

Małgorzata Trojanowska
Katedra Energetyki Rolniczej
Akademia Rolnicza w Krakowie

MODELE PROGNOSTYCZNE SPRZEDAŻY ENERGII ELEKTRYCZNEJ ODBIORCOM WIEJSKIM OPARTE NA WYMIARZE FRAKTALNYM, LOGISTYCZNE I KRZYŻOWANIA HEURYSTYCZNEGO

Streszczenie

W pracy sprawdzano przydatność wybranych modeli wywodzących się z teorii chaosu zdeterminowanego do prognozowania rocznej sprzedaży energii elektrycznej na terenach wiejskich. Ze względu na zaburzenia procesu zapotrzebowania na energię, prognozy sporządzano na sumach kilkuletnich. Uzyskane w ten sposób prognozy cechuje duża dokładność (średnie absolutne błędy 1,2-2,6%), którą można jeszcze zwiększyć poprzez opracowanie prognozy kombinowanej.

Słowa kluczowe: energia elektryczna, prognoza, teoria chaosu zdeterminowanego

Wprowadzenie

Dążenie do uzyskania coraz bardziej wiarygodnych prognoz pociąga za sobą rozwój metod predykcji. Początkowo do prognozowania zapotrzebowania na energię elektryczną wykorzystywano proste modele ekstrapolacyjne, później ekonometryczne modele przyczynowo-skutkowe, a obecnie dominującą klasą modeli prognostycznych są modele techniczno-ekonomiczne end-use, oparte na koncepcji bilansowania potrzeb energetycznych. Ponieważ modele te wymagają szczególnie rozbudowanej bazy danych, prognostycy zmuszeni są coraz częściej do zaniechania ich opracowywania i powrotu do mniej wymagających modeli ekonometrycznych, a nawet do modeli opartych wyłącznie na analizie szeregów czasowych. Nie musi to jednak oznaczać powrotu do klasycznych metod prognozowania. Można przy opracowywaniu prognoz wykorzystywać nowe narzędzia metodologiczne jak np. modele wywodzące się z teorii chaosu zdeterminowanego.

Cel i zakres pracy

Celem pracy było sprawdzenie przydatności modeli wywodzących się z teorii chaosu zdeterminowanego, w szczególności modeli opartych na wymiarze fraktalnym, modeli logistycznych według Prigogine'a, modeli logistycznych według Schustera i modeli krzyżowania heurystycznego do lokalnego prognozowania zapotrzebowania energii elektrycznej na terenach wiejskich.

Cel pracy zrealizowano opracowując modele prognostyczne rocznej sprzedaży energii elektrycznej odbiorcom wiejskim na terenach Polski południowej. Jako ciąg uczący dla prognoz wybrano szereg czasowy zapotrzebowania na energię elektryczną w latach 1981-2004, który charakteryzował się zaburzeniami, gdyż modelowanie takich przebiegów przy wykorzystaniu metod klasycznych jest obciążone dużymi błędami.

Opis modeli prognostycznych

Model oparty na wymiarze fraktalnym

W pracy do prognozowania sprzedaży energii elektrycznej, którą można uznać za samopodobną losową funkcję czasu, wykorzystano model oparty na wymiarze fraktalnym o postaci [Dobrzańska 2002]:

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

gdzie:

\hat{X}_{t+1} – prognoza sprzedaży energii elektrycznej na rok t+1,
 X_t – sprzedaż energii elektrycznej w roku t.

Modele logistyczne

Model według Prigogine'a

W oparciu o przytoczone przez Prigogine'a [1980] równanie logistyczne rozwoju populacji, model prognostyczny zużycia energii elektrycznej można zapisać w postaci:

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

gdzie:

r – współczynnik szybkości wzrostu,

K – pułap rozwoju.

Zachowanie się procesu zależy od wartości r i stosunku K do X w chwili początkowej [Dobrzańska 2002]. W pracy parametry K i r wyznaczano iteracyjnie na podstawie statystyk rocznej sprzedaży energii elektrycznej.

