

# WPLYW WSTĘPNEGO PRZYGOTOWANIA OWOCÓW JARZĘBINY NA KINETYKĘ ICH SUSZENIA I WTÓRNEGO UWADNIANIA

**Mariusz SURMA, Kamil PAŁKA, Klaudiusz JAŁOSZYŃSKI, Marta PASŁAWSKA,  
Bogdan STĘPIEŃ, Ryszard SERAFIN,**

**Streszczenie:** Celem pracy było zbadanie kinetyki wysychania owoców jarzębiny w warunkach konwekcji naturalnej przygotowanych na 3 sposoby: gniecionych, nakłuwanych oraz nie poddanych żadnemu zabiegowi. Materiał do badań stanowiły owoce jarzębiny w fazie dojrzałości zbiorczej i wilgotności ok 74%. Próbki suszono do zawartości wody ok.  $0,2 \text{ kg H}_2\text{O}(\text{kg s.m.})^{-1}$ . Suszenie prowadzono w suszarce laboratoryjnej w nieruchomej warstwie w temperaturze  $60^\circ\text{C}$ . Wyniki przedstawiono w postaci wykresów oraz równań korelacyjnych. Stwierdzono wpływ zabiegu gniecienia i szpilkowania na szybkość suszenia owoców jarzębiny zwyczajnej. Uzyskane wyniki badań wykazały wpływ metody obróbki wstępnej surowca stosowanego w procesie suszenia na kinetykę rehydracji uzyskanego suszu jarzębiny. Do wyznaczenia modeli empirycznych i wyznaczenia punktu wykorzystano algorytm optymalizacji nieliniowej Levenberga-Marquardta.

**Słowa kluczowe:** suszenie, owoce jarzębiny, konwekcja naturalna, rehydracji, proces obróbki wstępnej

## 1. Wstęp i cel pracy

Jarząb pospolity, jarząb zwyczajny, jarzębina (*Sorbus aucuparia* L.) jest rośliną wieloletnią należącą do rodziny różowatych. Występuje w Europie, południowo-zachodniej Azji, zachodniej Syberii. W Polsce pospolity na całym obszarze.

Owoce jarzębiny mają dużo witaminy C, E, P, K, PP, nieco witaminy A, cukier sorbozę, garbniki (do 10%) i pektyny, zawierają kwasy organiczne między innymi parasorbowy i jabłkowy. Oprócz nich karotenoidy, substancje goryczowe, związki cukrowe np.: D-sorbitol [10].

Owoce jarzębiny mogą być stosowane w profilaktyce arteriosklerozy i choroby nadciśnieniowej, nieznacznie zwiększają wydalanie moczu, stymulują pracę jelit, działają przeciwzapalnie na błony śluzowe żołądka i jelit, łagodzą podrażnienia wątroby. Pomagają przy kamicy nerkowej i żółciowej oraz w przewlekłych zaburzeniach trawiennych. Dzięki zawartości znacznych ilości witaminy C regulują niektóre procesy oksydoredukcyjne i uzupełniają braki tej witaminy w organizmie. Surowiec ten jest stosowany w osłabieniu czynności nerek, również w przewlekłych i mało nasilonych zaburzeniach trawiennych takich jak nieżyty i biegunki, zwłaszcza u osób starszych i dzieci. Ponadto owoce jarzębiny wykazują regeneracyjny wpływ na wątrobę. Surowe owoce są niejadalne, nie tylko z powodu gorzkiego smaku, ale również zawartości trującego składnika (kwas parasorbinowy). Natomiast po przemrożeniu lub po zanurzeniu na chwilę we wrzątku (tzw. blanszowanie) tracą trujące własności i gorzki smak. Owoce są używane w postaci przetworów, cenione są w kuchni i przetwórstwie. Zawierają dwukrotnie więcej karotenu

niż marchew. Dla celów przetwórstwa uprawiane są odmiany o dużych i jadalnych owocach (np. var. *edulis* Dieck). Owoce jarzębiny, początkowo żółte, po dojrzeniu stają się czerwone. Należy je zrywać tylko dojrzałe i po oberwaniu z szypułek suszyć rozkładając cienką warstwę w pomieszczeniach ocienionych, przewiewnych lub w suszarniach w temperaturze do 60°C. Kwiaty zbiera się zrywając całe kwiatostany w początkowym okresie kwitnienia. Suszyć należy w miejscach ocienionych, przewiewnych i dopiero po wysuszeniu odrywać szypułki [19].

