

## METODA OKREŚLANIA CZASÓW OBRÓBKI CIEPLNEJ PRÓBEK ZIARNA NA PRZYKŁADZIE PROSA

*Zbigniew Oszczak, Marian Panasiewicz*

Katedra Maszynoznawstwa i Inżynierii Przemysłu Spożywczego, Akademia Rolnicza  
ul. Doświadczalna 44, 20-236 Lublin  
e-mail: zoszczak@faunus.ar.lublin.pl

**Streszczenie.** W pracy przedstawiono metodę przygotowania próbek ziarna lub nasion kierowanych do badań laboratoryjnych. Metoda została oparta na modelowaniu matematycznym procesu termicznego, umożliwiającą dobór obliczeniowy czasów obróbki cieplnej próbki badanego materiału w celu uzyskania wymaganych parametrów wilgotności oraz temperatur końcowych. Zasady metody i procedurę wykonawczą zilustrowano przykładem przygotowania próbki 50g ziarna prosa poddanej obróbce cieplnej w kuchence mikrofalowej o mocy 1000 W.

**Słowa kluczowe:** przygotowanie próbek nasion do badań, odwzorowanie matematyczne

### WYKAZ OZNACZEŃ

$t_1, t_2$  – zmierzony czas podgrzewania (min),

$t_{1o}$  – obliczeniowy czas podgrzewania dla funkcji  $t_{1o} = f(W_p, W_{kp})$  (min),

$Dt_1 = |t_1 - t_{1o}|$  – błąd bezwzględny pomiędzy czasem obliczeniowym i zmierzonym (min)

$W_p$  – wilgotność początkowa – pomiar metodą suszarkową (%), wg PN – 91/A -74010

$W_{ko}$  – wilgotność końcowa – wartość obliczeniowa (%),

$W_{kp}$  – wilgotność końcowa - pomiar metodą suszarkową (%), wg PN – 91/A -74010

$DW_k = |W_k - W_{kp}|$  – wartość błędu bezwzględnego wilgotności końcowej pomiędzy obliczeniową i pomiarową wartością (%),

$T_{ko}$  – temperatura końcowa – wartość obliczeniowa (°C),

$T_{kp}$  – temperatura końcowa – wartość pomiarowa (°C),

$DT_k = |T_{ko} - T_{kp}|$  – wartość błędu bezwzględnego temperatury końcowej pomiędzy obliczeniową i pomiarową wartością (°C).

## WSTĘP

Jedną z głównych cech fizycznych surowców ziarnistych pochodzenia biologicznego, która znacząco wpływa zarówno na przebieg procesów przetwórczych jak i ilość oraz jakość produkowanego z nich wyrobu finalnego jest ich wilgotność [2,4,5].

W badaniach laboratoryjnych tych surowców często zachodzi konieczność ciągłych zmian i modyfikacji zakresu poziomu wilgotności, sprowadzającego się głównie do zwiększania wilgotności (wymuszone nawilżanie) lub jej obniżania (suszenie, podsuszanie) [1,3,5]. O ile procedura i normy dotyczące dowilżania surowców ziarnistych pozwalają na precyzyjne wyliczenie określonej ilości wody, pozwalającej uzyskać wymagany poziom wilgotności, o tyle odwrotny proces tj. obniżenie wilgotności do założonego poziomu z uwzględnieniem optymalnego czasu oraz dopuszczalnych temperatur procesu termicznego nastęrcza pewne trudności (norma na podsuszanie). Konieczność precyzyjnego ustalania wymaganych poziomów wilgotności uzyskiwanych w zakresach stosowanych temperatur ma szczególne znaczenie w przerobie i preparowaniu surowców ziarnistych na tradycyjne i instandyzowane produkty i wyroby zbożowe [3]. Technologie produkcji tego typu wyrobów wymagają bowiem precyzyjnego, w ściśle ustalonym czasie oraz zakresie temperatur, obniżenia poziomów wilgotności, podyktowanych często wymogami następujących po sobie jednostkowych operacji technologicznych jak również warunkami ich przechowywania. Należy dodać, iż prowadzenie procesów termicznych (ogrzewanie, podsuszanie, suszenie, prażenie itp.) w warunkach laboratoryjnych realizowane jest często w urządzeniach o różnej budowie i zasadzie oddziaływania czynnika termicznego (suszarki laboratoryjne, piece konwekcyjno-parowe, piece piekarnicze – w tym do wypieku próbnego, suszarki fluidyzacyjne itp.). Umieszczenie badanego surowca w dowolnym wymienionym wyżej urządzeniu, wymaga z jednej strony pełnej informacji dotyczącej parametrów konstrukcyjno-eksploatacyjnych urządzenia, z drugiej zaś możliwie pełnej wiedzy o podstawowych właściwościach fizycznych i technologicznych badanego surowca ziarnistego. Zasygnalizowane problemy metodyczne w prowadzeniu tego typu doświadczeń laboratoryjnych były przesłanką do podjęcia próby ich rozwiązania.

