

WPLYW MOCY MIKROFAL I CIŚNIENIA W CZASIE SUSZENIA MIKROFALOWO-PRÓŻNIOWEGO NA JAKOŚĆ KOŃCOWĄ SUSZU Z OWOCÓW PIGWY

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

Streszczenie: Procesowi suszenia mikrofalowo-próżniowego poddano owoce pigwy. Celem pracy było wyznaczenie kinetyki suszenia owoców pigwy pospolitej, określenie końcowego skurczu suszarniczego, ocena aktywności przeciwutleniającej i zawartości polifenoli w suszu jak również określenie maksymalnej temperatury nagrzewania materiału. Proces suszenia przeprowadzono przy ciśnieniu 4-6 kPa i trzy moce mikrofal 240, 360 i 480 W. Kinetykę suszenia opisano modelem Pagea. Maksymalny objętościowy skurcz suszarniczy kształtował się na poziomie 75%. Wraz ze wzrostem mocy mikrofal maleje skurcz suszarniczy i rośnie temperatura suszonego materiału. Zawartość polifenoli w suszu kształtowała się na poziomie 1,3 gGAE·100g s.s.⁻¹, a aktywność przeciwutleniająca kształtowała się na poziomie 21,1 mmolTE·100g s.s.⁻¹.

Słowa kluczowe: owoc pigwy, suszenie mikrofalowo-próżniowe, kinetyka, skurcz, polifenole, aktywność przeciwutleniająca

1. Wstęp i cel pracy

Prawidłowe funkcjonowanie organizmu człowieka, jego kondycja, zdrowie oraz samopoczucie w dużym stopniu zależy od tego, co znajduje się w jego codziennej diecie. Dieta ta powinna dostarczyć optymalną ilość potrzebnych składników, indywidualnie określoną dla każdego organizmu. Odpowiednio zbilansowana dieta zawiera odpowiednie ilości tłuszczów, węglowodanów i mikroelementów jak również owoce i warzywa które, są bardzo ważnym składnikiem codziennej diety człowieka. Są one bogatym źródłem witamin i składników mineralnych wpływającym w znacznym stopniu na odporność oraz odpowiednie funkcjonowanie organizmu. Największą wartość odżywczą posiadają owoce i warzywa świeże, które w tym stanie występują sezonowo. Aby również poza sezonem mieć dostęp do owoców i warzyw konieczna jest ich konserwacja. Jedną z metod pozwalających na przedłużenie okresu przydatności do spożycia jest suszenie [21].

Tradycyjne metody suszenia owoców i warzyw, prowadzą do znacznej redukcji cennych związków odżywczych, aromatycznych oraz prowadzą do istotnego pogorszenia cech organoleptycznych produktu finalnego [1, 17]. Wykorzystywanie tradycyjnych metod suszenia tj. suszenia konwekcyjnego na skalę przemysłową prowadzi do uzyskania produktu o niskich właściwościach odżywczych [16].

Metodą pozwalającą uzyskać produkt o bardzo dobrych właściwościach jest suszenie w obniżonym ciśnieniu z jednoczesnym nagrzewaniem mikrofalowym. Obniżenie ciśnienia w czasie procesu suszenia powoduje obniżenie temperatury wrzenia wody w odniesienia do ciśnienia atmosferycznego. Wynikiem tego obniżenia jest istotne zmniejszenie się

niekorzystnego efektu termicznego mającego wpływ na teksturę, strukturę oraz cechy organoleptyczne produktu.