Jak wynika z praktyki i piśmiennictwa [1, 3] owoce jarzębiny pospolitej stanowią od dawna cenny surowiec dla przemysłu spożywczego i farmaceutycznego, a także są stosowane z powodzeniem w leczeniu. Jakkolwiek sposoby suszenia owoców jarzębiny stosowane głównie przez przemysł zielarski są znane i stosowane od szeregu lat, to istnieje niedobór informacji odnośnie kinetyki ich suszenia w zależności od stosowanych parametrów suszenia oraz wstępnego przygotowania surowca przed suszeniem.

W wyniku uszkodzeń struktury tkanki surowca w trakcie suszenia oraz zmniejszenia zdolności wiązania wody, uwadniany produkt traci część suchej substancji i nie jest w stanie powrócić do objętości początkowej [20]. Z praktyki wiadomo, że w przypadku suszenia niektórych owoców możemy stosować ich wstępne nakłuwanie. Zabieg nakłuwania bywa stosowany, jeśli chcemy ułatwić proces dyfuzji wody z wnętrza surowca ku jego powierzchni. W przemyśle stosuje się od dawna maszyny do nakłuwania śliwek, wiśni itp. wyposażone w walce nabijane igłami [15].

Zdolność suszu do pochłaniania wody to główny wskaźnik prawidłowości przeprowadzenia procesu suszenia [20]. Podczas rehydracji materiału występuje chłonięcie wody przez wysuszony materiał (następuje zwiększenie masy i objętości) oraz wypłukiwanie substancji rozpuszczalnych w wodzie (np. cukry, witaminy). Przebieg procesu rehydracji zależy od warunków w jakich przeprowadza się proces, cech surowca oraz poprzedzających zabiegów wstępnych [8, 11, 13]. Opracowanie i poznanie przebiegu procesu wstępnego przygotowania, suszenia i rehydracji pozwoli otrzymać produkt o wysokiej jakości – najbardziej zbliżony do świeżego surowca [7, 9]. Większość suszonych produktów jest przeznaczona do dalszego przetwarzania lub do spożycia, ale po wcześniejszym uwodnieniu. Dlatego tak istotne są badania obejmujące poznanie charakterystyki produktu w trakcie: procesu suszenia, rehydracji i wpływu wstępnego przygotowania na te procesy.

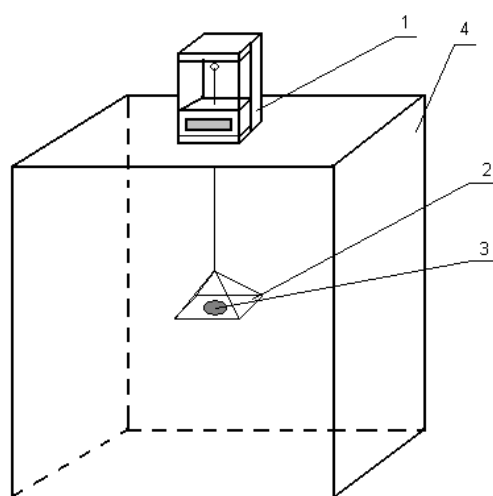
Celem pracy było: porównanie kinetyki suszenia owoców jarzębiny poddanych wstępnie (przed suszeniem) zabiegowi nakłuwania, gniecenia oraz nie poddanych żadnemu zabiegowi, a także ocena zdolności suszu jarzębiny do rehydracji w zależności od rodzaju wstępnego zabiegu.

