

Agnieszka Wierzbicka, Jerzy Gębski*

ENERGOCHŁONNOŚĆ PROCESU WYTWARZANIA STRUKTURY CIAST ŻYTNIO-PSZENNYCH NA PRZYKŁADZIE MIESIAREK SPIRALNYCH

Streszczenie. W pracy przeprowadzono analizę energochłonności procesu wytwarzania struktury ciasta żytnio-pszennego. Przedstawiono również możliwości optymalizacji procesu miesienia ciasta żytnio-pszennego poprzez ocenę parametrów fizycznych wyrobionej masy, jak również ocenę cech fizycznych i ocenę parametrów jakościowych gotowego wyrobu. Rejestrowane komputerowo parametry procesu miesienia, takie jak temperatura czy moment obciążający wał miesidła posłużyły do przygotowania modeli ilościowych tych parametrów procesu w czasie. Na podstawie zarejestrowanych wielkości momentu obrotowego obciążającego wał miesidła przeprowadzono analizę wielkości energii dostarczonej procesowi miesienia. Ocena reologiczna, której kryterium stanowił pomiar modułu zespolonego G^* była podstawą utworzenia modelu zmian właściwości reologicznych w czasie trwania procesu miesienia. Podobne modele utworzono dla oceny instrumentalnej i sensorycznej gotowego wyrobu. Uzyskane modele ilościowe posłużyły do oceny energochłonności procesu wytwarzania struktury ciast żytnio-pszennych oraz optymalizacji czasu trwania tego procesu.

Słowa kluczowe: energochłonność, ciasto żyto-pszenne, miesienie, optymalizacja

WSTĘP

Ze względu na duże wymagania rynkowe wobec do produktów piekarskich ich producenci oczekują na nowe rozwiązania konstrukcyjne maszyn mieszalniczych, które dzięki nim będą bardziej funkcjonalne, z szerszą gamą możliwości produkcyjnych, umożliwiających zachowanie reżimu techniczno-technologicznego procesu, a ponadto będzie je cechowała wyższa sprawność. Sprawność jest tu bardzo istotna ze względu na zużycie energii.

Wiążą się z tym również coraz wyższe wymagania co do jakości półproduktów piekarskich, co wymusza stosowanie przyjaznych technologii dla obrabianego materiału. Za

* Dr inż. Agnieszka Wierzbicka, dr inż. Jerzy Gębski, Katedra Techniki i Technologii Gastronomicznej, Szkoły Głównej Gospodarstwa Wiejskiego w Warszawie

przyjazną technologię uważa się taką, która nie powoduje negatywnych zmian w strukturze obrabianej masy. Zmiany te mogą być powodowane przez zbyt duże naprężenie w materiale, do którego użyto zbyt dużej siły, jak również przez zbyt długi czas obróbki. Wskutek tego dochodzi do zniszczenia prawidłowej struktury obrabianego materiału oraz niemożności utrzymania reżimu temperaturowego. Czas miesienia jest istotny nie tylko ze względu na właściwości wyrabianej masy, ale również ze względu na energochłonność procesu, co przyczynia się do ograniczenia kosztu jednostkowego produkcji. Jedną z bardziej energochłonnych operacji w procesie technologicznym produkcji pieczywa jest wspomniane już miesienie [2].

CEL PRACY

Celem pracy było określenie energochłonności procesu wytwarzania struktury wybranych prób ciasta mieszanego (żytnio-pszennego) oraz określenie optymalnego czasu miesienia poprzez ocenę właściwości reologicznych wyrobionej masy, analizę oceny instrumentalnej gotowego wyrobu oraz jego ocenę sensoryczną.

MATERIAŁ I METODYKA

Materiałem badawczym były wyrobione masy ciasta żytnio-pszennego. Do procesu miesienia użyto miesiarki spiralnej Sigma MG 12. Analizą objęto trzy składniki surowcowe ze zmiennym udziałem maki żytniej oraz pszennej. Oceniane próby miały zawartość maki żytniej 70, 60 i 50% oraz maki pszennej odpowiednio: 30, 40 i 50% [1]. Dodatek wody utrzymywano na trzech poziomach: 65, 70 oraz 75%. Pozostałe składniki surowcowe takie jak: drożdże, sól, suchy zakwas, dodawano w stałej ilości określonej recepturą.

W badaniach użyto miesiarki Sigma MG 12 z wbudowanym modułem do pomiaru momentu na wale miesidła oraz temperatury wyrabianej masy. Parametry procesu rejestrował komputer przy pomocy karty przetwornika analogowo-cyfrowego firmy ADVANTECH PCL 818L [3]. Dzięki pomiarowi wielkości momentu obrotowego na wale miesidła można było obliczyć energię netto włożoną w proces wytwarzania struktury:

$$E = M \cdot \omega t_m \quad (1)$$

gdzie:

E - energia, J,

M - moment na wale miesidła, Nm,

ω - prędkość kątowna, 1/s,

t_m - czas wyrabiania, s.

