

ENERGETYCZNE ASPEKTY PRACY PIECÓW PIEKARSKICH

Janusz Wojdalski, Bogdan Drózdź, Aneta Chamera

Katedra Organizacji i Inżynierii Produkcji, Szkoła Główna Gospodarstwa Wiejskiego

Streszczenie. W pracy zawarto analizę energochłonności wybranych pieców taśmowych i obrotowych firmy Werner&Pflaiderer. Największą energochłonnością charakteryzowały się piece taśmowe zużywające do produkcji 1·Mg pieczywa 1454,1 MJ energii. Przedstawiono koncepcję zmniejszenia zużycia energii poprzez zagospodarowanie energii odpadowej.

Słowa kluczowe: piec piekarski, energochłonność produkcji, energia odpadowa

Wykaz oznaczeń

A_c	– tygodniowe zużycie energii cieplnej [GJ];
W_c	– agregatowy wskaźnik jednostkowego zużycia energii cieplnej [MJ·Mg ⁻¹ pieczywa];
W_{ol}	– agregatowy wskaźnik jednostkowego zużycia oleju opałowego [kg·Mg ⁻¹];
W_u	– agregatowy wskaźnik jednostkowego zużycia paliwa umownego [kg·Mg ⁻¹];
Z	– tygodniowa produkcja pieczywa [Mg].

Wprowadzenie

Energochłonność zakładów piekarskich jest uzależniona głównie od efektywności pracy pieców piekarskich [Domysławski 1992; Kowalski 2005; Kownacki 1996; Singh 1986; Wojdalski 1992]. Dotychczasowe prace Lisieckiego i in. [1987] wykazały znaczne zróżnicowanie wskaźników jednostkowego zużycia energii przez te urządzenia. Zużycie tzw. energii włożonej w niskoefektywnych piecach może zawierać się w zakresie 19-25% strumienia energii doprowadzonej w paliwie rzeczywistym.

Dotychczas nie zostały w pełni wyjaśnione przyczyny zmienności zużycia nośników energii w różnych piecach piekarskich. Z dostępnych prac wynika także zróżnicowanie metod badawczych dotyczących energochłonności produkcji pieczywa [Grzybek i Rogulska 1991; Krzysztofik 2005; Lisiecki i in. 1987; Singh 1986].

Cel pracy

Celem pracy jest analiza energochłonności wybranych pieców taśmowych i obrotowych firmy Werner&Pfleiderer. Ponadto celem szczegółowym jest opracowanie koncepcji wykorzystania energii odpadowej pieców piekarskich prowadzącej do poprawy efektywności zużycia nośników energii oraz pogłębienie wiedzy na temat prawidłowej eksploatacji tych urządzeń. Zagadnieniom odzyskiwania ciepła odpadowego w piecach PTC 52 były poświęcone m.in. prace: Jezierskiej-Rykiel [1986] oraz Kusia [1992].

Materiał i metody

Wyniki pomiarów zużycia oleju opałowego oraz materiały pochodzą z dużego zakładu piekarskiego o dobowej produkcji 13-25 Mg pieczywa i łącznej mocy zainstalowanej urządzeń elektrycznych 400 kW. Całkowita moc cieplna badanego pieca taśmowego wynosiła 630 kW a w przypadku pieca obrotowego 87 kW. Tok prowadzenia obliczeń jest zgodny z pracą Wojdalskiego i Drózd [2006] z uwzględnieniem danych zawartych w publikacjach Nerynga i in. [1990] oraz Wojdalskiego i in. [1998].

Opracowanie zebranego materiału obejmowało obliczenie wskaźników jednostkowego zużycia paliwa umownego oraz ustalenie równań regresji wyrażających zmienność zużycia nośników energii.

