

*Jerzy Jaworski, Janusz Piechocki*  
*Katedra Elektrotechniki i Energetyki*  
*Uniwersytet Warmińsko-Mazurski*

## **WPŁYW NIEKTÓRYCH CZYNNIKÓW NA WIELKOŚĆ I STRUKTURĘ ZUŻYCIA ENERGII ELEKTRYCZNEJ W GOSPODARSTWACH WIEJSKICH**

### **Streszczenie**

Na podstawie badań doświadczalnych zbudowano model regresyjny procesu użytkowania linii rozdzielczej średniego napięcia zasilającej tereny wiejskie i następnie poddano go weryfikacji w celu oceny stopnia jego dopasowania do uzyskanych danych empirycznych. W pracy na podstawie przeprowadzonej analizy korelacji i regresji wyznaczono związki między poziomem i strukturą zużycia energii elektrycznej przez poszczególne grupy odbiorców wiejskich, a czynnikami zewnętrznymi od nich niezależnymi oraz czynnikami opisującymi te gospodarstwa. Związki te zapisano w postaci siedemnastu równań regresyjnych stanowiących model procesu użytkowania linii średniego napięcia.

**Słowa kluczowe:** rolnictwo, energetyka, system elektroenergetyczny, gospodarstwo rolne, zużycie energii elektrycznej

### **Wprowadzenie**

System elektroenergetyczny obsługujący polską wieś jest nieprzystający do nowoczesnej gospodarki rynkowej jaka jest obecnie tworzona w kraju. Poszczególne elementy sieci elektroenergetycznych zasilających obszary wiejskie wymagają w większości pilnej wymiany lub modernizacji. Zużycie fizyczne sieci, przestarzała aparatura łączeniowa i zabezpieczająca, zbyt mała przepustowość sieci i niewystarczająca moc transformatorów to główne wady istniejących wiejskich sieci rozdzielczych średniego i niskiego napięcia [Trojanowska 1996, Trojanowska 2002]. Odbiorca finalny na wsi oczekuje od dostawcy zaopatrzenia w energię elektryczną o odpowiednich parametrach jakościowych i niezawodności jej dostaw. Bez przeznaczenia odpowiednich środków na modernizację wiejskich sieci elektroenergetycznych będzie to niemożliwe. Pozyskanie środków finansowych pozwoliłoby na

rozpoczęcie prac restrukturyzacyjnych. Pierwszym etapem byłoby poznanie potrzeb elektroenergetycznych odbiorców wiejskich aktualnie i w przyszłości. Analizy stanu bieżącego i prognozowanie odbywają się w oparciu o zebrany na przestrzeni wielu lat materiał doświadczalny. Brak jest jednak w kraju syntetycznych opracowań zawierających analizy przyczyn i skutków zmian poziomu i struktury zużycia energii elektrycznej przez odbiorców wiejskich oraz trendów tych zmian w ostatnich latach. Zmiany te w stosunku do lat osiemdziesiątych i pierwszej połowy dekady lat dziewięćdziesiątych są znaczne, co potwierdzają m.in. dane zawarte w rocznikach statystycznych.

### **Cel pracy**

Celem pracy było określenie wpływu niektórych parametrów opisujących gospodarstwa wiejskie oraz ich otoczenie na zużycie energii elektrycznej i jego strukturę.

Cel ten został zrealizowany przez:

