

*Małgorzata Trojanowska*

**WYKORZYSTANIE TEORII  
CHAOSU ZDETERMINOWANEGO  
W PROGNOZOWANIU KROKOWYM  
ROCZNEGO ZUŻYCIA ENERGII ELEKTRYCZNEJ  
PRZEZ ODBIORCÓW WIEJSKICH**

**Streszczenie**

W pracy przedstawiono wyniki prognoz krokowych rocznego zużycia energii elektrycznej wyznaczonych z wykorzystaniem modeli wywodzących się z teorii chaosu zdeterminowanego, tj. modelu opartego na wymiarze fraktalnym, modelu logistycznego według Prigogine'a oraz modelu krzyżowania heurystycznego. Prognozy dotyczyły odbiorców wiejskich, a wyznaczono je dla terenów znajdujących się w obszarze obsługi energetycznej czterech przedsiębiorstw trudniących się dystrybucją energii elektrycznej. Ocenę jakości prognoz przeprowadzono, wykorzystując absolutne błędy prognoz wygasłych. Wartości błędów prognoz wygasłych wyznaczonych na podstawie modeli wywodzących się z teorii chaosu zdeterminowanego wyniosły od 2,3 do 4,7% i świadczą o przydatności zaprezentowanych w pracy modeli do predykcji krokowej zużycia energii elektrycznej przez odbiorców wiejskich z wyprzedzeniem rocznym. Szczególnie przydatny do tych celów okazał się model prognostyczny według Prigogine'a.

**Słowa kluczowe:** energia elektryczna, prognoza, teoria chaosu zdeterminowanego

## WPROWADZENIE

Przez wiele lat w modelach prognostycznych globalnego zapotrzebowania energii elektrycznej roczne jej zużycie skutecznie objaśniano za pomocą produktu krajowego brutto i liczby ludności. Obecnie, wobec braku korelacji pomiędzy liczbą ludności a zużyciem energii elektrycznej i potrzebą opracowywania prognoz dla obszarów administracyjnych mniejszych od obszaru państwa, jedyną wiarygodną i łatwo dostępną zmienną egzogeniczną stała się historia procesu tego zużycia. Jednakże występujące w kraju szybkie i trudne do przewidzenia zmiany we wszystkich dziedzinach działalności człowieka znacznie utrudniają predykcję na podstawie analizy danych z przeszłości prognozowanego procesu. Skłania to prognostyków do stosowania metod, które dają dobre wyniki prognozowania w warunkach turbulentnych, wśród których na szczególną uwagę zasługują metody oparte na teorii chaosu zdeterminowanego.

## CEL I PRZEDMIOT PRACY

Celem pracy było przedstawienie wyników prognoz krokowych rocznego zużycia energii elektrycznej, wyznaczonych z wykorzystaniem modeli wywodzących się z teorii chaosu zdeterminowanego, tj. modelu opartego na wymiarze fraktalnym, modelu logistycznego według Prigogine'a oraz modelu krzyżowania heurystycznego.

Prognozy dotyczyły odbiorców wiejskich, a wyznaczono je dla terenów znajdujących się w obszarze obsługi energetycznej czterech przedsiębiorstw trudniących się dystrybucją energii elektrycznej. Przedsiębiorstwa oznaczono symbolami P1, P2, P3 i P4, a obsługiwały one w roku 2003 odpowiednio 148, 220, 301 i 354 tys. wiejskich odbiorców, których roczne zużycie wynosiło średnio 2,2, 2,4, 3,0 i 2,1 MWh energii elektrycznej.

## WYNIKI BADAŃ

**Model oparty na wymiarze fraktalnym.** Fraktale są to obiekty, których dowolnie małe kawałki mają kształt podobny do całości. Własność ta nazywa się samopodobieństwem. Analogicznie można określić procesy samopodobne przebiegające w czasie. Predykcja krokowa samopodobnej losowej funkcji czasu, za jaką można uznać roczne zużycie energii elektrycznej, zakłada skorelowanie wartości tych

zmiennych w roku  $t$  i  $t+1$ , a najprostszy jej model ma postać [Prognozowanie w elektroenergetyce... 2002]:

$$\hat{X}_{t+1} = X_t \cdot \frac{\sum_{i=2}^t X_i \cdot X_{i-1}}{\sum_{i=2}^t X_{i-1}^2} \quad (1)$$

gdzie:

$\hat{X}_{t+1}$  – prognoza zużycia energii elektrycznej na rok  $t+1$  [GWh],  
 $X_t$  – zużycie energii elektrycznej w roku  $t$  [GWh].