Wyniki badań i ich analiza

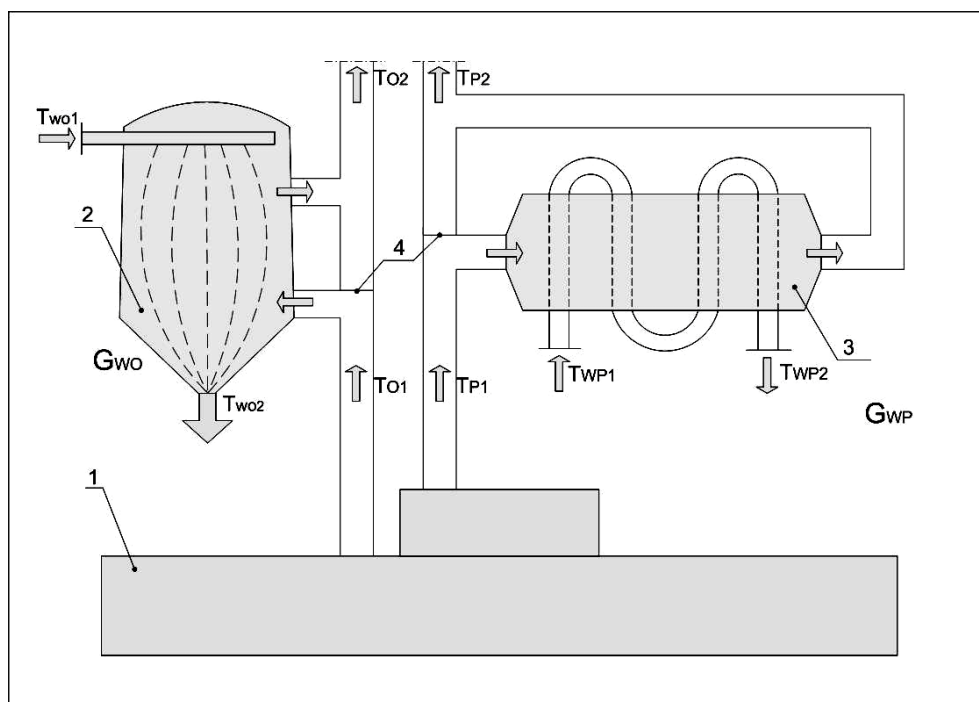
Na podstawie przeprowadzonych badań wykonano analizę statystyczną, na podstawie której otrzymano równania regresji oraz obliczono wskaźniki jednostkowego zużycia paliwa i energii cieplnej, które zawarto w tabeli 1.

Tabela 1. Porównanie energochłonności wybranych pieców piekarskich firmy Werner&Pfleiderer
Table 1. Comparison of energy consumption for selected baking ovens manufactured by Werner&Pfleiderer

Typ pieca	Równania linii regresji	R^2	W_u [kg·Mg ⁻¹]	W_c [MJ·Mg ⁻¹]
Piec taśmowy	$A_c = 2221,8 + 53,297 \cdot Z$	0,97	49,6	1454,1
	$W_{ol} = 43,684 - 0,2092 \cdot Z$	0,66		
Piec obrotowy	$A_c = -68,373 + 36,393 \cdot Z$	0,55	38,27	1116,9
	$W_{ol} = 35,275 - 3,3369 \cdot Z$	<0,2		

Tygodniowa wielkość produkcji pieczywa (Z) analizowanych pieców taśmowych firmy Werner&Pfleiderer zawierała się w zakresie od 33 do 46 Mg. Zakres zmienności produkcji pieczywa (Z) dla pieców obrotowych (tabela 1) wynosił w ciągu tygodnia od 0,8 do

3,7 Mg. Jednostkowe zużycie energii w tych urządzeniach było około 2,5 razy mniejsze w porównaniu z piecami taśmowymi innych producentów mającymi równocześnie mniejszą wydajność [Neryng i in. 1990].



Rys. 1. Schemat pieca piekarskiego z zainstalowanymi wymiennikami ciepła: 1-piec, 2-wymiennik ociekowy przeciwpłomowy, 3-wymiennik przepływowy współprądowy, 4-ruchome przegrody służące do odcinania przepływu strumienia spalin i mieszaniny powietrzno-parowej z pominięciem wymienników ciepła. G_{WO} - natężenie przepływu wody przez wymiennik ociekowy [$\text{kg}\cdot\text{s}^{-1}$], G_{WP} - natężenie przepływu wody przez wymiennik przepływowy [$\text{kg}\cdot\text{s}^{-1}$], T_{O1} , T_{O2} - temperatury mieszaniny powietrzno-parowej (wlot-wylot) [$^{\circ}\text{C}$], T_{P1} , T_{P2} - temperatury spalin (wlot-wylot) [$^{\circ}\text{C}$], T_{WO1} , T_{WO2} - temperatury wody chłodnej i podgrzanej w wymienniku ociekowym [$^{\circ}\text{C}$], T_{WP1} , T_{WP2} - temperatury wody na wlocie do wymiennika przepływowego i wylocie [$^{\circ}\text{C}$]

Fig. 1. Diagram showing baking oven equipped with heat exchangers: 1- oven, 2- dripping counter-current exchanger, 3- membrane cocurrent exchanger, 4- moving partitions used to cut off exhaust gas stream flow and air-steam mixture, bypassing heat exchangers. G_{WO} - rate of water flow through dripping exchanger [$\text{kg}\cdot\text{s}^{-1}$], G_{WP} - rate of water flow through membrane exchanger [$\text{kg}\cdot\text{s}^{-1}$], T_{O1} , T_{O2} - air-steam mixture temperatures (inlet-outlet) [$^{\circ}\text{C}$], T_{P1} , T_{P2} - exhaust gas temperatures (inlet-outlet) [$^{\circ}\text{C}$], T_{WO1} , T_{WO2} - temperatures of cold water and water preheated in dripping exchanger [$^{\circ}\text{C}$], T_{WP1} , T_{WP2} - water temperatures at inlet to membrane exchanger and outlet [$^{\circ}\text{C}$].