Badane próby poddano procesowi miesienia w zróżnicowanym czasie: od 240 s (4 min) do 840 s (14 min) i zmieniano go co 120 s.

Wyrobioną masę poddano ocenie reologicznej w reoteście RT 20 firmy HAAKE. Dokonano pomiaru wielkości modułu zespolonego G^* . Utworzono modele ilościowe uzyskanych wartości, stosując różne techniki analizy danych.

Przygotowaną masę poddano dalszej obróbce technologicznej: tj. podziałowi na kęsy, procesowi fermentacji i obróbce termicznej.

Gotowe wyroby oceniano instrumentalnie, stosując test cięcia w maszynie wytrzymałościowej Instron 4301. Uzyskane wyniki posłużyły do utworzenia modelu właściwości fizycznych gotowego wyrobu. Innym sposobem oceny wypieczonego chleba była ocena sensoryczna. Na podstawie wyników tej oceny utworzono model obrazujący zmianę jakości chleba w zależności od czasu miesienia.

WYNIKI BADAŃ

Do oceny uzyskanych wyników badań zastosowano różne techniki ich analizy. Podstawowym sposobem tworzenia modeli była metoda aproksymacja. Była ona wystarczająca do oceny procesu miesienia (moment na wale miesidła, temperatura wyrabianej masy oraz energia włożona w proces miesienia). Uzyskano współczynniki dopasowania modelu do danych pomiarowych R^2 od 0,94 dla pomiarów momentu do 0,99 dla energii dostarczonej wyrabianej masie.

Na podstawie uzyskanych wartości momentu na wale miesidła w czasie dokonano oceny statystycznej uzyskanych wyników zużycia energii i obliczono współczynnik korelacji pomiędzy zmiennymi zależnymi. Macierz korelacji zużycia energii przedstawia tabela 1.

Tabela 1. Współczynniki korelacji pomiędzy zużyciem energii a zawartością mąki żytniej, zawartością wody i czasem miesienia

Table 1. Correlation coefficient between energy consumption, rye flour content, water content and mixing time.

	Zawartość mąki żytniej	Zawartość wody	Czas miesienia	Zużycie energii E_m
Zawartość mąki żytniej	1	0	0	-0,469
Zawartość wody	0	1	0	-0,224
Czas miesienia	0	0	1	0,812
Zużycie energii E_m	-0,469	-0,224	0,812	1

Wielomianowy model matematyczny zużycia energii w trakcie procesu miesienia przedstawia tabela 2.

Celem opracowania modelu obrazującego zużycie energii było uzyskanie informacji o parametrach procesu na podstawie danych pomiarowych traktowanych jako sygnały obrazujące stan procesu zgodnie z funkcją:

$$E_m = f(M_z, W, t_m) \quad (2)$$

gdzie:

E_m – moment na wale miesidła,
 M_z – udział mąki żytniej %,
 W – zawartość wody %,
 t_m – czas miesienia s.

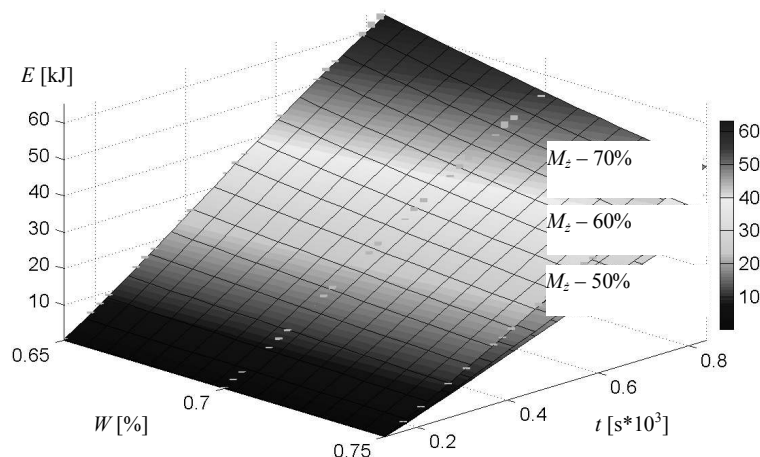
Tabela 2. Zestawienie uzyskanych modeli zużycia energii w procesie miesienia oraz parametrów dopasowania tych modeli

Table 2. Survey of the obtained models of energy consumption in the mixing process and of their matching parameters.