**Model logistyczny.** Na podstawie przytoczonego przez Prigogine’a równania logistycznego [Prigogine, Stengers 1990], roczne zużycie energii elektrycznej można zapisać w postaci [Dobrzańska 1993]:

$$\hat{X}_{t+1} = X_t + r \cdot X_t \cdot \left(1 - \frac{X_t}{K}\right) \quad (2)$$

gdzie:

$r$  – współczynnik szybkości wzrostu,  
 $K$  – pułap rozwoju,  
 pozostałe oznaczenia jak we wzorze 1.

Zachowanie się procesu zależy od wartości  $r$  i stosunku  $K$  do  $X$  w chwili początkowej. W pracy parametry  $K$  i  $r$  wyznaczano iteracyjnie na podstawie statystyki rocznego zużycia energii elektrycznej. Z ciągu uczącego pobierano wartości oddalone od siebie o 1 rok. Iteracje rozpoczynano wstawiając  $K$  równe największemu rocznemu zużyciu energii z historii procesu, a kończono gdy różnica kolejnych wartości  $K$  była mniejsza od  $1 \cdot 10^{-6}$ .

**Model krzyżowania heurystycznego.** Model krzyżowania heurystycznego jest modelem rekurencyjnym o postaci [Prognozowanie w elektroenergetyce... 2002]:

$$\alpha_{t+1} = r \cdot (\alpha_t - \alpha_{t-1}) + \alpha_t \quad 0 \leq r \leq 1 \quad (3)$$

$$\hat{X}_{t+1} = (1 + \alpha_{t+1}) \cdot X_t \quad (4)$$

gdzie:

$\alpha_{t+1}$  – operator krzyżowania heurystycznego,

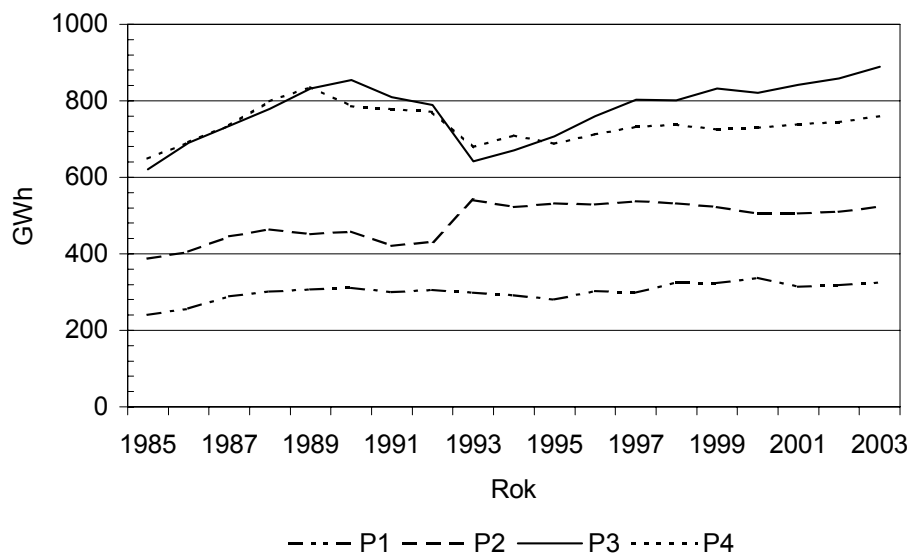
$r$  – parametr wyznaczany z ciągu uczącego,

$$\alpha_t = \frac{X_t - X_{t-1}}{X_{t-1}},$$

pozostałe oznaczenia jak we wzorze 1.

Dla wartości  $r > 1$  przyjmowano w prognozie  $\hat{r} = 1$ , zaś dla  $r < 0$   $\hat{r} = 0$ .

Na rysunku 1 przedstawiono przebiegi rocznego zużycia energii elektrycznej w latach 1985–2003 na terenach wiejskich obsługiwanych przez analizowane przedsiębiorstwa energetyczne.