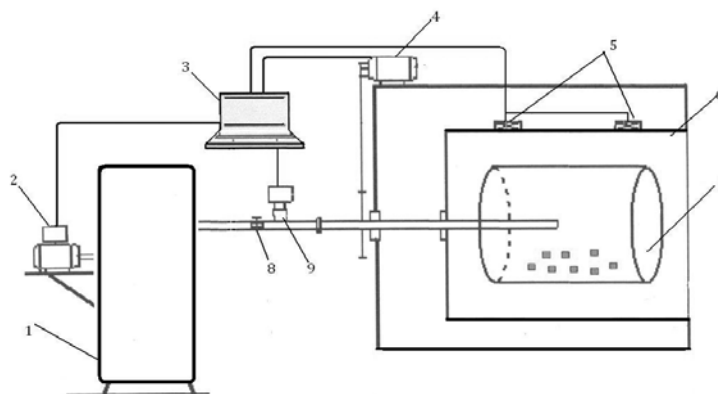
Wykorzystanie mikrofal jako źródła ciepła powoduje dostarczenie go do całej objętości materiału w bardzo krótkim czasie, a co za tym idzie możliwe jest kształtowanie temperatury suszonego materiału, wpływając na bardziej efektywny transport ciepła w porównaniu z tradycyjnymi metodami suszenia [21]. Możliwość odpowiedniego kształtowania rozkładu temperatur wewnątrz suszonego materiału powinno znacznie ograniczyć a nawet wyeliminować miejscowe przegrzewanie się materiału. Zastosowanie nagrzewania mikrofalowego znacząco skraca czas suszenia [16, 21]. W celu uzyskania suszu o prozdrowotnych właściwościach konieczny jest odpowiedni dobór parametrów suszenia. Nieodpowiednie prowadzenie procesu może doprowadzić do pogorszenia jakości produktu finalnego. Zbyt wysoka moc mikrofal może prowadzić miejscowo do wzrostu temperatury i niejednokrotnie do przypalenia materiału [20]. Metoda mikrofalowo-próżniowa przy odpowiednim doborze i właściwym sterowaniu mocą mikrofal jak również zakresem ciśnienia, umożliwi bardzo szybkie usunięcie wody z materiału przy umiarkowanej temperaturze próbki i ograniczonym kontakcie z tlenem [20]. Optymalny dobór parametrów prowadzenia procesu wpłynie również na aspekt ekonomiczny całego procesu. Warunkiem wykorzystania metody na skalę przemysłową jest rozpoznanie zjawisk zachodzących podczas tego procesu oraz jego skutków. Zachodzi, więc konieczność optymalizacji procesu suszenia 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 pigwy pospolitej (*Cydonia oblonga* Miller).

Owoce pigwy mogą być cennym składnikiem diety człowieka [24]. Pigwa w swoim składzie zawiera: ok. 80% wody, 0,4% białka, 0,1% tłuszczu, 0,4% pektyn, które wpływają pozytywnie na układ pokarmowy oraz skórę. W skład cennych składników owoców pigwy wchodzi jeszcze: kwasy organiczne (ok. 2%) (kwas jabłkowy, cytrynowy), cukry 8,5 – 12%, oraz owoce są cennym źródłem makroelementów. Świeże owoce zawierają również żelazo, potas, miedź, nikiel, bor, glin, mangan [9, 10]. Pigwa zawiera także liczne aminokwasy takie jak: kwas asparaginowy, treoninę, glicynę, cysteinę i alaninę [15]. Pigwa ma bardzo przyjemny i intensywny zapach przypominający pomarańcze i ananasa. Na intensywny aromat dojrzałych owoców pigwy składa się około 80 różnych związków zapachowych. Wśród tych związków znajdują się: estry, aldehydy, alkohole, terpeny, ketony [24]. Owoce pigwy mają twardy, mało soczysty i cierpki smak, który dodatkowo posiada dużo komórek kamiennych [6, 11]. Po rozkrojeniu owoce bardzo szybko ciemnieją, związane jest to z obecnością w ich składzie dużej ilości kwasu chlorogenowego wraz z jego pochodnymi. Na ciemnienie miąższu wpływa także aktywność polifenolooksydazy [10]. Oprócz ciemnienia owoce są podatne na uszkodzenia. Zaletą owoców pigwy jest możliwość ich długotrwałego przechowywania w chłodnych pomieszczeniach. Pigwa często jest mylona z pigwowcem japońskim (*Chaenomeles japonica*). Obie rośliny są podobne lecz różnią się wielkością owoców. Pigwowiec japoński ma owoce mniejsze i zawierające mało miąższu [6].

Celem pracy było opisanie kinetyki suszenia mikrofalowo-próżniowego owoców pigwy, 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 pigwy pospolitej odmiany Leskovac z prywatnej plantacji w Rudzie Milickiej. Do zrealizowania badań wykorzystano suszarkę mikrofalowo-próżniową Plazmatronika SM-200 przedstawioną na rysunku 1. Zasadniczą częścią stanowiska jest 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 próżniowego. Za utrzymanie odpowiedniego ciśnienia w instalacji i komorze suszenia odpowiada zestaw czujników sterowany komputerowo.