## **2. Materiał i metodyka**

Materiał do badań stanowiły owoce jarzębiny w fazie dojrzałości zbiorczej i wilgotności ok 74%. Owoce zaraz po zerwaniu zostały oddzielone od baldachów i poddane zamrożeniu. Materiał został przygotowany przed suszeniem na 3 sposoby: gniecione, nakłuwane (każdy z owoców miał 6 nakłuć szpilką) oraz bez żadnych zabiegów. Suszenie prowadzono w temperaturze 60°C w suszarce laboratoryjnej w warunkach konwekcji naturalnej. Masa suszonych próbek wynosiła ok. 80 g, przy wysokości warstwy ok. 0,03 m. Schemat i zasadę działania stanowiska pomiarowego przedstawia rysunek 1. Ubytki masy surowca mierzono na wadze WPE 600 ( $\pm 0,01$  g) z odczytem cyfrowym co 20 minut. Do pomiaru temperatury wnętrza suszonych owoców użyto jednej termopary CuKo ( $\pm 0,5^\circ\text{C}$ )

wprowadzonych do środka wybranych owoców (temperatura otoczenia wynosiła ok. 60°C). Warunki otoczenia (temperaturę i wilgotność) mierzono za pomocą termometru rtęciowego oraz psychometru Assmanna.

Próbki suszono do zawartości wody ok.  $0,2 \text{ kg H}_2\text{O}(\text{kg s.m.})^{-1}$ . Szybkość suszenia obliczano na podstawie krzywych suszenia. Rehydracja suszu prowadzona była zgodnie z normą PN-90/A-75101/19 w wodzie destylowanej w temperaturze 20°C. Kinetykę wchłaniania wody określano mierząc początkowo w odstępach 0,5 godziny a potem 1 i 2 godziny masę uwadnianych próbek z dokładnością  $\pm 0,01 \text{ g}$  – uprzednio osączając na bibule powierzchniowo związaną wodę. Całkowity ciągły czas rehydracji wynosił 1560 minut. Wyznaczano względny przyrost masy rehydrowanego suszu (tzn. stosunek aktualnej masy próbki  $m_r$  do masy początkowej użytego do rehydracji suszu  $m_o$ ) [5, 6].



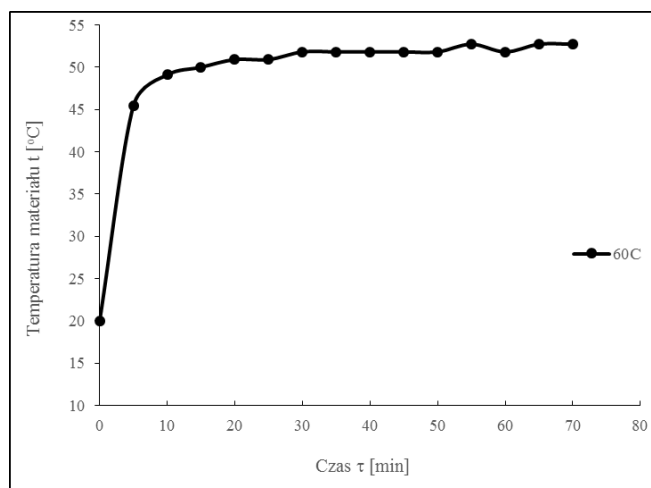
Rys. 1. Schemat stanowiska pomiarowego: 1 - waga, 2 - szalka, 3 - pojemnik z materiałem, 4 - suszarka  
Źródło: opracowanie własne

Początkową i końcową zawartość wody w materiale określano metodą suszarkową wg PN 90/A-75 101.03. Każdy cykl pomiarów powtarzano trzykrotnie. Do wyznaczenia modeli empirycznych i wyznaczenia punktu krytycznego „k” dzielącego proces suszenia na pierwszy (charakteryzujący się stałą szybkością ubytku wody) i drugi okres suszenia (charakteryzujący się malejącą szybkością ubytku wody) wykorzystano algorytm optymalizacji nieliniowej Levenberga-Marquarda. Do oszacowania dopasowania wybranych modeli opisującego kinetykę suszenia zastosowano średni błąd kwadratowy RMSE [17].