Celem pracy było opracowanie metody obliczania czasów obróbki cieplnej próbek ziarna w funkcji wymaganych wartości wilgotności i temperatury końcowej oraz wilgotności i temperatury początkowej badanego surowca.

Szczegółowy zakres badań obejmował opis i założenia dotyczące przygotowania próbek do badań z zachowaniem dokładności i powtarzalności tych czynności oraz dobór i weryfikację równań odwzorowania matematycznego przebiegu procesu termicznego.

## MATERIAŁ I METODY

Metoda przygotowania próbek ziarna lub nasion w funkcji wymaganych wartości wilgotności i temperatur końcowych została podzielona na dwa etapy;

- etap I – obejmował wzorcowanie przebiegu zjawiska w zakresie wybranych wartości wilgotności i temperatur oraz na ich podstawie opracowanie odwzorowania matematycznego przebiegu procesu termicznego.
- etap II – dotyczył weryfikacji równań odwzorowania matematycznego przebiegu procesu termicznego.

### WZORCOWANIE PRZEBIEGU PROCESU OBRÓBKII CIEPLNEJ

Dla celu wzorcowania przebiegu procesu obróbki termicznej wybrane próbki ziarna prosa zostały nawilżane do określonych poziomów wilgotności początkowej. Wilgotności początkowe zostały zmierzone metodą suszarkową. Poziomy wilgotności początkowych ziarna oraz czasy obróbki termicznej zostały wybrane jako reprezentatywne dla potrzeb wzorcowania i testowania. Powinny one być równe lub większe od odpowiednich zakresów wymaganych dla przygotowania próbek. Następnie przygotowane próbki zostały poddane obróbce termicznej. Po zakończeniu procesu obróbki termicznej zostały zmierzone wartości wilgotności i wartości temperatur końcowych.

### OPRACOWANIE ODWZOROWANIA MATEMATYCZNEGO

Na podstawie analiz wykresów korelacyjnych pomiędzy zmiennymi (rys. 2) dla odwzorowania matematycznego przebiegu procesu obróbki cieplnej został zastosowany następujący wielomian drugiego stopnia z dwoma zmiennymi niezależnymi;

$$Z = c + b_1 \cdot x + b_2 \cdot y + a_1 \cdot x^2 + d \cdot x \cdot y + a_2 \cdot y^2 \quad (1)$$

gdzie:  $Z$  – funkcja szukana,  $x$ ,  $y$  – zmienne niezależne,  $c$ ,  $b_1$ ,  $b_2$ ,  $a_1$ ,  $a_2$ ,  $d$  – współczynniki stałe równań odwzorowania matematycznego przebiegu procesu obróbki cieplnej zależne od rodzaju i masy próbki ziarna oraz od rodzaju i parametrów pracy urządzenia do obróbki cieplnej

W celu uzyskania odwzorowania matematycznego przebiegu procesu zostały opracowane następujące zależności funkcyjne:

- czas obróbki cieplnej w funkcji wilgotności początkowej i wilgotności końcowej,

$$t_{1o} = f(w_p, w_{kp}) \quad (2)$$

- czas obróbki cieplnej w funkcji wilgotności początkowej i temperatury końcowej,

$$t_{20} = f(w_p, T_{kp}) \quad (3)$$

- temperatura końcowa ziarna w funkcji czasu obróbki cieplnej i wilgotności początkowej,

$$T_{ko} = f(t_I, w_p) \quad (4)$$

- wilgotność końcowa w funkcji czasu obróbki i wilgotności początkowej,

$$w_{ko} = f(t_I, w_p) \quad (5)$$

#### PRZYKŁAD ZASTOSOWANIA METODY

Zgodnie z założonym celem i zakresem pracy dla określania czasów obróbki cieplnej próbek ziarna i nasion w zastosowaniu do badań laboratoryjnych zastało wykonane wzorcowanie procesu, opracowanie oraz weryfikacja równań odwzorowania matematycznego oraz procedury i metody ustalania zakładanych i żądanych parametrów.

