

ANALIZA ENERGOCHŁONNOŚCI WYBRANYCH PRODUKTÓW PIEKARSKICH

Barbara Krzysztofik

Katedra Techniki Rolno-Spożywczej, Akademia Rolnicza w Krakowie

Bogusława Łapczyńska-Kordon

Katedra Inżynierii Mechanicznej i Agrofizyki, Akademia Rolnicza w Krakowie

Streszczenie. Badania obejmowały nakłady energii potrzebnej do wyprodukowania następujących gatunków pieczywa: pszenno-żytniego, pszennego, graham, drożdżówek i chleba bułkowego. W pracy przedstawiono wyniki dotyczące zużycia energii potrzebnych na wyprodukowanie: jednej sztuki pieczywa, jednego kilograma pieczywa, w czasie jednej godziny trwania procesu technologicznego, na przykładzie dwóch piekarni. Najwyższy udział (ponad 70%) w strukturze zużycia energii zajmuje wypiek. Najmniej energii zużywa się na przesiewanie mąki i wstępne miesienie. Spośród analizowanych wyrobów piekarniczych najmniejsze jednostkowe zużycie energii odnotowano dla produkcji chleba pszenno-żytniego (0,249 MJ na 1 kg) a największe przy produkcji pieczywa graham (3,399 MJ na 1 kg).

Słowa kluczowe: piekarnia, pieczywo, nakłady energii

Wstęp, cel i metodyka

Roczna produkcja pieczywa w Polsce sięga ok. 3,7 mln ton, z czego 65% to chleb mieszany. Poza zużyciem surowców w przemyśle piekarniczym znaczny udział w kosztach stanowi energia potrzebna do uzyskania produktu finalnego.

Udział przemysłu rolno – spożywczego w zużyciu energii elektrycznej w przemyśle stanowi 4,27% [Rocznik GUS 2005]. Przemysł piekarski jest jedną z branż przemysłu spożywczego, które należą poza branżami cukrowniczą, mleczarską i mięsną do najbardziej energochłonnych. Branże piekarska i cukiernicza pobierają około 12,5% energii zużywanej przez przemysł spożywczy [Ambroziak, Grabusiński 1993]. Ilość energii uzyskanej ze spalonego paliwa wykorzystywana jest w 33% na wypiek i w 10% na wytworzenie pary do zaparowania kęsów.

Głównymi odbiornikami energii cieplnej w zakładach piekarskich są piece piekarskie, komora fermentacji końcowej oraz miesiarki, linie do krojenia i pakowania chleba. Zużycie energii w produkcji pieczywa oraz możliwości jej ograniczenia, od wielu lat są przedmiotem badań [Wojdalski 1992] gdyż sprawność jej przemiany ma wpływ na koszty produkcji.

Celem pracy było zbadanie użytecznego zużycia energii potrzebnej do wyprodukowania następujących gatunków pieczywa:

- w piekarni Pawlikowie „1”:
- pszenno-żytniego, pszennego i graham;
- w piekarni Chełmce „2”:
- drożdżówek i chleba bułkowego.

W pracy przedstawiono zużycie energii potrzebnej na wyprodukowanie:

- jednej sztuki pieczywa,
- jednego kilograma pieczywa,
- w jednostce czasu trwania procesu produkcyjnego.

Zakres badań dotyczył energochłonności tylko na etapie produkcji. Nie uwzględniono energii na dostawę surowców, magazynowanie oraz dystrybucję produktów.

Wykorzystano informacje zawarte w dokumentacji techniczno-ruchowej maszyn oraz normy zużycia energii dla poszczególnych procesów technologicznych. Zużycie energii elektrycznej potrzebnej do wyprodukowania i wypieku pieczywa obliczono znając:

P – moc silnika zainstalowanego do napędu maszyny [kW],

T – czas pracy urządzenia lub maszyny w czasie jednej godziny [h] określono za pomocą chronometrażu czasu pracy, pomiary wykonano w trzech powtórzeniach dla każdego urządzenia i produktu,

$$E = P \cdot T [kWh] \quad \text{lub} \quad E_h = 3,6 \cdot E [MJ] \quad (1)$$

Zużycie gazu ziemnego:

q_w – wartość opałowa gazu (węgla) [$MJ \cdot m^{-3}$],

U – zużycie gazu [$m^3 \cdot h^{-1}$],

Q_c – energia całkowita uzyskana ze spalonego paliwa [MJ]
($Q = U \cdot q_w [MJ \cdot h^{-1}]$),

η_c – współczynnik wykorzystania energii ze spalonego paliwa (0,43) [Ambroziak i inni. 1993],

T_p – czas pieczenia [min],

Q_e – zużycie energii pochodzące z paliwa w czasie wypieku ($Q_e = Q_{rz} \cdot \frac{T_p}{60} [MJ]$),

Q_{rz} – energia efektywna zużyta na wypiek i zaparowanie kęsów ($Q_{rz} = Q_c \cdot \eta_c [MJ]$).