### 3. Wyniki i dyskusja

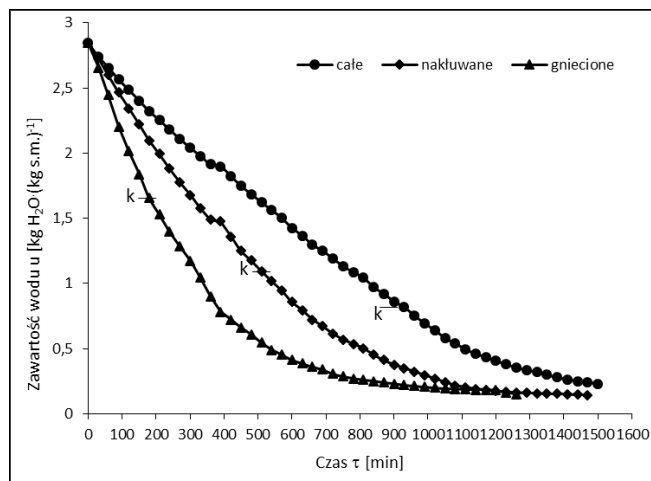
Na podstawie znajomości zmian zawartości wody i towarzyszących im pomiarów zmian temperatury wewnątrz owocu możliwe jest przeprowadzenie pełnej kinetyki suszenia owoców jarzębiny. Poniższy wykres przedstawia w jakim czasie temperatura wewnątrz owocu wzrasta i zrównuje się z temperaturą panującą wewnątrz komory suszarniczej.

Na rysunku 2 przedstawiono wyniki pomiarów temperatury wnętrza owocu przy temperaturze suszącego powietrza 60°C. Jak wynika z wykresu temperatura wewnątrz owocu już po 10 minutach obecności w komorze suszenia wzrosła od 20 do 55°C w przypadku temperatury w komorze 60°C.



Rys. 2. Zmiana temperatury  $t$  wewnątrz owoców jarzębiny w czasie  $\tau$  w zależności od temperatury powietrza w suszarce

Wykres (rys. 3) przedstawia spadki zawartości wody  $u$  w czasie  $\tau$  przy temperaturze powietrza 60°C podczas suszenia owoców jarzębiny przygotowanej wstępnie na wspomniane wyżej sposoby. Jak wynika z wykresu – zgodnie z oczekiwaniem najszybciej ulegały suszeniu owoce gniecione a najwolniej owoce nie poddane żadnym zabiegom.



Rys. 3. Spadek zawartości wody  $u$  w czasie  $\tau$  dla różnych typów owoców jarzębiny w temperaturze 60°C

Należy zauważyć, że zabieg na owocach jarzębiny ma ogromny wpływ na czas w jakim następuje przejście z pierwszego okresu do drugiego w temperaturze 60°C. Z wykresów jasno wynika, że w przypadku owoców całych, czyli nie poddanych wcześniej żadnemu zabiegowi czas, w którym znajduje się punkt krytyczny k jest około dwa razy dłuższy niż w przypadku owoców nakłuwanych lub gniecionych.

Z rozkładu punktów na wykresie wynika, że suszenie owoców jarzębiny odbywa się według dwóch okresów, których czas trwania zależał od wstępnego przygotowania surowca. Granice między okresami pierwszym (o w przybliżeniu stałej szybkości suszenia) a drugim (o zmiennej szybkości suszenia) na rysunku 3 zaznaczono na poszczególnych krzywych suszenia literą k. Dla owoców gniecionych I okres suszenia kończył się przy krytycznej zawartości wody ok. 1,68 kg H<sub>2</sub>O/(kg s.m.)<sup>-1</sup> dla nakłuwanych przy u = 1,08 kg H<sub>2</sub>O/(kg s.m.)<sup>-1</sup>, a dla nie poddanych żadnemu zabiegowi przy u wynoszącym ok. 0,81 kg H<sub>2</sub>O/(kg s.m.)<sup>-1</sup>. Końcową zawartość wody w materiale – ok. 0,2 kg H<sub>2</sub>O/(kg s.m.)<sup>-1</sup> uzyskano w przypadku owoców nie poddanych żadnemu zabiegowi po ok. 1500 minutach suszenia, gniecionych ok. 1000 minutach. Owoce nakłuwane wymagały do osiągnięcia podobnej zawartości wody ok 1300 minut suszenia. Ze względu na odstępy próbkowania wynoszące 30 min. czas trwania pierwszego okresu oraz graniczne zawartości wody należy traktować jako przybliżone.