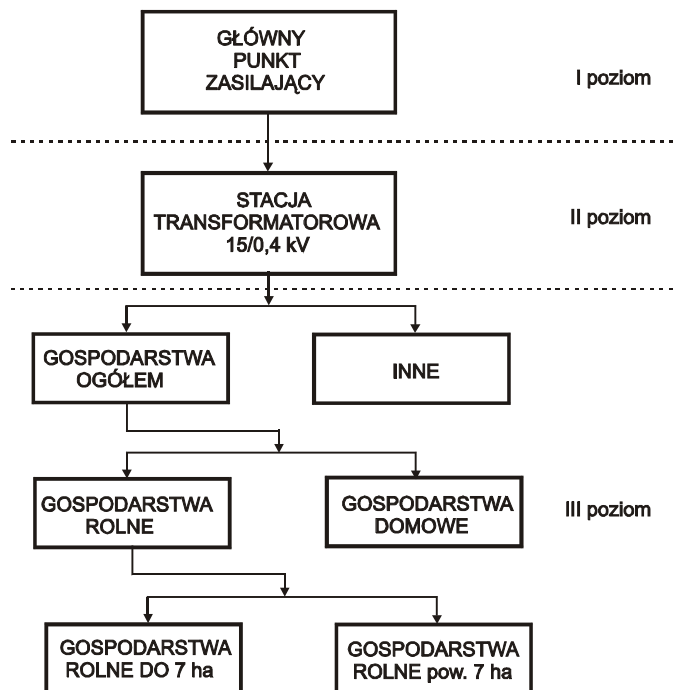
- przeprowadzenie badań doświadczalnych;
- zbudowanie modelu matematycznego użytkowania sieci rozdzielczej typowej dla regionu północno-wschodniego zasilającej tereny wiejskie;
- weryfikację modelu na przykładzie sieci rozdzielczej SN Biskupiec - Dźwierzuty, zgodnie z przyjętą metodyką.

Celem badań doświadczalnych było zebranie danych umożliwiających zbudowanie modelu matematycznego i jego weryfikację. Badaniami objęto elektroenergetyczną sieć rozdzielczą średniego napięcia 15 kV, zasilającą wyłącznie indywidualne gospodarstwa rolne [Jaworski, Piechocki 2000a; Jaworski, Piechocki 2000b; Jaworski 2004]. Jest to linia napowietrzna o długości ok. 35 km z przewodami nie izolowanymi AFL 25 i 35 mm<sup>2</sup> na słupach żelbetowych. Linia obsługuje rejon o powierzchni ok. 62,5 km<sup>2</sup> i zasilą ponad 340 odbiorców wiejskich poprzez 23 stacje transformatorowe SN/nn 15/0,4 kV.

System przedmiotowy w postaci sieci rozdzielczej średniego napięcia (SN) podzielono na trzy poziomy szczegółowości (rys. 1):

- I poziom - Główny Punkt Zasilający Biskupiec,
- II poziom - stacja transformatorowa SN/nn w Łupowie,
- III poziom - odbiorcy końcowi w Łupowie.

Taki podział hierarchiczny sieci umożliwia analizę zdarzeń zachodzących na wydzielonych przestrzeniach różniących się między sobą zarówno przeznaczeniem jak i funkcją. Badania polegały na pomiarach przepływu energii i mocy w Głównym Punkcie Zasilającym i stacji transformatorowej.



Rys. 1. Podział sieci średniego napięcia na poziomy, a odbiorców na grupy  
 Fig. 1. Division of medium voltage lines into levels and subscribers into groups

Ponadto na podstawie danych otrzymywanych z systemu rozliczeń z Zakładu Energetycznego przeprowadzono analizę zużycia energii elektrycznej przez wiejskich odbiorców końcowych badanego rejonu.

Prowadzono również badania ankietowe, których celem było uzyskanie informacji na temat charakterystycznych warunków funkcjonowania gospodarstw wiejskich na tym oraz informacji dotyczących użytkowanych odbiorników energii elektrycznej zarówno do celów produkcyjnych jak i domowych.

## Wyniki

Na podstawie zebranych danych empirycznych zbudowano w oparciu o analizę korelacji i funkcje regresji model procesu użytkowania linii średniego napięcia zasilającej tereny wiejskie. Model matematyczny został zbudowany w dwóch wariantach. W pierwszym zmiennymi objaśniającymi były parametry zewnętrzne

(temperatura, wskaźnik cenowy energii elektrycznej), natomiast w drugim jako cechy objaśniające przyjęto parametry opisujące odbiorcę finalnego (liczba osób w gospodarstwie, powierzchnia użytków rolnych, liczba zwierząt gospodarskich przeliczona na DJP, moc zainstalowana urządzeń produkcyjnych, moc zainstalowana odbiorników elektrycznych w gospodarstwie domowym).