#### Wzorcowanie przebiegu procesu

Metoda wzorcowania procesu obróbki termicznej została przedstawiona na przykładzie próbek ziarna prosa frakcji średniej (udział masowy 50% w badanej zbiorowości) o masie 50g i wilgotności wyjściowej 12,1%. Wzorcowanie procesu zastało przeprowadzone dla trzech wartości wilgotności początkowych (14,58%, 18,07%, 22,30%) zmierzonych metodą suszarkową wg PN-91/A-74010 oraz trzech wartości czasów obróbki ( $t = 1, 3, 4$  min).

Mając na uwadze skrócenie czasu przygotowania próbek, do procesu obróbki cieplnej zastała wykorzystana kuchenka mikrofalowa o mocy 1000 W. Próbki ziarna do badań umieszczono w szklanych, walcowych pojemnikach o średnicy dna 120 mm i wysokości 12 mm. Ziarna zostały równomiernie rozmieszczone na całej powierzchni dna naczynia, a grubość warstwy wynosiła około 10 mm.

Uzyskane wyniki zostały zamieszczone w tabelach 1 i 2.

Pomiar temperatury końcowej badanego surowca był wykonany bezpośrednio po zakończeniu podgrzewania próbki ziaren przy zastosowaniu termometru rtęciowego z dokładnością odczytu wynoszącą  $0,5^{\circ}\text{C}$ .

METODA OKREŚLANIA CZASÓW OBRÓBKII CIEPLNEJ PRÓBEK ZIARNA

**Tabela 1.** Wilgotność końcowa prosa w zależności od czasu podgrzewania oraz wilgotności początkowej  
**Table 1.** The millet grain final moisture versus heating time and initial moisture content

Czas podgrzewania Time of heating $t_l$ (min)	Wilgotność początkowa – Initial moisture content $w_p$ (%)		
	14,58	18,07	22,30
	Wilgotność końcowa – Final moisture content $w_{kp}$ (%)		
1	11,30	13,52	16,32
3	4,65	4,63	6,60
4	2,21	2,03	4,15

**Tabela 2.** Temperatura końcowa próbek  $T_{kp}$  w funkcji czasu podgrzewania i wilgotności początkowej  
**Table 2.** The millet grain final temperature versus heating time and initial moisture content

Czas podgrzewania Time of heating $t_l$ (min)	Wilgotność początkowa – Initial moisture content $w_p$ (%)		
	14,58	18,07	22,30
	Temperatura końcowa – Final temperature $T_{kp}$ (°C)		
1	84,0	88,5	92,5
3	109,5	126,5	122,5
4	164,5	130,0	137,0

WYNIKI I DYSKUSJA

**Odwzorowania matematyczne procesu**

Odwzorowania matematyczne przebiegu procesu zostały zapisane przy zastosowaniu wielomianów drugiego stopnia z dwoma zmiennymi zależnymi. Dobór obliczeniowy współczynników stałych uzyskano przy zastosowaniu programu komputerowego STATISTICA. Dla rozpatrywanego procesu otrzymano następujące równania:

- dla wartości obliczeniowej czasu obróbki cieplnej ( $t_{1o}$ ) w funkcji wartości pomiarowych wilgotności końcowej ( $w_{kp}$ ) i wilgotności początkowej ( $w_p$ ), (rys. 1)

$$t_{1o} = 6,248 - 0,322 \cdot w_{kp} - 0,315 \cdot w_p + 0,003 \cdot w_{kp}^2 + 0,003 \cdot w_{kp} \cdot w_p + 0,011 \cdot w_p^2 \quad (6)$$

W podobny sposób uzyskano zależności dla pozostałych funkcji:

- dla wartości obliczeniowej czasu obróbki cieplnej ( $t_{2o}$ ) w funkcji wartości pomiarowych wilgotności początkowej ( $w_p$ ) i temperatury końcowej ( $T_{kp}$ )