Spadek zawartości wody u w czasie τ dla temperatury suszenia 60°C przy różnych zabiegach przygotowawczych owoców dla I okresu suszenia można przybliżyć zadawalająco równaniem liniowym postaci:

$$u = A_1 + B_1 \tau \quad (1)$$

gdzie: A<sub>1</sub> i B<sub>1</sub> – stałe równania.

Drugi okres suszenia opisano wykorzystując model Hendersona i Pabisa [4, 16, 17]:

$$u = A_2 e^{-B_2 \tau} \quad (2)$$

Zamieszczone poniżej tabele 1 i 2 zawierają stałe równań, współczynniki determinacji oraz pierwiastek ze średniej kwadratu błędu RMSE.

Tab. 1. Współczynniki równań i determinacji dla I okresu suszenia w zależności od sposobu przygotowania surowca przy t= 60°C

Sposób przygotowania materiału	Współczynniki równań		Współczynnik determinacji R <sup>2</sup>	RMSE
	A <sub>1</sub>	B <sub>1</sub>		
owoce całe	2,724	-2,101·10 <sup>-3</sup>	0,99	0,03
owoce nakłuwane	2,743	-3,310·10 <sup>-3</sup>	0,99	0,04
owoce gniecione	2,847	-6,665·10 <sup>-3</sup>	0,99	0,02

Źródło: obliczenia własne

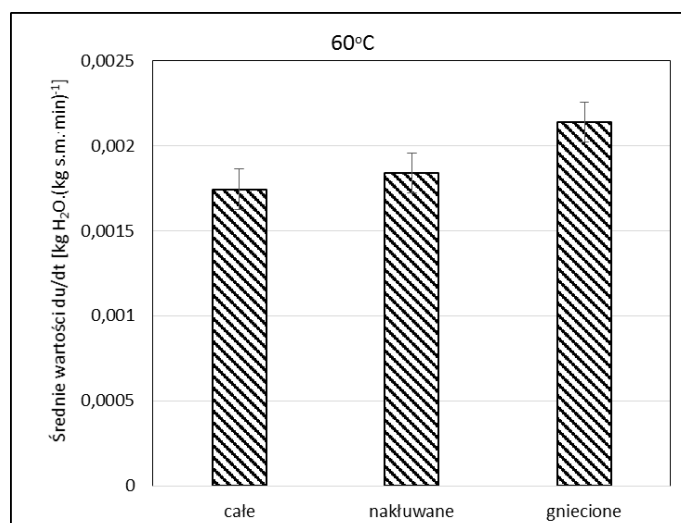
Wysokie wartości współczynnika determinacji R<sup>2</sup> i niskie wartości średniego błędu kwadratowego RMSE dla dwóch okresów suszenia i dla każdego z przypadków świadczą o dobrym dopasowaniu równań do krzywych suszenia.

Wpływ wstępnego sposobu przygotowania materiału na dynamikę ubytków wody potwierdza histogram przedstawiający średnią szybkość suszenia owoców jarzębiny dla całego procesu (rys. 4).

Tab. 2. Współczynniki równań i determinacji dla II okresu suszenia w zależności od sposobu przygotowania surowca przy  $t = 60^{\circ}\text{C}$

Sposób przygotowania materiału	Współczynniki równań		Współczynnik determinacji $R^2$	RMSE
	$A_2$	$B_2$		
owoce całe	6,345	$2,269 \cdot 10^{-3}$	0,99	0,01
owoce nakłuwane	3,909	$2,558 \cdot 10^{-3}$	0,99	0,02
owoce gniecione	2,873	$3,066 \cdot 10^{-3}$	0,98	0,04