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

Źródło: opracowanie własne

Badania przeprowadzono dla trzech poziomów mocach mikrofal 240, 360, 480 W i jednego zakresu ciśnień 4-6 kPa. Materiał świeży 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 szklanym zbiorniku suszarniczym, podłączano układ próżniowy a następnie rozpoczynano proces suszenia. Kolejne doświadczenia kończono po 3, 9, 12 i tak do 51 minuty w przypadku mocy 240 W. Przy zastosowaniu mocy 360 i 480 W proces suszenia kończono odpowiednio po 39 i 27 minutach, gdy masa surowca nie zmieniła się. Doświadczenia wykonano w trzech powtórzeniach. Pomiar temperatury nagrzania materiału w czasie suszenia 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_o – początkowa zawartość wody ($\text{kgH}_2\text{O}\cdot\text{kg}^{-1}$ s.s.),
 u_τ – zawartość wody po czasie τ ($\text{kgH}_2\text{O}\cdot\text{kg}^{-1}$ s.s.),
 u_r – równowagowa zawartość wody ($\text{kgH}_2\text{O}\cdot\text{kg}^{-1}$ s.s.).

Do matematycznego opisu krzywych suszenia owoców pigwy wybrano 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 owoców pigwy

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 najlepszego modelu matematycznego opisującego kinetykę suszenia wyznaczono średni błąd kwadratowy *RMSE* [19].

Określono również wartość końcowego 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 [7]:

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

gdzie:

V_k – objętość kocowa (m^3),

V_0 – objętość początkowa (m^3).

Polifenole ogółem oznaczono przy użyciu spektrofotometru UV-VIS zgodnie z metodą opracowaną przez Gao i in.[5], z użyciem odczynnika Folina-Ciocalteau [12, 23]. Wynik przeliczono na ekwiwalent kwasu galusowego (GAE) i wyrażono w $\text{g}\cdot 100\text{g}^{-1}$ s.s. Pomiar aktywności przeciwutleniającej wykonano, wykorzystując metodę z kationorodnikami ABTS według Re i in.[13]. Zawartość przeciwutleniaczy w badanych próbkach przedstawiono jako ilość równoważnika mmolTE 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

Proces suszenia mikrofalowo-próżniowego owoców pigwy pospolitej do tej samej wartości względnej zawartości wody, wynosił od 27 do 51 minut w zależności od zastosowanej mocy mikrofal. Najdłuższy czas zanotowano w przypadku zastosowania najmniejszej mocy mikrofal (240W). Zwiększenie mocy mikrofal do wartości 360W spowodowało skrócenie czasu suszenia do 39 minut. W przypadku zastosowania największej mocy czas ten skrócił się do 27 minut. Zwiększenie mocy dwukrotnie spowodowało skrócenie czasu suszenia o 47 %. 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 zastosowanej mocy mikrofal. Na podstawie analizy współczynników determinacji dla wszystkich zastosowanych modeli mieszczących się w przedziale od 0,985 do 0,999 można stwierdzić, że większość z zastosowanych modeli dobrze opisywała dane doświadczalne. Najmniejszy współczynnik R^2 jest w przypadku modelu nr 7. Również w przypadku modelu 7 Wang i Singla wartość RMSE była największa na poziomie 0,048. Model ten najgorzej opisywał dane uzyskane z doświadczeń również w badaniach innych autorów Wiktora i in. [22] i Dzikiego i in. [2]. Najwyższą wartością współczynnika determinacji (R^2) i jednocześnie najmniejszym średnim błędem kwadratowym RMSE kształtującym się na poziomie 0,0091 charakteryzował się model nr 2 Pagea. Model ten bardzo dobrze opisywał kinetykę suszenia mikrofalowo-próżniowego owoców pigwy przy zastosowaniu wszystkich trzech mocy mikrofal. Badania wielu autorów potwierdzają dobre dopasowanie modelu Pagea do danych doświadczalnych [4, 22].

Tab. 2. Zestawienie wartości współczynnika determinacji i parametru RMSE dla ciśnienia 4-6 kPa i wszystkich modeli

Nr	Moc mikrofal [W]	R^2	RMSE	Nr	Moc mikrofal [W]	R^2	RMSE
1	240	0,998	0,0101	2	240	0,999	0,0093
	360	0,999	0,0097		360	0,999	0,0088
	480	0,998	0,0125		480	0,999	0,0092
3	240	0,992	0,0377	4	240	0,997	0,0190
	360	0,991	0,0479		360	0,998	0,0157
	480	0,984	0,0591		480	0,997	0,0164
5	240	0,997	0,0190	6	240	0,996	0,1026
	360	0,998	0,0157		360	0,997	0,0174
	480	0,995	0,0258		480	0,997	0,0173
7	240	0,991	0,0205	8	240	0,994	0,0355
	360	0,991	0,0477		360	0,991	0,0479
	480	0,984	0,0591		480	0,985	0,0591