Model zużycia energii w procesie miesienia [E_m]	R^2	NRMSE	Śr. przedział ufności
$(b_1M_z+b_2)(b_3W+b_4)(b_5t_m+b_6)$	0,985	0,120	0,176
$(b_1M_z+b_2)(b_3W^2+b_4W+b_5)(b_6t_m^2+b_7t_m+b_8)$	0,985	0,119	0,203
$(b_1M_z^2+b_2M_z+b_3)(b_4W^2+b_5W+b_6)(b_7t_m^2+b_8t_m+b_9)$	0,997	0,046	0,084
$(b_1M_z^3+b_2M_z+b_3)(b_4W^2+b_5W+b_6)(b_7t_m^3+b_8t_m^2+b_9t_m+b_{10})$	0,998	0,043	0,083
$(b_1M_z^2+b_2M_z+b_3)(b_4W^3+b_5W^2+b_6W+b_7)(b_8t_m^2+b_9t_m+b_{10})$	0,997	0,046	0,088
$(b_1M_z^3+b_2M_z^2+b_3M_z+b_4)(b_5W^2+b_6W+b_7)(b_8t_m^2+b_9t_m+b_{10})$	0,997	0,046	0,088
$(b_1M_z^2+b_2M_z+b_3)(b_4W^3+b_5W^2+b_6W+b_7)(b_8t_m^3+b_9t_m^2+b_{10}t_m+b_{11})$	0,998	0,043	0,087

Model opisany wyróżnionym w tabeli równaniem najkorzystniej obrazuje zużycie energii w procesie miesienia w zależności od udziału mąki żytniej (M_z), zawartości wody (W) oraz czasu miesienia (t_m).

$$E_m = (14,24 - 14,8M_z + 4,78)(9,3W^2 - 18,65W + 10,54) \\ (-13,66t_m^3 + 18,67t_m^2 + 20,1t_m - 2,75)$$



Rys. 1. Wyniki dopasowania modelu matematycznego do danych obliczeniowych zużycia energii w procesie mieszenia dla prób o zawartości mąki żytniej 70, 60 i 50%

Fig. 1. Results of the matching of a mathematical model to the calculation data of energy consumption in the mixing process for the samples with rye flour content of: 70, 60 and 50%.

Niska wartość współczynnika R^2 dla modelu aproksymacyjnego zmian właściwości reologicznych spowodowała konieczność utworzenia tego modelu z wykorzystaniem sieci neuronowych. W sieci wykorzystującej 3 neurony uzyskano współczynnik $R^2 = 0,97$.

Podobne kłopoty wystąpiły w przypadku próby utworzenia modeli aproksymacyjnych do oceny instrumentalnej oraz sensorycznej gotowego wyrobu. W nich również zastosowano sieci neuronowe. Dla oceny instrumentalnej uzyskano R^2 na poziomie 0,94, zaś dla oceny sensorycznej 0,93. Utworzone modele posłużyły do określenia optymalnego czasu trwania procesu mieszenia dla poszczególnych składów recepturowych.

WNIOSKI

Kontrola momentu obrotowego na wale miesidła umożliwiła uzyskanie wysokiej jakości gotowych wyrobów o standardowych i powtarzalnych cechach przy stosunkowo niskim wkładzie energii w proces ich przygotowania.

Jeśli proces mieszenia jest zbyt krótki to struktura ciasta nie zostanie prawidłowo wykształcona i otrzymuje się nieodpowiednie produkty. W przypadku gdy proces mieszenia trwa zbyt długo, jakość ciasta także spada (wyraźnie widać znaczny spadek wielkości momentu przy miesieniu ciast z wyższą zawartością mąki pszennej), co potwierdziły wszystkie wykorzystywane sposoby oceny zarówno wyrobionego ciasta, jak również gotowego wyrobu, a jednocześnie odnotowano nadmierne zużycie energii.

PIŚMIENNICTWO

1. **Ambroziak Z.**, 1998: Produkcja piekarsko-ciastkarska, WSiP Warszawa.
2. **Neryng A., Wojdalski J., Budny J., Krasowski E.**, 1990: Energia i woda w przemyśle spożywczym. WNT, Warszawa.
3. **Sluimer P.**, 2001: TNO-mixing system for bread doughs. Nutrition and Food Research, Wageningen.

ENERGY CONSUMPTION IN THE PROCESS OF RYE-WHEAT CAKE STRUCTURE
SHAPING ON AN EXAMPLE OF SPIRAL MIXERS

Summary. An analysis of energy consumption levels was carried out in the process of rye-wheat cake structure shaping. Optimization possibilities were presented concerning rye –wheat cake mixing process by an evaluation of physical parameters of the dough as well as physical characteristics and quality parameters of the ready product.

Keywords: energy consumption, rye-wheat cake, mixing, optimization

Recenzent: Prof. dr hab. Leszek Mościcki