W pracy przyjęto następujące oznaczenia:

- Y1 - przepływ energii czynnej w latach 1995-1998 w okresie dnia,
- Y2 - przepływ energii czynnej w latach 1995-1998 w okresie nocy,
- Y3 - sumaryczny przepływ energii czynnej w latach 1995-1998,
- Y8 - zużycie energii w latach 1995 - 2002 w okresie dnia,
- Y9 - zużycie energii w latach 1995 - 2002 w okresie nocy,
- Y10 - sumaryczne zużycie energii w latach 1995 - 2002,
- Y11 - zużycie energii w 2002 roku w okresie dnia,
- Y12 - zużycie energii w 2002 roku w okresie nocy,
- Y13 - sumaryczne zużycie energii w 2002 roku,
- X1 - liczba osób w gospodarstwie,
- X2 - powierzchnia użytków rolnych,
- X3 - liczba zwierząt gospodarskich przeliczona na Duże Jednostki Przeliczeniowe (DJP),
- X4 - moc zainstalowana urządzeń produkcyjnych,
- X5 - moc zainstalowana odbiorników elektrycznych w gospodarstwie domowym,
- X6 - temperatura powietrza,
- X7 - wskaźnik cenowy energii elektrycznej (WCEE),

Za Trojanowską [1996] I Knagą [2003] przyjęto za jedną z cech objaśniających wskaźnik cenowy energii elektrycznej *WCEE* zdefiniowany następująco:

$$WCEE = \frac{DRG}{CEE}, \text{ kW}\cdot\text{h} \quad (1)$$

gdzie:

DRG - miesięczny dochód rozporządzalny gospodarstwa, zł;

CEE - średnioroczna cena energii elektrycznej, zł/kW·h.

W pracy na podstawie przeprowadzonej analizy korelacji i regresji wyznaczono związki między poziomem i strukturą zużycia energii elektrycznej przez poszczególne grupy odbiorców wiejskich, a czynnikami zewnętrznymi od nich niezależnymi oraz czynnikami opisującymi te gospodarstwa. Związki te zapisano w postaci równań regresyjnych. Następnie w celu oceny stopnia ich dopasowania do danych

empirycznych uzyskanych podczas badań poddano je weryfikacji. Przy weryfikacji wyznaczonych równań regresyjnych przyjęto założenie, że równanie jest dostatecznie dopasowane do systemu przedmiotowego, jeżeli współczynnik determinacji jest większy od wartości 0,80.

Poniżej podano siedemnaście równań regresyjnych, które poddane weryfikacji odpowiadają założonym warunkom dopasowania modelu do danych empirycznych i stanowią model procesu użytkowania linii średniego napięcia.

**Wariant I**

**Główny Punkt Zasilający (1995-1998 r.)**

$$Y1 = 85.4817 \cdot (0.9733)^{X_6} \quad (R1)$$

$$Y2 = 56.8724 \cdot (0.977)^{X_6} \quad (R2)$$

$$Y3 = 142.397 \cdot (0.9748)^{X_6} \quad (R3)$$

$$Y1 = 88.0317 - 1.1579X_6 - 0.0017X_7 - 0.0078X_6^2 + 0.00001X_7^2 - 0.0001X_6X_7 \quad (R4)$$

$$Y2 = 6.4010 + 0.1740X_6 + 0.0113X_7 - 0.0131X_6^2 - 0.00001X_7^2 - 0.0001X_6X_7 \quad (R5)$$

$$Y3 = 94.4327 - 0.9839X_6 + 0.0095X_7 - 0.0209X_6^2 - 0.00001X_7^2 - 0.0002X_6X_7 \quad (R6)$$