Omówienie wyników badań

Maszyny i urządzenia biorące udział w procesach technologicznych badanych piekarni oraz moce silników zainstalowanych bądź współpracujących z tymi maszynami zestawiono w tabeli 1. W piekarni „1” nie stosowano mieszalników do przygotowania wody technologicznej o odpowiedniej temperaturze.

Natomiast w piekarni „2” nie stosowano przy produkcji drożdżówek i chleba bułkowego wstępnego garowania ciasta, wykonywano jednokrotne (w odniesieniu do drożdżówek) przesiewanie mąki i miesienie ciasta następnie jego przebijanie. Do wypieku kęsów wykorzystywano piec opalany gazem.

Analiza energochłonności...

Tabela 1. Maszyny i urządzenia stosowane w procesie technologicznym oraz moc zainstalowanych silników elektrycznych
 Table 1. Machines and equipment used during the manufacturing process, and power of the installed electric motors

Czynność	Produkty				
	Piekarnia 1			Piekarnia 2	
	Pszemno- żytni	Graham	Pszenny	Droż- dźówki	Chleb bułkowy
Przygotowanie rozczyznu					
Przesianie mąki do rozczyznu	Przesiewacz odśrodkowy - 1,5 [kW]			Sito - 2,2 [kW]	
Podgrzanie wody do ciasta				Mieszalnik do wody - 1,5 [kW]	Mieszalnik do wody - 2 [kW]
Miesienie rozczyznu	Miesiarka spiralna Pegaso - 6,6 [kW]	Miesiarka GMN 20.05 - 5,0 [kW]	Miesiarka - 3,0 [kW]	Miesiarka - 5,5 [kW]	
Przygotowanie ciasta					
Przesianie mąki do ciasta	Przesiewacz odśrodkowy - 1,5 [kW]				Sito - 2,2 [kW]
Miesienie ciasta	Miesiarka spiralna Pegaso - 6,6 [kW]	Miesiarka GMN 20.05 - 5,0 [kW]	Miesiarka - 3,0 [kW]	Miesiarka - 5,5 [kW]	
Przebijanie-miesienie					
Ważenie-dzielenie-kształtowanie kęsów				Dzielarka - 2,2 [kW]	
Garowanie kęsów ciasta początkowe	Komora garownicza - 7,0 [kW]				
Garowanie kęsów ciasta końcowe	Komora garownicza - 7,0 [kW]			Komora garownicza - 2,0 [kW]	
Wypiek kęsów ciasta	Piec wsadowy MIWE Ideal - 35 [kW]	Piec obrotowy - 40,5 [kW]	Piec wsadowy MIWE Ideal - 35 [kW]	Piec gazowy typu ANGLIK RRR -3 - 7,5 [m ³ ·h ⁻¹]:34,43 [MJ·m ⁻³]: η η – sprawność pieca (0,43)	

Źródło: badania własne

Czas pracy poszczególnych urządzeń był zróżnicowany dla danego produktu i wykonywanej czynności. Najdłuższe odstępy czasu odnotowano dla wypieku kęsów i ich garowania, natomiast przesiewanie mąki i przebijanie ciasta było czynnością kilkuminutową dla każdego produktu. Wykorzystanie czasu pracy maszyn biorących udział w procesie technologicznym zestawiono w tab. 2. Współczynniki wykorzystania czasu efektywnego dla jednego pełnego cyklu technologicznego wynoszą od 0,05 do 1,0. Najniższe współczynniki wykorzystania dotyczą czasu przebijania ciasta (od 0,05 do 0,057) i przesiewania mąki (od 0,05 do 0,083), najwyższe dla procesu garowania (od 0,458 dla garowania początkowego do 0,588 dla garowania końcowego) i pieczenia kęsów (od 0,675 do 0,917). W piekarni „2” odnotowano również ciągle podgrzewanie wody wykorzystywanej w procesie przygotowania rozczyznu do produkcji chleba bułkowego.

