

UWARUNKOWANIA GOSPODARKI ENERGETYCZNEJ ZAKŁADÓW PRODUKCJI NAPOJÓW BEZALKOHOLOWYCH

*Bogdan Dróżdż **, *Janusz Wojdalski **, *Marcin Gołda ***, *Robert Grzeszek ***

* Katedra Organizacji i Inżynierii Produkcji,
Szkoła Główna Gospodarstwa Wiejskiego w Warszawie

** studenci Wydziału Inżynierii Produkcji,
Szkoła Główna Gospodarstwa Wiejskiego w Warszawie

Wstęp

Dotychczasowe piśmiennictwo w niepełnym stopniu wyjaśnia przyczyny zmienności zakładowych wskaźników jednostkowego zużycia energii w zakładach produkcji napojów bezalkoholowych [HAGLER i in. 1986; SZYMAŃSKI, KIKIEWICZ 1993; WOJDALSKI i in. 1995]. Istnieje też luka w zakresie modelowania zużycia energii przez zakłady uzdatniające wodę dla celów spożywczych oraz produkujące napoje bezalkoholowe.

Celem badań było określenie poziomu dobowego zużycia oraz jednostkowego zużycia nośników energii, określenie istotności przyjętych czynników warunkujących kształtowanie się zmiennych zależnych oraz dostarczenie formuł empirycznych wyrażających zmienność zużycia energii, co także może mieć znaczenie w praktyce przemysłowej.

Materiał i metody

Wyniki i materiały pochodzą z dwóch zakładów zajmujących się uzdatnianiem wody dla celów spożywczych oraz produkujących napoje bezalkoholowe. Wydajność stacji uzdatniania wody wynosiła 5040 m³ na dobę, tj. 210 m³·h⁻¹ (zakład A). W zakładzie B produkcja odbywała się na dwóch liniach o wydajności 6 tys. l·h⁻¹ (butelki o objętości 1 litra) oraz 12,5 tysiąca 0,33 litrowych butelek na godzinę. Moc zainstalowana urządzeń elektrycznych w pierwszym zakładzie wynosiła 308 kW oraz w drugim zakładzie 1220 kW. Zakresy wskaźników jednostkowego zużycia energii określano na podstawie pracy WOJDALSKIEGO i in. [1998]. Do rozwiązania problemu zastosowano metodę polegającą na określeniu wpływu przyjętych czynników na zużycie energii elektrycznej i cieplnej.

Przyjęto następujące czynniki (zmiennie niezależne) mające wpływ na zużycie energii w badanych zakładach, obejmujących jednocześnie zakres wskaźnika zakładowego¹:

– wielkość i struktura dobowej produkcji (Z i Z_1, \dots, Z_3) oraz wskaźnik wyra-

¹ Szczegółowe metody badań przedstawiono w pracach DRÓŻDŹ [1998] oraz DRÓŻDŹ i WOJDALSKI [1999].

zający poziom wyposażenia technicznego i organizacji produkcji – K_m .

Opracowanie statystyczne materiału i wyników pomiarów obejmowało ustalenie równań regresji krokowej.

Wyniki i dyskusja

W zakładzie A poziom dobowego zużycia energii zawierał się w granicach od 433 do 1160 kWh. Energochłonność jednostkowa wyrażona wskaźnikiem zakładowym W_e zawierała się w granicach 0,63–0,91 kWh·m⁻³. W tabeli 1 przedstawiono wybrane zależności charakteryzujące gospodarkę energetyczną obiektu.

Tabela 1; Table 1

Wpływ zmiennych niezależnych (dobowej produkcji wody, wskaźnika mocy zainstalowanej przypadającej na 1 m³ uzdatnianej wody) na zużycie energii w zakładzie A

Effect of independent variables (size of water production, power installed per 1000 l of conditioned water) on energy consumption in plant A

Równania regresji Regression equation	Współczynnik determinacji R ² Determination coefficient	Błąd estymacji Estimation error $S_{x,y}$	Wartość testu Fisera-Snedecora $F_{obl.}$ Fisher-Snedecor $F_{obl.}$ test value
$A_e = 194,45 + 0,52 \cdot Z$	0,92	50,91	286,25
$A_e = 1146,73 - 1151,52 \cdot K_m$	0,78	83,55	91,18

Z tabeli 1 wynika, że zmienność dobowego zużycia energii elektrycznej (A_e) w 92% została wyjaśniona przez wielkość dobowej produkcji wody Z . Świadczy to o uporządkowanej gospodarce energetycznej w analizowanym obiekcie.