Źródło: opracowanie własne

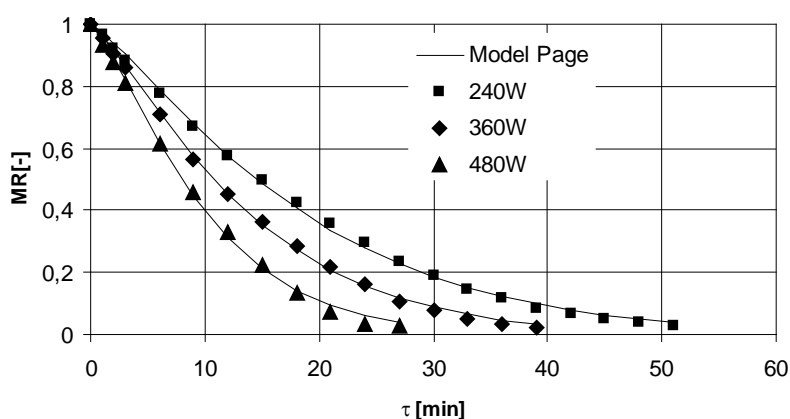
W tabeli 3 przedstawiono wartości współczynników w modelu nr 2 dla ciśnienia 4-6 kPa, otrzymanych na podstawie analizy regresji.

Tab. 3. Wartości współczynników w modelu Pagea opisującego przebieg suszenia mikrofalowo-próżniowego owoców pigwy dla ciśnienia 4-6 kPa

Ciśnienie [kPa]	Moc mikrofal [W]	k	a
4-6	240	0,0266	1,2187
	360	0,0374	1,2285
	480	0,0424	1,2725

Źródło: opracowanie własne

Na rysunku 2 przedstawiono punkty eksperymentalne wraz z modelem Pagea dla kinetyki suszenia owoców pigwy, w zależności od zastosowanej mocy mikrofal. Analiza krzywych pozwoliła potwierdzić dobre dopasowanie wybranego modelu do punktów doświadczalnych. Zwiększenie mocy mikrofal ma wpływ na kinetykę suszenia owoców pigwy.



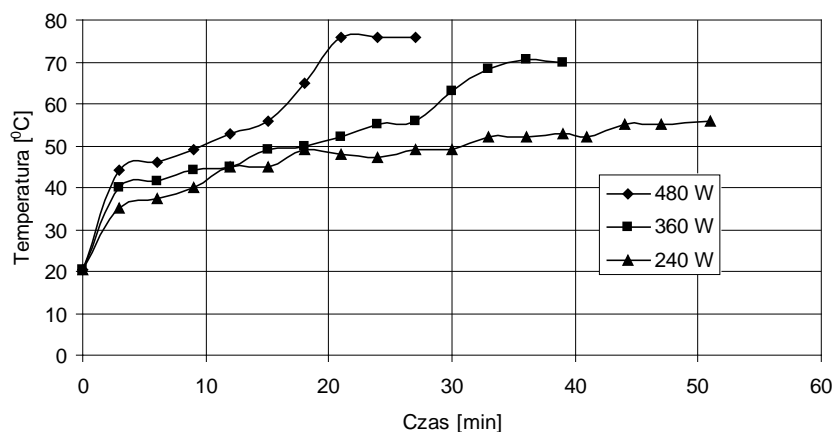
Rys. 2. Wartości doświadczalne i krzywe suszenia mikrofalowo-próżniowego uzyskane na podstawie modelu Pagea dla ciśnienia 4-6 kPa i wszystkich mocy mikrofal

Źródło: opracowanie własne

Na rysunku 3 przedstawiono temperaturę nagrzania materiału w czasie trwania procesu suszenia mikrofalowo-próżniowego w zależności od zastosowanej mocy mikrofal. Gwałtowny wzrost temperatury materiału zachodzi w pierwszych 3 minutach trwania procesu suszenia. W przypadku zastosowania najmniejszej mocy mikrofal 240 W, maksymalna temperatura, do jakiej nagrzał się materiał wynosiła 55 °C. Zastosowanie mocy 360 i 480 W spowodował wzrost maksymalnej temperatury nagrzania materiału odpowiednio do 70 i 77 °C. We wszystkich trzech przypadkach zaobserwowano wyraźną 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 obniżenia temperatury nagrzania materiału w trakcie procesu suszenia mikrofalowo-próżniowego należy opracować optymalny model sterowania mocą mikrofal polegający na stopniowej redukcji mocy mikrofal. Zmniejszanie mocy powinno być

powiązane z chwilową wilgotnością materiału. Może doprowadzi to do uzyskania produktu o bardzo dobrych właściwościach pro-zdrowotnych przy zachowaniu stosunkowo krótkiego czasu suszenia.