Tabela 2. Współczynniki wykorzystania czasu
Table 2. Time utilization factors

Czynność	Piekarnia 1			Piekarnia 2	
	Produkty				
	Pszemno- żytni	Graham	Pszenny	Droż- dźówki	Chleb bułkowy
Przygotowanie rozczyynu					
Przesianie mąki do roz- czyynu	0,077	0,073	0,067	0,050	0,083
Podgrzanie wody do ciasta				0,183	1,000
Miesienie rozczyynu	0,168	0,174	0,167	0,250	0,250
Przygotowanie ciasta					
Przesianie mąki do ciasta	0,073				0,083
Miesienie ciasta	0,175	0,203	0,207		0,333
Przebijanie-miesienie	0,056	0,057	0,051	0,050	0,050
Ważenie-dzielenie- kształtowanie kęsów				0,75	0,333
Garowanie kęsów ciasta początkowe	0,458	0,491	0,492		
Garowanie kęsów ciasta końcowe	0,543	0,588	0,572	1,000	0,500
Wypiek kęsów ciasta	0,677	0,675	0,675	0,750	0,917

Źródło: badania własne

Zużycie energii było zróżnicowane i wynosiło od 0,372 MJ dla miesienia ciasta do 101,784 MJ dla wypieku kęsów (tab. 3). W ramach tych samych czynności odnotowano duże zróżnicowanie w poborze energii pomiędzy produktami i pomiędzy piekarniami. Struktura zużytej energii na dany rodzaj produktu (rys. 1) wskazuje, że największy udział stanowi energia na wypiek i wynosi od 70,63% dla chleba pszenno-żytniego do 82,13% dla drożdżówek. Najmniejszy udział w strukturze zużytej energii stanowi przesiewanie mąki od 0,3 do 0,5%. Udział miesienia stanowi od 2,94% do 5,13%. Niższe wartości uzyskano dla miesienia rozczyynu a wyższe dla miesienia ciasta. Znaczący udział w zużyciu energii odnotowano również dla procesu garowania (od 2,79% do 12,01%).

Spośród wszystkich analizowanych wyrobów piekarniczych najwyższe jednostkowe zużycie energii odnotowano przy produkcji pieczywa graham i wynosiło 135,969 MJ w ciągu 1 godziny co odpowiada 1,699 MJ na 1 sztukę i 3,399 MJ na 1 kg pieczywa (tab. 4). Kolejnym wyrobem piekarniczym, dla którego jednostkowe zużycie energii było wysokie są drożdżówki. Na ich wyprodukowanie zużyto 1,447 MJ na kg produktu natomiast z uwagi na niską gramaturę 1 sztuki i najwyższą liczbę wyprodukowanych sztuk w ciągu cyklu, zużycie na sztukę okazało się najniższe (0,101 MJ). Najmniej energochłonnym pieczywem okazał się chleb pszenno-żytni przy produkcji, którego zużyto 0,249 MJ na 1 kg pieczywa.

Analiza energochłonności...

Tabela 3. Zużycie energii w procesie produkcji wybranego asortymentu pieczywa [MJ]
Table 3. Energy consumption during production process for selected bakery assortment [MJ]

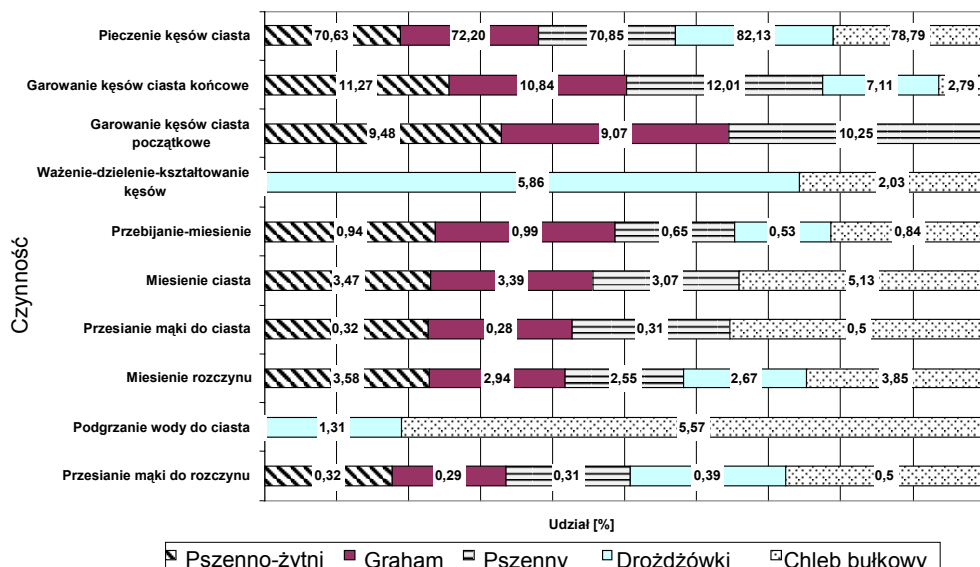
Czynność	Piekarnia 1			Piekarnia 2	
	Produkty				
	Pszemno- żytni	Graham	Pszenny	Drożdżówki	Chleb bułkowy
Przygotowanie rozczyynu					
Przesianie mąki do rozczyynu	0,378	0,389	0,367	0,396	0,648
Podgrzanie wody do ciasta				1,332	7,200
Miesienie rozczyynu	4,276	4,012	3,060	2,700	4,968
Przygotowanie ciasta					
Przesianie mąki do ciasta	0,384	0,384	0,372		0,648
Miesienie ciasta	4,151	4,628	3,689		6,624
Przebijanie-miesienie	1,119	1,346	0,786	0,540	1,080
Ważenie-dzielenie-kształtowanie kęsów				5,940	2,628
Garowanie kęsów ciasta początkowe	11,325	12,370	12,303		
Garowanie kęsów ciasta końcowe	13,470	14,783	14,417	7,200	3,600
Wypiek kęsów ciasta	84,407	98,441	85,037	83,277	101,784
Razem	119,510	136,353	120,031	101,385	129,179