Rzadziej wykorzystywane piece obrotowe mają wprawdzie mniejsze jednostkowe zużycie energii w porównaniu z piecami taśmowymi (ok. 20%) lecz odznaczają się znacznie mniejszą (ok. 10 krotnie) wydajnością. Z badań Krzysztofik [2005] wynika, że energochłonność wypieku pieczywa w piecach rurowo-wrzutowych RRR opalanych węglem kamiennym jest o ok. 65% większa w porównaniu z wymienionym w tabeli 1 piecem taśmowym. Największe możliwości odzyskiwania energii odpadowej występują w przypadku badanych pieców taśmowych. Mając to na względzie opracowano ogólną koncepcję odzyskiwania i zagospodarowania tej energii stosując współprądowe i przeciwprądowe wymienniki ciepła. Na rysunku 1 przedstawiono schemat instalacji mogącej posłużyć do odzyskiwania energii odpadowej z pieca piekarskiego. Przedstawiona koncepcja uzupełnia częściowo rozwiązania omawiane przez Kusia [1992], w których chłodne powietrze kierowane do palników jest ogrzewane przeponowo przy pomocy gorących spalin odprowadzanych do komina. Równocześnie nawiązuje do prac Ambroziaka i Grabusińskiego [1994], Jezierskiej-Rykiel [1986] oraz Pracy zbiorowej [Szarguta i in.] [1993].

Z przeprowadzonych obliczeń wynika, że stosując instalację przedstawioną na rysunku 1 można zaoszczędzić do 20% paliwa rzeczywistego. Podobne zagadnienia są zawarte w pracach [Kownackiego, 1996; Pachole, 1999a i 1999b]. Z pracy Grzybek i Rogulskiej [1991] wynika, że nakłady materiałowo-energetyczne w postaci oleju opałowego na 1 Mg chleba zawierały się w granicach od 40,55 do 129,33 kg. W przypadku bułek zużycie to wynosiło od 40,71 do 49,02 kg·Mg⁻¹. Z prac Brudki i in. [1988] oraz Lisieckiego i in. [1987] wynika, że jednostkowe zużycie energii w piecach piekarskich w przypadku chleba o masie 0,8 kg wynosiło od 998 do 2477 MJ·Mg⁻¹ pieczywa. W pracy Jezierskiej-Rykiel [1986] zawarto formuły empiryczne wyrażające wpływ natężenia przepływu wody przez wymienniki na strumień odzyskanej energii cieplnej. Ambroziak i Grabusiński [1994] zawarli bilanse cieplne różnych pieców piekarskich i praktyczne możliwości zagospodarowania ciepła odlotowych gazów spalinowych. Wg tych autorów największą oszczędność wynoszącą np. 18,1 kg oleju opałowego lub 31,3 kg węgla na godzinę pracy pieca można uzyskać stosując wymiennik WPW 52/75. Kuś [1992] przedstawił wyniki badań dotyczących zastosowania energooszczędnych palników LUVO. W zależności od typu palnika miesięczne oszczędności gazu opałowego zawierały się w granicach od 19 do 22%. Należy zaznaczyć, że przytoczone wyniki badań dotyczyły różnych typów pieców piekarskich i sposobów odzyskiwania ciepła.

Podsumowanie

W przypadku pieców taśmowych firmy Werner&Pfleiderer wystąpiła wysoka korelacja między tygodniową produkcją pieczywa a zużyciem energii cieplnej. Otrzymane formuły, umożliwiają bardziej wnikliwą analizę zmienności zużycia energii w zależności od tygodniowej wielkości produkcji pieczywa, jak również stanowią próbę budowy modelu pieca piekarskiego jako podstawowego urządzenia energetycznego w zakładach tej branży. Równocześnie otrzymane wyniki potwierdzają wysoką sprawność nowoczesnych rozwiązań taśmowych pieców piekarskich oraz uzupełniają istniejącą wiedzę na temat energetycznej efektywności produkcji pieczywa w dużych zakładach. Dalsze badania mogą obejmować zagadnienia odzyskiwania ciepła odpadowego bowiem uchodzące spaliny

i mieszanina powietrzno-parowa są źródłami energii możliwej do transformacji przy zastosowaniu np. pomp ciepła. Może to mieć znaczenie do określenia standardów środowiskowych dotyczących zakładów piekarskich. Należy bowiem zaznaczyć, że dotychczas standardy środowiskowe zostały opracowane dla 11 branż przemysłu rolno-spożywczego z wyjątkiem m.in. piekarstwa [WS Atkins Int. 1998].