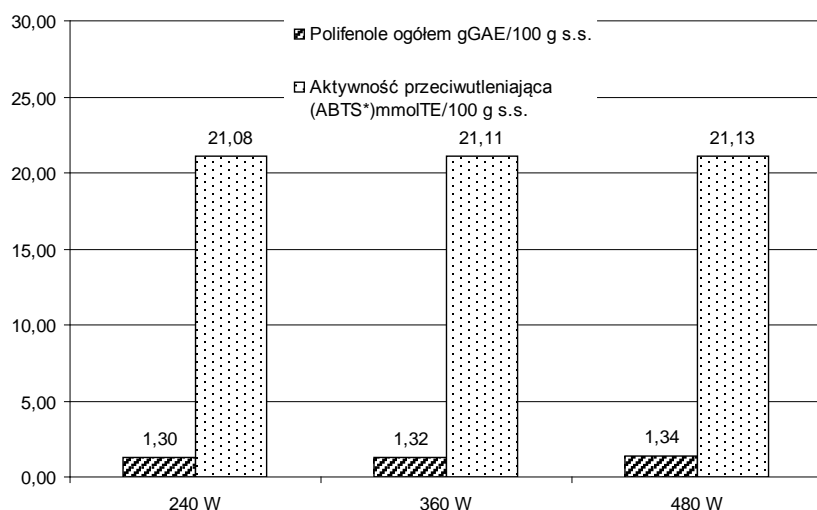
Rys. 3. Zmiany temperatury nagrzania materiału w czasie suszenia mikrofalowo-próżniowego dla ciśnienia 4-6 kPa i mocy 24, 360 i 480 W

Źródło: opracowanie własne

Wykorzystanie metody mikrofalowo-próżniowego suszenia produktów pochodzenia biologicznego prowadzi do znacznego ograniczenia skurczu suszarniczego w stosunku do suszenia tradycyjnego (suszenie konwekcyjne), w którym skurcz owoców pigwy jest na poziomie 91% [7]. W przypadku zastosowania najmniejszej mocy mikrofal końcowy objętościowy skurcz suszarniczy kształtował się na poziomie 75%. Zwiększenie mocy mikrofal z 240 do 360 W spowodowało ograniczenie skurczu suszarniczego do 68%. W przypadku zastosowania największej mocy mikrofal skurcz suszarniczy kształtował się na poziomie 62%. Analiza wariancji wykazała istotny wpływ zastosowanej mocy mikrofal na końcowy skurcz suszarniczy.

Na rysunku 4 przedstawiono wpływ procesu suszenia na aktywność przeciwutleniającą i zawartość polifenoli ogółem w owocach pigwy. W przypadku materiału świeżego zawartość polifenoli ogółem była na poziomie 2,08 gGAE·100 g s.s.⁻¹, a aktywność przeciwutleniająca 28,4 mmolTE·100 g s.s.⁻¹. W przypadku suszenia mikrofalowo-próżniowego zastosowanie najmniejszej mocy mikrofal 240 W spowodowało największe obniżenie zawartości polifenoli ogółem do wartości 1,30 gGAE·100g s.s.⁻¹ i aktywności przeciwutleniającej do ok. 21,08 mmolTE·100 g s.s.⁻¹ w porównaniu z materiałem świeżym. Zwiększenie mocy mikrofal, spowodowało nieznaczny wzrost zawartości polifenoli ogółem i aktywności przeciwutleniającej [14, 12]. W przypadku zastosowania największej mocy mikrofal zawartość polifenoli obniżyła się do ok. 1,34 gGAE·100 g s.s.⁻¹ a aktywność przeciwutleniająca do ok. 21,13 mmolTE·100 g s.s.⁻¹. Między zawartością polifenoli i aktywnością przeciwutleniającą dla pigwy stwierdzono istnienie korelacji liniowej. Zwiększenie zawartości polifenoli powodowało zwiększenie zdolności przeciwutleniającej [3, 18]. W literaturze wielu autorów wykazywało występowanie korelację liniową pomiędzy zawartością polifenoli a zdolnością przeciwutleniającą [5, 8]. Przeprowadzona analiza statystyczna wykazała brak istotnego wpływu zastosowanych mocy mikrofal na aktywność przeciwutleniającą i zawartość polifenoli ogółem w suszu

pigwy. Wykorzystanie mocy mikrofal w zakresie 240 - 480 W nie spowodowało istotnych zmian zawartości polifenoli i aktywności przeciwutleniającej w suszu pigwy pospolitej.