**Rysunek 1.** Przebiegi rocznego zużycia energii elektrycznej w latach 1985–2003 na terenach wiejskich znajdujących się w obszarze obsługi energetycznej wybranych przedsiębiorstw

**Figure 1.** Characteristics of annual electric power consumption between 1985–2003 in the rural areas located in the power service region of the selected Companies

Wielkości tego zużycia są wprawdzie różne, bo też i różny jest zasięg działania poszczególnych przedsiębiorstw, ale w charakterze

zmian zapotrzebowania można dopatrzeć się pewnych prawidłowości. Po rozpoczęciu w Polsce reform społeczno-gospodarczych, tj. po roku 1990, na terenach wiejskich obsługiwanych przez wszystkie analizowane przedsiębiorstwa energetyczne nastąpił spadek zużycia energii, przy czym wielkość tego spadku i czas trwania były różne. Po okresie spadku zużycia zapotrzebowanie na energię elektryczną systematycznie wzrasta tak, że obecnie jest ono wszędzie większe aniżeli w roku 1985.

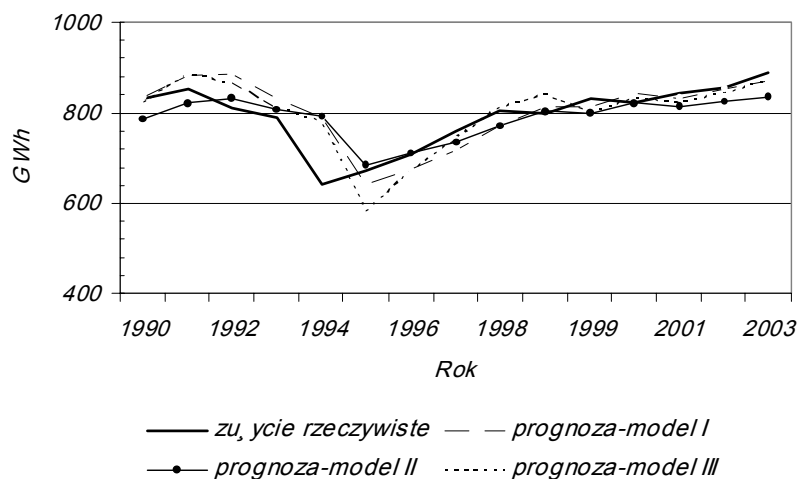
Na podstawie zależności 1–4 wyznaczono prognozy krokowe rocznego zużycia energii na terenach wiejskich obsługiwanych przez poszczególne analizowane przedsiębiorstwa. Ocenę jakości prognoz przeprowadzono na podstawie wartości absolutnych błędów prognoz wygasłych [Prognozowanie gospodarcze... 1999], jako najczęściej stosowanych mierników dopuszczalności prognoz zapotrzebowania na energię elektryczną. Wartości tych błędów zestawiono w tabeli 1.

**Tabela 1.** Błędy prognoz wygasłych wyznaczonych w oparciu o modele wywodzące się z teorii chaosu zdeterminowanego

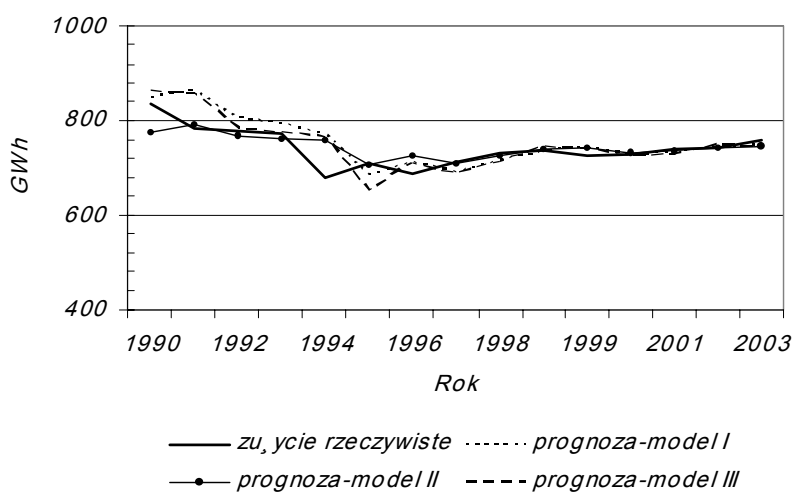
**Table 1.** The errors of expired forecasts set based on the models developed according to the deterministic chaos theory

Przedsiębiorstwo	Błąd [%]		
	Model I oparty na wymiarze fraktalnym	Model II logistyczny według Prigogine'a	Model III krzyżowania heurystycznego
P1	3,88	3,18	3,34
P2	4,07	3,67	4,07
P3	4,63	4,49	4,74
P4	3,26	2,34	3,44

Najmniejsze błędy uzyskano dla prognoz wyznaczonych dla odbiorców z rejonu działania przedsiębiorstwa P4, a największe z rejonu działania zakładu P3. Porównanie wartości rzeczywistych z prognozami zużycia energii elektrycznej dla przedsiębiorstwa P3 i P4 przedstawiono na rysunku 2 i 3.