**Gospodarstwa ogółem (1995-2002 r.)**

$$Y8 = 4.7291X_7 + 95996.3325 \quad (R7)$$

$$Y10 = 9.5868X_7 + 168101.269 \quad (R8)$$

$$Y8 = 301650.2289 - 20274.3028X_6 - 37.4512X_7 - 57.3419X_6^2 + 0.0007X_7^2 + 2.9145X_6X_7 \quad (R9)$$

$$Y9 = 1440804.9701 - 207391.3365X_6 - 167.5188X_7 + 8705.3256X_6^2 + 0.0057X_7^2 + 10.5013X_6X_7 \quad (R10)$$

$$Y10 = 1742455.1990 - 227665.6392X_6 - 204.9700X_7 + 8547.9837X_6^2 + 0.0064X_7^2 + 13.4158X_6X_7 \quad (R11)$$

**Wariant II**

**Gospodarstwa ogółem (2002 r.)**

$$Y11 = 759.5169 - 420.7374X_1 - 124.3202X_2 + 40.0489X_3 + 446.9558X_4 + 218.6661X_5 + 31.4273X_1^2 + 7.4641X_2^2 - 12.4155X_3^2 + 6.0300X_4^2 - 32.5075X_5^2 + 16.7961X_1X_2 - 4.6951X_1X_3 - 56.3448X_1X_4 + 83.6929X_1X_5 + 14.8437X_2X_3 - 32.2819X_2X_4 + 20.0833X_2X_5 + 34.3514X_3X_4 - 65.3919X_3X_5 - 15.1551X_4X_5 \quad (R12)$$

**Gospodarstwa rolne ogółem (2002 r.)**

$$Y11 = -347.6250 + 496.0304X_1 - 213.2726X_2 + 273.1391X_4 + 61.0775X_1^2 + 19.6553X_2^2 + 17.1589X_4^2 - 7.0467X_1X_2 - 71.1060X_1X_4 - 25.9664X_2X_4 \quad (R13)$$

$$\begin{aligned} Y_{13} = & -1189.6073 + 1003.1798X_1 - \\ & 274.9146X_2 + 431.3478X_4 + 62.7959X_1^2 + 22.5424X_2^2 + 28.9276X_4^2 + \\ & 18.0650X_1X_2 - 144.4914X_1X_4 - 36.0104X_2X_4 \end{aligned} \quad (R14)$$

**Gospodarstwa rolne powyżej 7 ha (2002 r.)**

$$\begin{aligned} Y_{11} = & -11270.0728 - 209.5603X_1 + 833.9676X_2 + 977.5538X_5 + 150.1287X_1^2 - \\ & 2.5574X_2^2 - 30.0391X_5^2 - 69.2777X_1X_2 + 8.7393X_1X_5 - 23.4610X_2X_5 \end{aligned} \quad (R15)$$

$$\begin{aligned} Y_{12} = & -1355.3047 + 1006.0025X_1 + 223.9522X_4 - 710.2981X_5 - 9.1314X_1^2 - \\ & 3.5068X_4^2 + 16.8245X_5^2 - 72.2797X_1X_4 + 25.5945X_1X_5 + 35.5152X_4X_5 \end{aligned} \quad (R16)$$

$$\begin{aligned} Y_{13} = & 1935.9487 - 2594.9893X_1 - \\ & 71.2522X_2 + 1205.0891X_3 + 320.5683X_1^2 + 3.2565X_2^2 + 4.6231X_3^2 + \\ & 62.3245X_1X_2 - 160.0023X_1X_3 - 20.2035X_2X_3 \end{aligned} \quad (R17)$$

## Wnioski

Analiza wyników badań przeprowadzonych u odbiorców końcowych pozwoliła na sformułowanie następujących wniosków [Jaworski 2004]:

- czynnikami zewnętrznymi silnie skorelowanymi z zużyciem energii elektrycznej, których związki można zapisać w postaci równań regresyjnych spełniających podane w pracy wymagania dotyczące dopasowania modelu do danych empirycznych są *temperatura* i *wskaźnik cenowy energii elektrycznej* (równania R1 - R11), szczególnie na poziomie odbiorcy finalnego;
- dla stacji transformatorowej związków między przepływem energii elektrycznej, a temperaturą i wskaźnikiem cenowym energii elektrycznej nie udało się zapisać w postaci równań regresyjnych spełniających założenia weryfikacyjne. Prawdopodobnie jest to spowodowane zakłóceniami wywołanymi przyłączaniem nowych odbiorców i jednoczesnym odłączaniem dotychczasowych. Jedni i drudzy nie byli objęci sporządzonym wcześniej harmonogramem badań;
- ilość energii elektrycznej zużytej w *gospodarstwach ogółem* w ciągu dnia zależy od wszystkich pięciu zmiennych objaśniających: *liczby osób*, *powierzchni użytków rolnych*, *liczby zwierząt*, *mocy zainstalowanej urządzeń produkcyjnych*, *mocy zainstalowanej odbiorników w gospodarstwie domowym* (równanie R12);
- nie znaleziono dostatecznie silnego statystycznie związku między zużyciem energii elektrycznej w *gospodarstwach domowych*, a cechami opisującymi te gospodarstwa (liczba osób, moc zainstalowanych odbiorników w domu);
- zużycie energii elektrycznej w *gospodarstwach rolnych* w dzień i energii całkowitej dostatecznie dokładnie opisują równania regresji wielomianowej trzech zmiennych objaśniających, mianowicie: *liczby osób*, *powierzchni*

*użytków rolnych, mocy zainstalowanej urządzeń produkcyjnych (równania R13 - R14);*

- nie znaleziono związków statystycznie wystarczających do opisanego zależności między zużyciem energii elektrycznej w *gospodarstwach rolnych do 7 ha*, a rozpatrywanymi cechami;
- wyznaczono równania regresji wielomianowej opisujące pełne zużycie energii elektrycznej w *gospodarstwach rolnych powyżej 7 ha* (równania R15 - R17).

Uzyskane równania regresyjne opisują jedynie mały wycinek systemu elektroenergetycznego, ale mogą być pomocne do wyznaczania bieżących i przyszłych potrzeb elektroenergetycznych terenów wiejskich.

### **Bibliografia**

Jaworski J., Piechocki J. 2000a. Wpływ restrukturyzacji gospodarki na zużycie energii elektrycznej przez odbiorców wiejskich. *Zeszyty Naukowe Kaliningradzkiego Uniwersytetu Technicznego. Elektrooborudowanie sudow i elektroenergetyka, Kaliningrad 2000, 41-48.*

Jaworski J., Piechocki J. 2000b. Zużycie energii elektrycznej przez odbiorców wiejskich. *Inżynieria Rolnicza 8, 273-281.*

Jaworski J. 2004. Wpływ wybranych czynników na wielkość i strukturę zużycia energii elektrycznej w gospodarstwach rolnych wybranego regionu. Praca doktorska, Uniwersytet Warmińsko-Mazurski w Olsztynie.

Knaga J. 2003. Prognozowanie zapotrzebowania na energię elektryczną wiejskich odbiorców w warunkach rynkowych. Praca doktorska, Akademia Rolnicza w Krakowie.

Trojanowska M. 1996. Metoda prognozowania elektroenergetycznych potrzeb wsi i rolnictwa. *Zeszyty Naukowe AR, rozprawy 211.*

Trojanowska M. 2002. Analiza popytu na energię elektryczną odbiorców wiejskich. *Wiadomości Elektrotechniczne 10-11, 403-405.*

**EFFECT OF SOME FACTORS ON THE AMOUNT  
AND STRUCTURE OF ELECTRIC POWER CONSUMPTION  
IN RURAL HOUSEHOLDS**

**Summary**

Based on the experiments made, a regressive model of usage of medium voltage distribution line, supplying rural areas, was created and verified later on, to evaluate its match to the empirical data obtained. In the paper, on the basis of correlation and regression analyses, relationships have been established between the level and structure of electric power consumption by individual groups of rural subscribers, and the external factors, beyond their control, and factors describing such households. Such relationships have been recorded in a form of seventeen regressive equations, making up the model of medium voltage line occupancy model.

**Key words:** agriculture, power engineering, electric power distribution system, farm, electric power consumption