Źródło: obliczenia własne



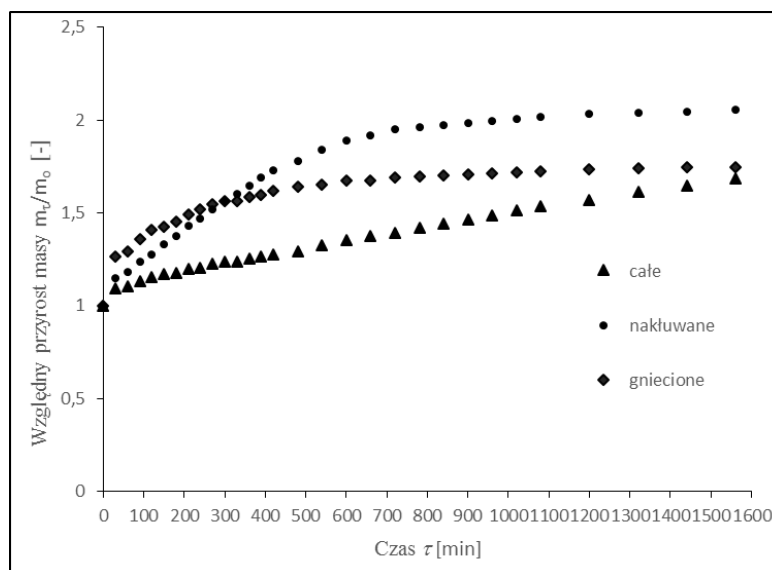
Rys. 4. Porównanie średnich szybkości suszenia  $du/dt$  owoców jarzębiny poddanych różnym zabiegom przygotowawczym ( $t=60^{\circ}\text{C}$ ) dla całego procesu wraz z odchyleniem standardowym

Jak wynika z histogramu zabieg gniecenia zwiększył średnią szybkość suszenia dla całego procesu (przy temperaturze czynnika  $60^{\circ}\text{C}$  o ok. 25% w stosunku do owoców nie poddanych żadnemu zabiegowi. Natomiast nakłucie owoców spowodowało wzrost średniej szybkości suszenia dla całego procesu o ok 13% w stosunku do całych owoców.

Zanurzenie wszystkich owoców jarzębiny w wodzie powoduje przyrost masy oraz zwiększenie ich objętości. Analiza procesu rehydracji może dostarczyć informacji pomocnych przy wyjaśnianiu wpływu procesu suszenia na cechy fizyczne i jakościowe wysuszonego materiału [21].

Względne przyrosty masy  $m/m_0$  wysuszonych owoców jarzębiny zwyczajnej (uprzednio nakłutych, gniecionych oraz bez żadnych zabiegów przygotowawczych) w czasie ich rehydracji w wodzie destylowanej o temperaturze  $23^{\circ}\text{C}$  przedstawia rysunek 5.

Analizując przebieg zmian względnego przyrostu zawartości wody w czasie 1560 minut procesu rehydracji dla jarzębiny nakłuwanej i gniecionej, można zauważyć, że początkowy okres procesu, trwający około 500 minut charakteryzuje się najszybszym przyrostem zawartości wody w rehydrowanej próbce. W dalszym etapie procesu absorpcja wody ulega stopniowemu spowolnieniu. W przypadku owoców jarzębiny nie poddanych żadnemu procesowi przyrost zawartości wody w rehydrowanej próbce przyjmuje stałą szybkość.



Rys. 5. Względny przyrost masy  $m_t/m_0$  suszu owoców jarzębiny od czasu rehydracji

Należało by przypuszczać, że najszybszy przyrost zawartości wody będzie w rehydrowanych owocach jarzębiny poddanych gneceniu, co widać w pierwszych 500 minutach procesu – spowodowane to jest rozerwaniem skórki owocu i zniszczeniem struktury wewnętrznej. W dalszym etapie procesu jednak przyrost masy jest niewielki i należało by tłumaczyć to tym, że zniszczenie struktury wewnętrznej nie pozwala wchłonąć większą ilość wody.