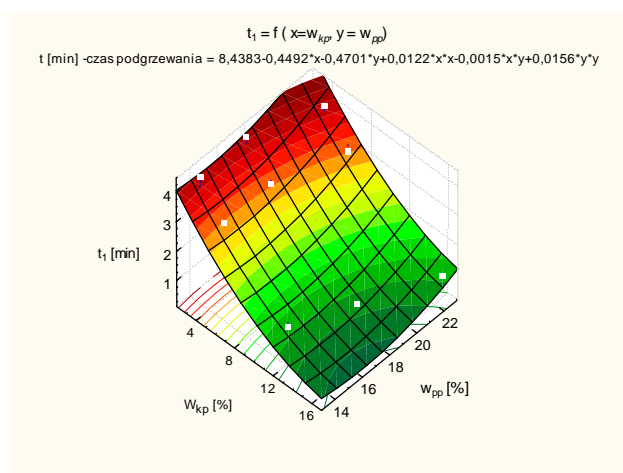
$$t_{2o} = -4,217 + 0,161 \cdot T_k - 0,546 \cdot w_p - 0,001 \cdot T_k^2 + 0,002 \cdot w_p \cdot T_k + 0,006 \cdot w_p^2 \quad (7)$$

- dla wartości obliczeniowej temperatury końcowej ( $T_{ko}$ ) w funkcji wartości pomiarowych czasu obróbki cieplnej ( $t$ ) i wilgotności początkowej ( $w_p$ )

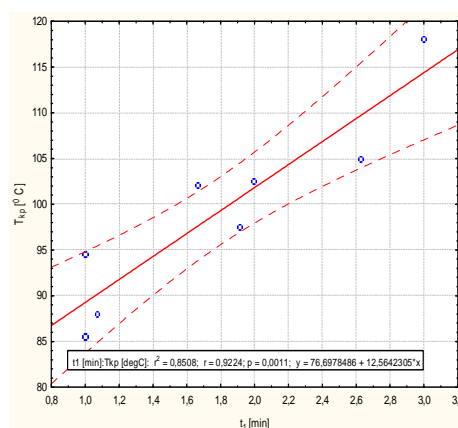
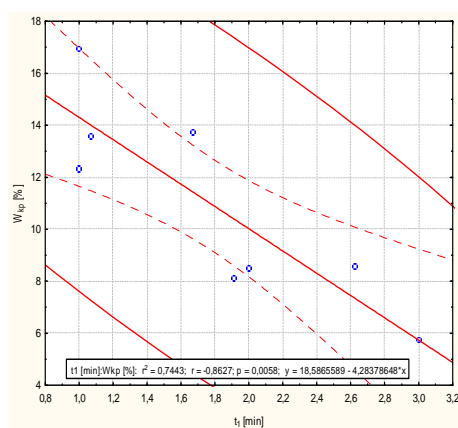
$$T_{ko} = 30,983 + 27,612 \cdot t + 2,880 \cdot w_p + 4,033 \cdot t^2 - 1,568 \cdot t_1 \cdot w_p + 0,01 \cdot w_p^2 \quad (8)$$

- dla wartości obliczeniowej wilgotności końcowej ( $w_{ko}$ ) w funkcji wartości pomiarowych czasu obróbki cieplnej ( $t$ ) i wilgotności początkowej ( $w_p$ )

$$w_{ko} = 27,4582 - 3,1354 \cdot t - 1,6925 \cdot w_p + 0,5296 \cdot t^2 - 0,2126 \cdot t \cdot w_p + 0,072 \cdot w_p^2 \quad (9)$$



**Rys. 1.** Czas obróbki cieplnej w funkcji wilgotność końcowej oraz wilgotności początkowej  
**Fig. 1.** Time of heating process versus initial and final moisture content



**Rys. 2.** Korelacja pomiędzy zmiennymi:  $t_1$  i  $W_{kp}$  oraz  $t_1$  i  $T_{kp}$   
**Fig. 2.** Diagram of correlation between variables:  $t_1$ ,  $W_{kp}$  and  $t_1$ ,  $T_{kp}$

WERYFIKACJA ODWZOROWANIA MATEMATYCZNEGO PRZEBIEGU PROCESU

Wilgotności końcowe  $w_{ko}$  i temperatury końcowe  $T_{ko}$  w funkcji czasu podgrzewania  $t_l$  oraz wilgotności początkowej  $w_p$  zostały otrzymane na podstawie obliczeń (równania 6, 7, 8, 9) oraz odpowiednio wilgotności końcowe  $w_{kp}$  oraz temperatury końcowe  $T_{kp}$  na drodze pomiaru, zostały zamieszczone w tabeli 3.