Rys. 4. Wpływ procesu suszenia mikrofalowo-próżniowego na aktywność przeciwutleniającą i zawartość polifenoli ogółem w suszu z owoców pigwy
Źródło: opracowanie własne

4. Wnioski

1. Przebieg suszenia mikrofalowo-próżniowego owoców pigwy pospolitej najlepiej opisywał model Pagea.
2. Wraz ze wzrostem mocy mikrofal (w badanym zakresie) skróceniu ulegał czas suszenia i malał objętościowy skurcz suszarniczy.
3. Zwiększenie mocy mikrofal (w badanym zakresie) spowodowało wzrost temperatury nagrzania materiału od 55 do 77°C.
4. Analiza statystyczna wykazała brak istotnego wpływu zastosowanych mocy mikrofal na zawartość polifenoli ogółem i aktywność przeciwutleniającą w suszu pigwy pospolitej.

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. Dzik 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. 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.
6. Kruczyńska D., 2000, *Grusze i pigwa – owoce z mojego ogrodu*, Warszawa
7. Krzykowski A., Rydzia L., 2001, Skurecz objętościowy i zmiany gęstości marchwi w procesie konwekcyjnego suszenia, *Inżynieria Rolnicza* 2, 147.
8. Kuljarachanan T., Devahastin S., Chiewchan N.: Evolution of antioxidant compounds in lime residues during drying. *Food Chem.*, 113(4), 2009, s.944-949.
9. Kunachowicz H., Nadolna I., Przygoda B., Iwanow K.: Tabele wartości odżywczej produktów spożywczych. IZZ 85, Warszawa ISBN 83-200-3112-5, 1998.
10. Lańska D., Leksykon przyrody „Jadalne rośliny dziko rosnące” Wydawnictwo Delta 1992 Warszawa.
11. Lewko J., Wojdyło A., Pigwa znana i nieznana. Monografia: Czynniki wpływające na plonowanie i jakość owoców roślin sadowniczych, 2009 SGGW 9, s35-43.
12. Oszmiański J., Wolniak M., Wojdyło A., Wawer I.: Comparative study of polyphenolic content and antiradical activity of cloudy and clear apple juices. *J. Sci. Ford. Agric.* 87, 2007, 573-579.
13. Re R., Pellegrini N., Proteggente A., Pannala A., Yang M., Rice-Evans C.A.: Antioxidant activity applying and improved ABTS radical cation decolorization assay. *Free Radical Biology and Medicine* 26, 1999, 1231-7.
14. 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.
15. Silva B.M., Andrade P.B., Valentao P., Ferreres F., Seabra R.M., Ferreira M.A., 2004, Quince (*Cydonia oblonga* Miller) fruits (pulp, peel, and seed) and jam: antioxidant activity, *J. Agric. Food Chem.*, 52, s. 4705 – 4712.
16. Skorupska E.: Badanie procesu suszenia konwekcyjnego pietruszki korzeniowej. *Inżynieria Rolnicza* Nr. 9 (69), 2005, s. 313-320.
17. Stępień B.: Impact of the drying method on the process of carrot cutting. *Acta Agrophysica* 9(1). 2007, s. 255-267.
18. Surma M., Jałoszyński K., Paślawska M., Peroń S.: Wpływ temperatury czynnika suszącego na kinetykę suszenia, zawartość polifenoli i aktywność przeciwutleniającą suszonej fontannowo papryki czerwonej. *Inżynieria Rolnicza* Nr. 4 (147), 2013, s. 325-333.
19. Sutar P.P., Prasad G.: *Drying Techn.* 25, Nr. 10, 2007.
20. 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.
21. 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.
22. 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.
23. 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.

24. Wojdyło A., Ocena możliwości zastosowania owoców pigwy pospolitej w produkcji przetworów o wysokiej zawartości polifenoli i aktywności przeciwutleniającej, UWP Wrocław, 2011, ISBN 978-83-7717-039-7.

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