Wysoka wartość współczynnika determinacji R² (0,78) wystąpiła także dla równania regresji wyrażającego zmienność zużycia energii elektrycznej w zależności od wskaźnika K_m (będącego funkcją mocy zainstalowanej P oraz dobowej produkcji Z). Równocześnie zmienność tangensa kąta przesunięcia fazowego była tylko w 34% wyjaśniona wielkością Z .

W tabeli 2 przedstawiono zakresy dobowej zmienności analizowanych czynników w zakładzie B.

Tabela 2; Table 2

Zakresy zmienności czynników charakteryzujących gospodarkę energetyczną zakładu B
Variability range for factors referring to energy consumption in plant B

Analizowane czynniki Analysed factors	Jednostki Units	Zakresy zmienności Variability limits	Wartość średnia Mean value
Z	tys. litrów; thousand of liters	97,03–379,24	271,135
B_z	kg	725–2574	1448,048
A_c	GJ	31,102–110,425	62,122
A_e	kWh	6001–22906	9322,857
W_c	MJ/1000 l	106–678	253
W_e	kWh/1000 l	5,07–101,41	38,148
W_{t1}	MJ/1000 l	330–1894	710
W_{t2}	MJ/1000 l	218–1043	390
K_m	kW/1000 l	3,21–12,57	5,02

W rezultacie przeprowadzonej analizy statystycznej otrzymano formuły empiryczne zawarte w tabeli 3.

W tabeli 3 przedstawiono tylko te formuły, dla których stopień wyjaśnienia zmienności jednostkowego zużycia energii przekraczał 40%. Zmienność wskaźnika jednostkowego zużycia energii cieplnej W_c była wyjaśniona dobową produkcją napojów w 46,3%. W_e wykazuje dużą zmienność, co wynika z wahań produkcji w okresie pomiarowym. Jednostkowe zużycie energii elektrycznej różniło się między sobą nawet 20-krotnie.

Tabela 3; Table 3

Wpływ struktury produkcji zakładu B na jednostkowe zużycie energii
Effect of structure production in plant B for unitary energy consumption

Lp. No.	Równanie regresji Regression equation	R ²	S _{x,y}	t _{obl}
1.	$W_e = 91,541 - 0,197 Z$	0,4039	0,0170	14,551
2.	$W_c = 0,587 - 0,0012 Z$	0,4632	0,0001	18,260
3.	$W_{it} = 1,685 - 0,0035 Z$	0,5343	0,2424	23,946
4.	$W_{it} = 0,916 - 0,0019 Z$	0,5651	0,1233	26,993
5.	$W_{it} = 1,774 - 0,0037 Z_1 - 0,006 Z_2$	0,5859	0,2280	15,116
6.	$W_{it} = 0,8862 - 0,0018 Z_1 - 0,0028 Z_2$	0,4849	0,1341	10,417
7.	$W_e = 0,1022 - 0,2221 Z_1 - 0,3820 Z_2$	0,5671	0,0145	14,101
8.	$W_c = 0,7166 - 0,0011 Z_1 - 0,0016 Z_2 - 0,0027 Z_3$	0,5562	0,00009	9,357

Na zmienność wskaźnika W_e tylko w 40,4% miała wpływ dobową wielkość produkcji napojów. Zastosowanie struktury produkcji jako zmiennej niezależnej miało większy wpływ na wyjaśnienie zmienności wskaźników jednostkowego zużycia energii w porównaniu z dobową produkcją zakładu ogółem traktowaną jako zmienną objaśniającą. W tym przypadku stosując strukturę produkcji w 58,6 % wyjaśniono zmienność zakładowego wskaźnika jednostkowego zużycia energii ogółem, wyrażoną przy pomocy wskaźnika W_{it} . Równocześnie wskaźniki te różniły się między sobą najwyższej 5-krotnie.

Ze względu na wysoki stopień automatyzacji badane zakłady nie wymagały stosowania całodobowej obsługi technologicznej oraz energetycznej podczas poboru, uzdatniania i wtłaczania do sieci rozprzewadzającej wodę.

Zastosowane układy technologiczne w zakładach zapewniały wysoką skuteczność uzdatniania wody surowej. W strukturze jednostkowego zużycia energii elektrycznej przy maksymalnym wykorzystaniu linii produkcyjnych zakładu B do 12% energii przypadało na uzdatnianie wody. Istotny wpływ na zmniejszenie energochłonności zakładu może mieć poprawa organizacji produkcji.