**Rysunek 2.** Prognozy wygasłe rocznego zużycia energii elektrycznej na terenach wiejskich obsługiwanych przez przedsiębiorstwo P3  
**Figure 2.** Expired forecasts for the annual electric power consumption in the rural areas operated by P3 Company



**Rysunek 3.** Prognozy wygasłe rocznego zużycia energii elektrycznej na terenach wiejskich obsługiwanych przez przedsiębiorstwo P4  
**Figure 3.** Expired forecasts for the annual electric power consumption in the rural areas operated by P4 Company

## PODSUMOWANIE

Przeprowadzone obliczenia wykazały przydatność modeli wywodzących się z teorii chaosu zdeterminowanego do predykcji krokowej rocznego zużycia energii elektrycznej na terenach wiejskich, gdyż błędy prognoz wygasłych nie przekraczające 5% są zadowalające dla prognostyków przy przewidywaniu zapotrzebowania z wyprzedzeniem rocznym. Do tego przy gwałtownych zmianach wielkości zużycia energii błędy prognoz w momentach tych zmian są mniejsze niż przy wykorzystaniu klasycznych modeli prognostycznych [Trojanowska, Knaga 2004].

Szczególnie przydatny w prognozowaniu krokowym zapotrzebowania energii elektrycznej przez odbiorców wiejskich okazał się model Prigogine'a. Pomimo różnic w charakterze i dynamice zmian zużycia pomiędzy analizowanymi przedsiębiorstwami, w każdym przypadku prognozy wyznaczone w oparciu o ten model okazały się najlepsze.

## BIBLIOGRAFIA

- Dobrzańska I. *Równanie Prigogine'a jako narzędzie prognozy długoterminowej zapotrzebowania na energię elektryczną*. Materiały Konferencji naukowej APE'93 pt. Aktualne problemy w elektroenergetyce, Gliwice-Kozubnik 1993, s. 143–151.
- Prigogine I., Stengers I. *Z chaosu ku porządkowi*, PIW, Warszawa 1990.
- Prognozowanie gospodarcze. Metody i zastosowania*. Red. M. Cieślak. Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa 1999.
- Prognozowanie w elektroenergetyce. Zagadnienia wybrane*. Red. I. Dobrzańska. Wydawnictwo Pol. Częstochowskiej, Częstochowa 2002.
- Trojanowska M., Knaga J. *Wykorzystanie wybranych metod prognozowania gospodarczego do predykcji zapotrzebowania na energię elektryczną odbiorców wiejskich*. Inżynieria Rolnicza nr 2 (57)/2004, s. 295–300.

Dr hab. inż. Małgorzata Trojanowska  
Zakład Energetyki Rolniczej  
Akademia Rolnicza w Krakowie  
ul. Balicka 104, 30-149 Kraków

Recenzent: Prof. dr hab. Janusz Budny

*Małgorzata Trojanowska*

**THE USE OF DETERMINISTIC CHAOS THEORY  
IN THE STEP-BY-STEP FORECASTING  
OF ANNUAL ELECTRIC POWER CONSUMPTION  
BY RURAL CONSUMERS**

**SUMMARY**

The paper describes the results of the step-by-step forecasts of annual electric power consumption set out using the models developed based on the deterministic chaos theory i.e. model based on the fractal dimension, Prigogine's logistical model and heuristic crossing model. The forecasts related to rural consumers, and were determined for the areas located within the power service region of four Electricity Distribution Companies.

The forecast quality was evaluated based on the absolute errors of expired forecasts. The values of errors of expired forecasts set based on the models developed according to the deterministic chaos theory are 2,3 to 4,7% and prove the usefulness of the models for incremental prediction of annual electric power consumption by rural consumers presented in the paper. Particularly useful for this purposes was the Prigogine's prognostic model.

**Key words:** electric energy, forecast, theory of deterministic chaos