**Tabela 3.** Weryfikacja równań odwzorowania matematycznego przebiegu procesu  
**Table 3.** Verification of the mathematical representation process proceed

Lp	$t$ (min)	$t_{lo}$ (min)	$Dt_l$ (min)	$w_p$ (%)	$w_{ko}$ (%)	$w_{kp}$ (%)	$Dw_k$ (%)	$T_{ko}$ (°C)	$T_{kp}$ (°C)	$DT_k$ (°C)
1	1,91	1,89	0,02	14,58	8,11	8,13	0,02	98,92	97,5	1,42
2	1,00	1,02	0,02	14,58	12,38	12,34	0,04	83,91	85,5	1,59
3	2,00	2,02	0,02	18,07	8,55	8,51	0,04	101,03	102,5	1,47
4	1,07	1,05	0,02	18,07	13,52	13,55	0,03	90,18	88,0	2,18
5	2,63	2,61	0,02	22,30	8,46	8,54	0,08	108,8	105,0	3,80
6	1,67	1,69	0,02	22,30	13,84	13,75	0,09	99,21	102,0	2,79
7	3,00	3,00	0,00	21,29	5,84	5,77	0,07	115,89	118,0	3,11
8	1,00	1,00	0,00	21,29	16,93	16,93	0,00	95,15	94,5	0,65

WNIOSKI

1. Dla opracowanego odwzorowania, błędy bezwzględne pomiędzy obliczeniowymi i pomiarowymi wartościami nie przekraczają następujących wartości:

- dla temperatur końcowych 3,8°C ( $DT_k$ ),
- dla wilgotności końcowych 0,08% ( $Dw_k$ ),
- dla czasów podgrzewania 1,2 s ( $Dt_l$ ).

2. Zastosowana metoda umożliwia projektowanie procesów obróbki termicznej w celu uzyskania wymaganych wilgotności końcowych oraz temperatur końcowych próbek.

3. Zakresy wybranych wartości zmiennych dla procesów wzorcowania i weryfikacji powinny być równe lub większe od zakresów wymaganych dla przygotowania próbek do dalszych badań.

PIŚMIENNICTWO

1. Gąsiorowska T., Kowalewski W.: Opracowanie metody oceny skuteczności obróbki hydrotermicznej płatków owsianych. Poznań, Centralne Laboratorium Technologii Przetwórstwa i Przechowywania Zbóż, 1993.

2. **Jurga R.:** Przetwórstwo zbóż. Cz. 1 i 2. Warszawa, Wydawnictwo Szkolne i Pedagogiczne, 1997.
3. **Obuchowski W.:** Preparowane produkty zbożowe. Przegląd Zbożowo-Młynarski 4, 13, 1998.
4. **Panasiewicz M.:** Właściwości fizyczne prosa w odniesieniu do jego wartości przetwórczej. Acta Agrophysica, 58, 137-143, 2001.
5. **Peleg M., Mannheim C.H.:** Effects of conditioners on the flow properties of powdered sucrose. Powder Technol., 7, 45-50, 1973.

## METHOD OF GRAIN AND SEEDS TIME HEATING PROCESSES DESIGN FOR LABORATORY TESTS PURPOSES

*Zbigniew Oszczak, Marian Panasiewicz*

Department of Food Engineering and Machinery, University of Agricultural  
ul. Doświadczalna 44, 20-236 Lublin  
e-mail: zoszczak@faunus.ar.lublin.pl

**Abstract.** Paper presented the method of grain specimen preparing for laboratory testing purpose. The method was based on mathematical representation for heating process proceeds. The obtained equations are used to calculate required final grain moisture content and temperature versus time of heating and initial moisture. The results are illustrated for specimen of 50 g milled grain heated by 1000 W microwave oven.

**Keywords:** specimen preparing, mathematical representation