Źródło: badania własne

Tabela 4. Ilość wyprodukowanego pieczywa i energia jednostkowa
Table 4. Quantity of manufactured bakery products and unit energy

Czynność	Piekarnia 1			Piekarnia 2	
	Produkty				
	Pszemno- żytni	Graham	Pszenny	Drożdżówki	Chleb bułkowy
Liczba [szt. · h ⁻¹]	800	80	240	1000	300
Masa jednostkowa [g · szt. ⁻¹]	600	500	600	0,07	600
Masa wyprodukowanego pieczywa [kg · h ⁻¹]	480	40	144	70	180
Jednostkowe zużycie energii [kJ · kg ⁻¹]	248,98	3399,21	909,33	1447,00	715,00
Jednostkowe zużycie energii [kJ · szt. ⁻¹]	149,38	1699,61	545,60	101,00	430,00
Jednostkowe zużycie energii [kJ · h ⁻¹]	119510	135969	120031	101385	129179

Źródło: badania własne



Rys. 1. Struktura zużycia energii dla poszczególnych wyrobów [%]

Fig.1. Energy consumption structure for individual products [%]

Wnioski

1. Nośnikami energii wykorzystywanymi w badanych piekarniach była głównie energia elektryczna. Jedynie w piekarni „2” wykorzystywano gaz ziemny do ogrzewania pieców.
2. Najwyższy udział (ponad 70%) w strukturze zużycia energii zajmuje energia przeznaczona na wypiek. Najmniej energii zużywa się na przesiewanie mąki i wstępne miesienie.
3. Spośród analizowanych wyrobów piekarniczych najmniejsze jednostkowe zużycie energii odnotowano dla produkcji chleba pszenno-żytniego (0,249 MJ na 1 kg) a największe przy produkcji pieczywa graham (3,399 MJ na 1 kg).

Bibliografia

- Ambroziak Z, Grabusiński R.** 1993. Propozycje usprawnienia wykorzystania energii w procesie wypieku. Przegląd piekarski i cukierniczy nr 10. s. 3-5.
- Wojdalski J.** 1992. Energetyczne aspekty produkcji pieczywa. Gospodarka paliwami i energią nr 11. Rocznik statystyczny RP. 2005. GUS. Warszawa.

ENERGY CONSUMPTION ANALYSIS FOR SELECTED BAKERY PRODUCTS

Abstract. The scope of tests included expenditure of energy needed to manufacture the following bakery product types: wheat-rye, wheat, graham, buns, and roll bread. The paper presents obtained results concerning energy consumption for production of single bread piece and one kilogram of bread during one hour of manufacturing process. Two bakeries were used as an example. Baking has the largest share (over 70%) in the energy consumption structure. The least energy is consumed for flour sieving and preliminary kneading. Among all analysed bakery products, the lowest unit energy consumption was observed for wheat-rye bread production (0.249 MJ per 1kg), and the highest - for graham bread production (3.399 MJ per 1kg).

Key words: bakery, bakery products, energy expenditure

Adres do korespondencji:

Barbara Krzysztofik; e-mail: krzysztofik@ar.krakow.pl
Katedra Techniki Rolno-Spożywczej
Akademia Rolnicza w Krakowie
ul. Balicka 116B
30-149 Kraków