Wnioski

1. Gospodarka energetyczna zakładu A była w dużym stopniu uporządkowana, co znajduje potwierdzenie w uzyskanym współczynniku determinacji ($R^2 = 0,92$) dla równania regresji wyrażającego zależność zużycia energii elektrycznej od dobowej produkcji wody. Pozostałe 8% zużycia energii elektrycznej może być wyjaśnione innymi czynnikami, które w niniejszej pracy nie były uwzględniane, np. straty podczas eksploatacji urządzeń o niskich sprawnościach (pompy, sprężarki) oraz niepełne wykorzystanie wydajności obiektu w stosunku do wartości pierwotnie zakładanej.

2. Wskaźnik jednostkowego zużycia energii elektrycznej W_e w zakładzie A wynosił średnio $0,69 \text{ kWh}\cdot\text{m}^{-3}$ przy zakresie zmienności $0,60\text{--}0,91$. Na kształtowanie się zakresu powyższego wskaźnika w okresie badawczym (zimowym) mogło mieć wpływ niepełne wykorzystanie zdolności produkcyjnej obiektu skorelowane ze spadkiem popytu na produkt finalny.
3. W badanym okresie dobowe zużycie energii cieplnej w zakładzie B wykazywało dość duże wahania i zawierało się w granicach od $31,102\text{--}110,425 \text{ GJ}$.
4. Średnia wartość wskaźnika jednostkowego zużycia energii cieplnej W_c w badanym okresie wynosiła $253 \text{ MJ}/1000$ litrów i wahała się od 106 do $678 \text{ MJ}/1000$ litrów. Jednostkowe zużycie energii elektrycznej wykazywało znacznie większe wahania, gdyż wartości wskaźników W_e różniły się między sobą nawet 20-krotnie.
5. Uzyskano formuły matematyczne uwzględniające przyjęte czynniki – zmienne niezależne. Otrzymane dla tych równań współczynniki determinacji R^2 w granicach $0,40 \dots 0,58$ świadczą o istnieniu innych czynników nie uwzględnionych w badaniach, np. organizacja produkcji a mających wpływ na kształtowanie się jednostkowego zużycia energii.

Wykaz stosowanych oznaczeń; Designations

- A_c – dobowe zużycie energii cieplnej; twenty-four hour thermal energy consumption (GJ)
- A_e – dobowe zużycie energii elektrycznej czynnej; twenty-four hour consumption of active electrical energy (kWh)
- A_{n1} – całkowite dobowe zużycie energii (uwzględniając przelicznik $1 \text{ kWh} = 0,012 \text{ GJ}$); total twenty-four hour energy consumption (assuming that $1 \text{ kWh} = 0.012 \text{ GJ}$), (GJ)
- A_{n2} – całkowite dobowe zużycie energii (uwzględniając przelicznik $1 \text{ kWh} = 0,0036 \text{ GJ}$); total twenty-four hour (assuming that $1 \text{ kWh} = 0.0036 \text{ GJ}$), (GJ)
- B_{rz} – dobowe zużycie paliwa rzeczywistego; twenty-four hours real fuel consumption (kg)
- F_{obl} – obliczeniowa wartość testu Fischera-Snedecora; calculation value of the Fischer-Snedecor test
- $K_m = P \cdot Z^{-1}$ – moc zainstalowana na 1000 litrów produkowanych napojów w ciągu doby; power installed per 1000 l of beverages produced per twenty-four hours (kW/1000 litrów; litres)
- P – całkowita moc zainstalowana zakładu; total power installed in the plant (kW)
- R^2 – współczynnik determinacji; determination coefficient (r^2)
- $S_{x,y}$ – odchylenie standardowe od regresji; standard deviation from regression
- t_{obl} – wartość obliczeniowa testu t-Studenta; calculation value of the t-Student test
- $W_c = A_c \cdot Z^{-1}$ – zakładowy wskaźnik jednostkowego zużycia energii cieplnej; plant unitary index of thermal energy consumption (GJ/1000 litrów; litres)

- $W_e = A_e \cdot Z^{-1}$ – zakładowy wskaźnik jednostkowego zużycia energii elektrycznej; plant unitary index of electrical energy consumption (kWh/1000 litrów; litres)
- $W_n = A_n \cdot Z^{-1}$ – zakładowy wskaźnik jednostkowego zużycia energii ogółem (uwzględniając przelicznik 1 kWh = 0,012 GJ); plant unitary index of total energy consumption (assuming that 1 kWh = 0.012 GJ), (GJ/1000 litrów; litres)
- $W_o = A_o \cdot Z^{-1}$ – zakładowy wskaźnik jednostkowego zużycia energii ogółem (uwzględniając przelicznik 1 kWh = 0,012 GJ); plant unitary index of total energy consumption (assuming that 1 kWh = 0,0036 GJ), (GJ/1000 litrów; litres)
- Z – wielkość dobowej produkcji napojów; twenty-four hours beverage production (tys. litrów; thousand of litres)
- Z_1 – dobową wielkość produkcji napojów w butelkach o pojemności 1 litra; twenty-four hours production of beverages in 1 liter capacity bottles (tys. litrów; thousand of litres)
- Z_2 – dobową wielkość produkcji napojów w butelkach o pojemności 0,33 litra; twenty-four hours production of beverages in 0.33 liter capacity bottles (tys. litrów; thousand of litres)
- Z_3 – dobową wielkość produkcji napojów w butelkach z tworzywa PET o pojemności 1,5 litra; twenty-four hours production of beverages in 1.5 liter capacity bottles (of PET material), (tys. litrów; thousand of litres)