Jak wynika z badań zmiana  $m_t/m_0$  w funkcji czasu przebiegała dla suszonych owoców nie poddanych żadnemu zabiegowi w przybliżeniu liniowo (pomijając kilka pierwszych minut) i można ją opisać równaniem postaci:

$$m_t/m_0 = 1,0995 + 4 \cdot 10^{-4} \cdot \tau \quad (3)$$

przy współczynniku determinacji  $R^2=0,96$ , RMSE 0,04.

Dla owoców poddanych przed suszeniem zabiegowi nakluwania, bądź gnecenia intensywność procesu wchłaniania wody była większa i miała przebieg potęgowy. Największą zdolność do rehydracji wykazał materiał uprzednio nakluwany.

Względny przyrost masy dla owoców nakluwanych można opisać równaniem:

$$m_t/m_0 = 0,5546 \tau^{0,1846} \quad (4)$$

przy współczynniku determinacji  $R^2=0,96$ , RMSE 0,04.

Dla owoców gneczonych zależność  $m_t/m_0=f(\tau)$  ma postać:

$$m_t/m_0 = 0,9128 \tau^{0,092} \quad (5)$$

przy współczynniku determinacji  $R^2=0,98$ , RMSE 0,03.

Należy zauważyć, że w porównaniu z większością rehydrowanych wysuszonych materiałów roślinnych, przebieg uwadniania suszu z owoców jarzębiny nie poddanych przed suszeniem zabiegowi nakłuwania lub zgniatania jest odmienny, co do charakteru i dynamiki procesu (utrudnieniem jest skórka owocu, która w trakcie procesu suszenia nie ulega rozerwaniu). Przyjmuje się, że stopień ponownego uwodnienia zależy od stopnia zniszczenia struktury materiału [14], dzięki czemu parametr ten może stanowić podstawę do wnioskowania o wpływie suszenia na zmiany cech fizycznych i strukturalnych produktów spożywczych [21].

Na podstawie wykresu 5 można wnioskować, że formuły empiryczne 4 i 5, którymi aproksymowano wyniki trzech powtórzeń względnego przyrostu zawartości wody w suszu jarzębiny podczas rehydracji dały dobre wyniki przy współczynnikach determinacji 0,96.

W literaturze opisuje się proces rehydracji za pomocą innych Modeli np.: modelem Pelega, Weibulla – opisującego proces rehydracji jako ciąg prawdopodobnych zjawisk oraz bardzo rzadko w przypadku owoców i warzyw, drugim prawem Ficka [2, 13, 21].

### **Wnioski**

1. Stwierdzono wpływ zabiegu gniecenia i szpilkowania na szybkość suszenia owoców jarzębiny zwyczajnej, zgodnie z oczekiwaniem najszybciej ulegały suszeniu owoce gniecione a najwolniej owoce nie poddane żadnym zabiegom.
2. Przy temperaturze suszenia 60°C stwierdzono występowanie dwóch okresów suszenia, pierwszego o stałej oraz drugiego o malejącej szybkości suszenia.
3. Najkorzystniejszy wpływ na względny przyrost masy suszu z jarzębiny podczas rehydracji mają owoce jarzębiny poddane procesowi nakłuwania, a najmniej korzystny jarzębina nie poddana zabiegom wstępnym.
4. Uzyskane wyniki badań wykazały wpływ metody obróbki wstępnej surowca stosowanego w procesie suszenia na kinetykę rehydracji uzyskanego suszu jarzębiny.