Bibliografia

- Ambroziak Z., Grabusiński R.** 1994. Propozycja usprawnienia wykorzystania energii w procesie wypieku. *Przegląd Piekarski i Cukierniczy* 7. s. 22-24.
- Domysławski W.** 1992. Piekarnie wiejskie i osiedlowe. Informator Branżowy. IBMER, Warszawa;
- Grzybek A., Rogulska M.** 1991. Nakłady materiałowo-energetyczne i energochłonność skumulowana produkcji pieczywa. IBMER. Warszawa.
- Jezińska-Rykiel B.** 1986. Analiza energetyczna pieca piekarniczego z uwzględnieniem ciepła odpadowego. Praca magisterska. SGGW. Warszawa.
- Kowalski K.** 2005. Analiza użytkowania energii w małym zakładzie piekarskim. Praca inżynierska. SGGW. Warszawa.
- Kownacki J.** 1996. Oszczędność energii (paliw) źródłem obniżki kosztów produkcji. *Przegląd Piekarski i Cukierniczy* 5. s. 16-17.
- Krzysztofik B.** 2005. Nakłady energetyczne poniesione na produkcję pieczywa w wybranej piekarni. *Inżynieria Rolnicza*. Nr 10(70). s. 227-233.
- Kuś A.** 1992. Ocena eksploatacji systemu grzewczego LUVU z wtórnym odzyskaniem ciepła spalin wylotowych. *Przegląd Piekarski i Cukierniczy* 9-10. s. 12-13.
- Lisiecki W., Brudka J., Ambroziak Z.** 1987. Energetyczna analiza procesowa w przemyśle piekarskim. Materiały IV Konferencji Naukowo-Technicznej „Budowa i eksploatacja maszyn w przemyśle spożywczym”. Olsztyn, s. 244-249.
- Neryng A., Wojdalski J., Budny J., Krasowski E.** 1990. Energia i woda w przemyśle rolno-spożywczym. WNT, Warszawa. s. 17- 41, 103–106, 189-194, 365-366.
- Pachole Z.** 1999a. Aktualny stan techniczny pieców piekarskich przystosowanych do opalania gazem ziemnym (cz. 1). *Przegląd Piekarski i Cukierniczy* 10. s. 34-36.
- Pachole Z.** 1999b. Aktualny stan techniczny pieców piekarskich przystosowanych do opalania gazem ziemnym (cz.2). *Przegląd Piekarski i Cukierniczy* 11. s. 16-17.
- Singh R.P.** 1986. *Energy in Food Processing*. Elsevier, Amsterdam-Oxford-New York – Tokyo, s. 44-45.
- Wojdalski J.** 1992. Energetyczne aspekty produkcji pieczywa. *Gospodarka Paliwami i Energią* 11. s. 14-17.
- Wojdalski J., Domagała A., Kaleta A., Janus P.** 1998. Energia i jej użytkowanie w przemyśle rolno-spożywczym (praca pod redakcją naukową J. Wojdalskiego). Wyd. SGGW, Warszawa, s. 10-11, 171-182, 226-229, 256;
- Wojdalski J., Drózd B.** 2006. Podstawy analizy energochłonności produkcji zakładów przemysłu rolno-spożywczego. MOTROL, Motoryzacja i Energetyka Rolnictwa. Tom 8A. Lublin, s. 294-304 (<http://www.pan-ol.lublin.pl/wydawnictwa/Motrol8a/Wojdalski2.pdf>).
- Praca zbiorowa (Szargut J. i in.). 1993. *Przemysłowa energia odpadowa. Zasady wykorzystania, urządzenia*. WNT. Warszawa. s. 364-419.
- WS Atkins International, 1998. *Ochrona środowiska w przemyśle rolno-spożywczym. Standardy środowiskowe*. FAPA. Warszawa 57, s. 87.

ASPECTS OF ENERGY CONSUMPTION IN THE OPERATION OF BAKING OVENS

Abstract. The purpose of this paper was to analyze energy consumption volumes in selected Werner & Pfleiderer Company-manufactured tape baking ovens and rotary rack ovens, and to find an explanation for variability of their energy consumption levels. The highest level of energy consumption conveyor stove characterized using $1454,1 \text{ MJ}\cdot\text{Mg}^{-1}$ bakeries. Another of its objectives was to elaborate a concept for making use of waste energy produced by baking ovens, which would result in an enhancement of energy carrier consumption effectiveness.

Key words: baking ovens, energy consumption, waste energy recovery

Adres do korespondencji:

Janusz Wojdalski; e-mail: janusz_wojdalski@sggw.pl
Katedra Organizacji i Inżynierii Produkcji
Szkoła Główna Gospodarstwa Wiejskiego
ul. Nowoursynowska 166
02-787 Warszawa