Literatura

- DRÓŻDŹ B. 1998. *Wpływ wybranych czynników na energochłonność zakładów przetwórstwa nasion oleistych*. Rozprawa doktorska. SGGW Warszawa.
- DRÓŻDŹ B., WOJDALSKI J. 1999. *Czynniki wpływające na zużycie energii w zakładach przemysłu rolno-spożywczego*. Mat. symp. z okazji Jubileuszu 50-lecia pracy zawodowej Profesora Kazimierza Zduna „Techniczne, ekologiczne i ekonomiczne zagadnienia inżynierii rolniczej” SGGW Warszawa: 14–26.
- HAGLER, BAILLY CO., LOWRY JR., WASHINGTON DC. 1986. Personal communication. Cited in *Energy in World Agriculture*. Vol 1. *Energy in Food Processing* (Singh R.P. Ed.), Elsevier, Amsterdam-Oxford-New-Tokyo: 61–62.
- SZYMAŃSKI M., KIKIEWICZ Z. 1993. *Nowoczesna linia technologiczna wytwórni napojów*. Mat. VI Konf. Nauk.-Techn. „Budowa i eksploatacja maszyn w przemyśle spożywczym”, Gdańsk, 23–24 IX: 611–619.
- WOJDALSKI J., DOMAGAŁA A., KALET A., JANUS P. 1998. *Energia i jej użytkowanie w przemyśle rolno-spożywczym*. Wyd. SGGW Warszawa: 226–257.
- WOJDALSKI J., LUBACH M., DRÓŻDŹ B. 1995. *Energetyczne aspekty produkcji napojów bezalkoholowych*. *Gospodarka Paliwami i Energią* 2: 19–21.

Słowa kluczowe: produkcja napojów bezalkoholowych, użytkowanie energii, formuły empiryczne

Streszczenie

W pracy przedstawiono wyniki badań nad energochłonnością zakładów uzdatniających wodę i produkujących napoje bezalkoholowe. Otrzymane wyniki dotyczą głównie określania wpływu wielkości dobowej produkcji napojów oraz jej struktury na łączne zużycie energii a także osobno na zużycie energii cieplnej i elektrycznej. Wykazano istotny wpływ przyjętych czynników na kształtowanie się wskaźników jednostkowego zużycia energii. Z badań wynika, że stosując strukturę dobowej produkcji, jako zmienną objaśniającą (w porównaniu z odrębnym stosowaniem tylko wielkości produkcji) uzyskiwano większe wartości współczynnika determinacji R^2 . Istotny wpływ na zmniejszenie energochłonności zakładu może mieć organizacja produkcji. Otrzymane formuły empiryczne mogą posłużyć do budowy modelu zakładu produkcji napojów bezalkoholowych jako użytkownika energii.

EFFECT OF ENERGY CONSUMPTION IN BEVERAGE PLANTS

*Bogdan Dróżdź *, Janusz Wojdalski *, Marcin Gołda **, Robert Grzeszek ***

* Department of Production Management of Engineering,
Warsaw Agricultural University, Warszawa

** Students of Faculty of Production Engineering,
Warsaw Agricultural University, Warszawa

Key words: beverages, energy conservation, empirical models

Summary

Results of investigations on energy consumption in water conditioning plants and beverage plants are presented. The obtained results mainly refer to the determination of the influence of twenty-four hour beverage production and its structure on total energy consumption as well as thermal and electrical energy consumption. The effect of the plants' indices of unitary energy consumption was determined. Applying the structure of twenty-four hour production as a variable (in comparison with the separate application of the production level), there were obtained higher value levels of determination coefficient R^2 .

The production organization can exert an important influence on the plant's energy consumption decrease.

The empirical models obtained may contribute to the development of the model of the beverage plant as an energy consumer.

Dr inż. Bogdan Dróżdź
Katedra Organizacji i Inżynierii Produkcji
Szkoła Główna Gospodarstwa Wiejskiego
ul. Nowoursynowska 166
02-787 WARSZAWA
e-mail: drozdz@alpha.sggw.waw.pl