### **Literatura**

1. Ciołkowska-Paluch G.: O właściwościach i zastosowaniu jarzębiny. Wiadomości zielarskie 1999 nr 10, 6
2. Garcia-Pascual P., Sanjuan N., Melis R., Mulet A.: Morchella esculenta (morel) rehydration proces modeling. Journal of Food Engineering. 72, 2006, 346-353
3. Głowacki S.: Jadalne owoce leśne – kolorowe, smaczne i zdrowe. Las Polski, nr 17, 1995, 11-12
4. Henderson S. M., Pabis S.: Grain drying theory. II. Temperature effects on drying coefficients. Journal of Agricultural Engineering Research, 6, 1961, 169-174
5. Kaleta A., Górnicki K., Siwińska U. (2005). Wpływ metod obróbki wstępnej stosowanych w procesie konwekcyjnego suszenia na kinetykę rehydratacji suszu z korzenia pietruszki. Acta Sci. Pol., Technica Agraria 4(1), 19-28
6. Kaleta A., Górnicki K., Kościkiewicz A. (2006). Wpływ parametrów suszenia pod obniżonym ciśnieniem na kinetykę rehydratacji suszu z korzenia pietruszki. Inżynieria Rolnicza 3, 69-77
7. Kaleta A., Górnicki K., Wierzbička A., Pacak-Żuk S. (2008). Badanie przebiegu procesu rehydratacji suszonych plasterków korzenia pietruszki. Acta Agrophysica. 12(3), 689-698
8. Lewicki P. P., 1998. Some remarks on rehydration of dried foods. Journal of Food



- Engineering, 36, 81-87
9. Marabi A., Livings S., Jacobson M., Saguy I. S. (2003). Normalized Weibull distribution for modeling rehydration of food particulates. *European Food Research and Technology.*, 217, 311-318
  10. Mazerant A.: *Mała księga ziół*. Warszawa: Inst. Wyd. Zw. Zawodowych, 1990. ISBN 83-202-0810-6
  11. Mc Minn W. A. M., Magee T. R. A.: Quality and pphysical structure of starch based system. *Drying Technology.* 7(3), 1997, 537-557
  12. Pabis J.: Energochłonność suszenia warzyw w przemysłowych suszarkach tunelowych i opracowanie wytycznych oszczędności energii. *Zeszyty Problemowe Postępów Nauk Rolniczych*, 1994, z. 417, s. 171-185.
  13. Peleg M.: An emperical model for thr description of moisture sorption curves. *Journal of Food Science.* 53(4), 1988, 1216-1219
  14. Prothon F., Ahrné L., Sjöholm, I.: Mechanisms and prevention of plant tissue collapse during dehydration: a critical review. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 43 (4), 2003, 447-479
  15. Pijanowski E.; Mrożewski S.; Horubała A.: *Technologia Produktów Owocowych i Warzywnych*. PWRiL. Warszawa 1973, tom 1, wydanie III, 323-324
  16. Rosa D. P., Cantu-Lozano D., Luna-Solano G., Polachini T. C., Telis-Romero J.: Mathematical modeling of oregano seed drying kinetics. *CIENC AGROTEC. Lavras* V39 Nr. 3, 2015, 291-300
  17. Skorupska E.: Badanie procesu suszenia konwekcyjnego pietruszki korzeniowej. *Inżynieria Rolnicza* Nr. 9 (69), 2005, 313-320.
  18. Sutar P.P., Prasad G.: *Drying Technology.* 25, Nr. 10. Modeling microwave vacuum drying kinetics and moisture diffusivity of carrot slices. 2007, 1695-1702.
  19. Szafer W., Kulczyński S.: *Rośliny polskie*. Warszawa: PWN, 1953
  20. Witrowa-Rajchert D.: Rehydracja jako wskaźnik zmian zachodzących w tkance roślinnej w czasie suszenia. Fundacja "Rozwój SGGW". Warszawa 1999. 1-71
  21. Witrowa-Rajchert D. Dworski T.: Modelowanie wnikania wody podczas rehydracji suszonego jabłka. *Podstawy Technologii Przetwórstwa Spożywczego.* 16/29(2), 2006, 20-23

Dr inż. Mariusz Surma  
Dr inż. Klaudiusz Jałoszyński  
mgr inż. Kamil Pałka  
Dr inż. Marta Paślawska  
Dr hab. inż. Bogdan Stępień, prof. UP  
Uniwersytet Przyrodniczy we Wrocławiu  
Instytut Inżynierii Rolniczej  
51-630 Wrocław, ul. Chełmińskiego 37/41  
tel/fax.:(0-71)3205700  
e-mail: mariusz.surma@up.wroc.pl  
kamil.palka@ue.wroc.pl  
klaudiusz.jaloszynski@up.wroc.pl  
marta.paslawska@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