wpływ procesu suszenia mikrofalowo-próżniowego na aktywność przeciwutleniającą i zawartość polifenoli ogółem w owocach pigwowca japońskiego wraz z odchyleniem standardowym  
Źródło: opracowanie własne

#### 4. Wnioski

1. Przebieg suszenia mikrofalowo-próżniowego owoców pigwowca japońskiego najlepiej opisywał model Pagea.
2. Wraz ze wzrostem mocy mikrofal (w badanym zakresie) skróceniu uległ czas suszenia i malał objętościowy skurecz suszarniczy.
3. Zwiększenie mocy mikrofal (w badanym zakresie) spowodowało wzrost temperatury nagrzania materiału od 48 do 79°C.



4. Analiza statystyczna wykazała brak istotnego wpływu zastosowanych mocy mikrofal na zawartość polifenoli ogółem i aktywność przeciwutleniającą w suszu pigwowca.

## Literatura

1. Alias I.: Energy consumption and colour characteristics of nettle leaves during microwave vacuum and convective drying. *Biosystems Engineering* 96 (4), 2007, s. 495-502.
2. Dzikowski D., Polak R., Wójcik P., Gawłowski S., Krzysia Z.: *Inżynieria Przemysłu Spożywczego* ¼ (13), 2015, s. 19-23.
3. Du H., Wu J., Li H.: Polyphenols and triterpenes from *Chaenomeles* fruits, Chemical analysis and antioxidant activities assessment. *Food Chem.* 141:4260-8, 2013.
4. Figiel A.: Drying kinetics and quality of vacuum-microwave dehydrated garlic cloves and slices. *Journal of Food Engineering*, Volume 94, Issue I, 2009, s. 98-104.
5. Fronc A., Oszmiański J.: Pigwowiec i aronia- surowiec do produkcji herbat owocowych. *Wiad. Ziel.* 1:19-20, 1994.
6. Gao X., Ohlander M., Jeppsson N., Bjork L., Trajkovski V.: Changes in antioxidant effects and their relationship to phytonutrients in fruits of Sea buckthorn (*Hippophae rhamnoides* L.) during maturation. *J. Agric. Food Chem.* 48, 2000, s. 1485-1490.
7. Kuljarachanan T., Devahastin S., Chiewchan N.: Evolution of antioxidant compounds in lime residues during drying. *Food Chem.*, 113(4), 2009, s.944-949.
8. Kunachowicz H., Nadolna I., Przygoda B., Iwanow K.: *Tabele wartości odżywczej produktów spożywczych. IZZ 85*, Warszawa ISBN 83-200-3112-5, 1998.
9. Lesińska E.: Zawartość składników mineralnych w owocach pigwowca. *Zesz. Nauk AR w Krakowie, Rolnictwo* 25, 1985,192:175-83.
10. Oszmiański J., Wolniak M., Wojdyło A., Wawer I.: Comparative study of polyphenolic content and antiradical activity of cloudy and clear apple juices. *J. Sci. Food Agric.* 87, 2007, 573-579.
11. Re R., Pellegrini N., Proteggente A., Pannala A., Yang M., Rice-Evans C.A.: Antioxidant activity applying an improved ABTS radical cation decolorization assay. *Free Radical Biology and Medicine* 26, 1999, 1231-7.
12. Sham P. W. Y., Scaman C. H., Durance T. D.: Texture of vacuum microwave dehydrated apple chips as affected by calcium pretreatment, vacuum level, and apple variety. *Journal of Food Science*, 66 (9), 2001, 1341-1347.
13. Skorupska E.: Badanie procesu suszenia konwekcyjnego pietruszki korzeniowej. *Inżynieria Rolnicza* Nr. 9 (69), 2005, s. 313-320.
14. Stępień B.: Impact of the drying method on the process of carrot cutting. *Acta Agrophysica* 9(1). 2007, s. 255-267.
15. Strek M., Gorlach S., Podsedek A.: Procyanidin oligomers from Japanese quince (*Chaenomeles Japonica*) fruit inhibit activity of MMP-2 and MMP-9 metalloproteinases. *J. Agric Food Chem.* 55(16):6447-52, 2007.
16. Surma M., Jałoszyński K., Paślawska M., Peroń S.: Wpływ temperatury czynnika suszającego na kinetykę suszenia, zawartość polifenoli i aktywność przeciwutleniającą suszonej fontannowo papryki czerwonej. *Inżynieria Rolnicza* Nr. 4 (147), 2013, s. 325-333.
17. Sutar P.P., Prasad G.: *Drying Techn.* 25, Nr. 10, 2007.

18. Szarycz M., Kramkowski R., Kamiński E.: Zastosowanie mikrofal do suszenia produktów spożywczych. Część II. Konsekwencje sterowania mocą mikrofal. *Problemy Inżynierii Rolniczej* nr 2/2002, Warszawa 2002, s. 55-63.
19. Szarycz M., Fidos M., Jałoszyński K.: Wpływ zakresu ciśnień podczas suszenia mikrofalowego pod obniżonym ciśnieniem selera korzeniowego na kinetykę procesu i pracę cięcia rehydrowanego materiału. *Inżynieria Rolnicza*. Nr 4 (79), 2006, s. 239-246.
20. Tarko T., Duda-Chodak A., Pogoń P.: Charakterystyka owoców pigwowca japońskiego i derenia jadalnego. *Żywność Nauka Technologia Jakość* 6(73):100-8, 2010.
21. Wiktor A., Łuczywek K., Witrowa-Rajchert D.: Modelowanie matematyczne kinetyki suszenia mikrofalowo-konwekcyjnego liści bazylii. *Zeszyty Problemowe Postępów Nauk Rolniczych* z 570, 2012, s. 127-141.
22. Wojdyło A., Figiel A., Oszmiański J.: 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, 2009, 1337-1343.
23. Zhang L., Cheng YX, Liu AL I.: Antioxidant anti-inflammatory and anti-influenza properties of components from *Chaenomeles speciosa*. *Molecules* 15(11), 2010, 8507-17, 2010.

Dr inż. Klaudiusz JAŁOSZYŃSKI  
 Dr inż. Mariusz SURMA  
 Dr inż. Marta PASŁAWSKA  
 Dr inż. Aleksander KRZYŚ  
 Dr hab. inż. Bogdan STEPIEŃ  
 Uniwersytet Przyrodniczy we Wrocławiu  
 Instytut Inżynierii Rolniczej  
 51-630 Wrocław, ul. Chelmińskiego 37/41  
 tel/fax.: (0-71)3205700  
 e-mail: [kladiusz.jaloszynski@up.wroc.pl](mailto:kladiusz.jaloszynski@up.wroc.pl)  
           [mariusz.surma@up.wroc.pl](mailto:mariusz.surma@up.wroc.pl)  
           [marta.paslawska@up.wroc.pl](mailto:marta.paslawska@up.wroc.pl)  
           [aleksander.krzys@up.wroc.pl](mailto:aleksander.krzys@up.wroc.pl)  
           [bogdan.stepien@up.wroc.pl](mailto:bogdan.stepien@up.wroc.pl)

Mgr inż. Ryszard SERAFIN  
 Katedra Zarządzania i Inżynierii Produkcji  
 Wydział Inżynierii Produkcji i Logistyki  
 Politechnika Opolska  
 45-370 Opole, ul. Ozimska 75  
 e-mail: [r.serafin@po.opole.pl](mailto:r.serafin@po.opole.pl)