Model według Schustera

Model predykcyjny sprzedaży energii elektrycznej w oparciu o odwzorowanie Schustera [1993], wywodzące się z analizy zachowań chaotycznych układu dynamicznego jakim jest okresowo uderzany z pewną siłą rotor, przedstawiają równania 3-6 [Dobrzańska 2002]:

$$\hat{X}_{t+1} = (1 + \alpha_{t+1}) X_o \quad (3)$$

$$\alpha_{t+1} = r\alpha_t(1 - \alpha_t) \quad (4)$$

$$\alpha_t = \frac{X_t - X_{t-1}}{X_{t-1}} \quad (5)$$

$$\alpha_{t+1} = \frac{X_{t+1} - X_{t-1}}{X_{t-1}} \quad (6)$$

gdzie:

X_o – roczna sprzedaż energii elektrycznej z historii procesu poprzedzającego moment startu do prognozy,

α_t, α_{t+1} , – względne przyrosty sprzedaży energii elektrycznej,

r – współczynnik szybkości wzrostu wyznaczany z ciągu uczącego.

Model krzyżowania heurystycznego

Model krzyżowania heurystycznego ma postać analogiczną do odwzorowania według Schustera, z tym że względny przyrost α_{t+1} opisany zależnością 4 zastępuje się operatorem [Dobrzańska 2002]:

$$\alpha_{t+1} = r(\alpha_t - \alpha_{t-1}) + \alpha_t \quad 0 \leq r \leq 1 \quad (7)$$

Przy czym w prognozach przyjmuje się dla $r > 1$ wartość współczynnika szybkości wzrostu równą 1 oraz równą 0 dla $r < 0$, zaś α i X definiuje analogicznie jak w modelu logistycznym według Schustera.

Wyniki badań

Modele prognostyczne są bardzo czułe na dynamikę procesu w przeszłości. W związku z czym istnieje konieczność opracowania wielu prognoz, by można było ocenić czy w statystyce zużycia energii elektrycznej czają się załóżki hossy lub bessy. Jeżeli przebieg czasowy procesu jest zaburzony zaleca się dodatkowo opracowywanie prognoz na sumach kilkuletnich, które następnie wyrównuje się odpowiednim algorytmem [Dobrzańska 2002].

W pracy, w oparciu o przedstawione w poprzednim rozdziale równania rekurencyjne 1-7, sporządzano 10-letnie prognozy wygasłe na sumach 3, 4 i 5-letnich, uzyskując w ten sposób dwanaście prognoz wstępnych (rys. 1), z których następnie usunięto te, które wykazywały zbytne odchylenia od prognozowanego przebiegu.

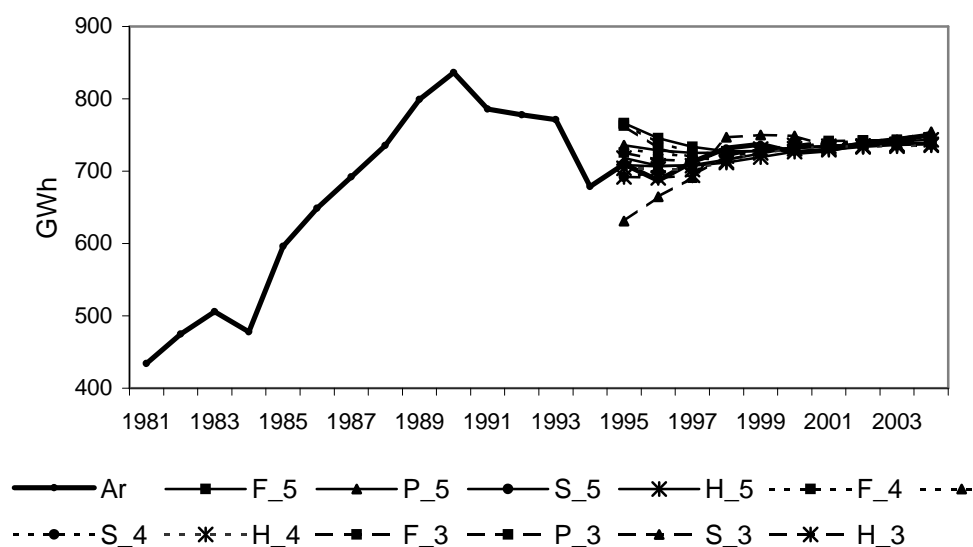
W ramach oceny jakości prognoz analizowano wartości średnie absolutnych procentowych błędów [Dittman 2003], otrzymanych przez porównanie wyników wykonanych procedur prognostycznych z rzeczywistymi realizacjami procesu, jako najczęściej stosowanych mierników dopuszczalności prognoz zapotrzebowania na energię elektryczną. Wartości tych błędów zestawiono w tabeli 1.

Tabela 1. Średnie absolutne błędy prognoz wygasłych rocznej sprzedaży energii elektrycznej w latach 1995-2004

Table 1. Average absolute errors of expired forecasts for annual electric energy sale in the years 1995-2004

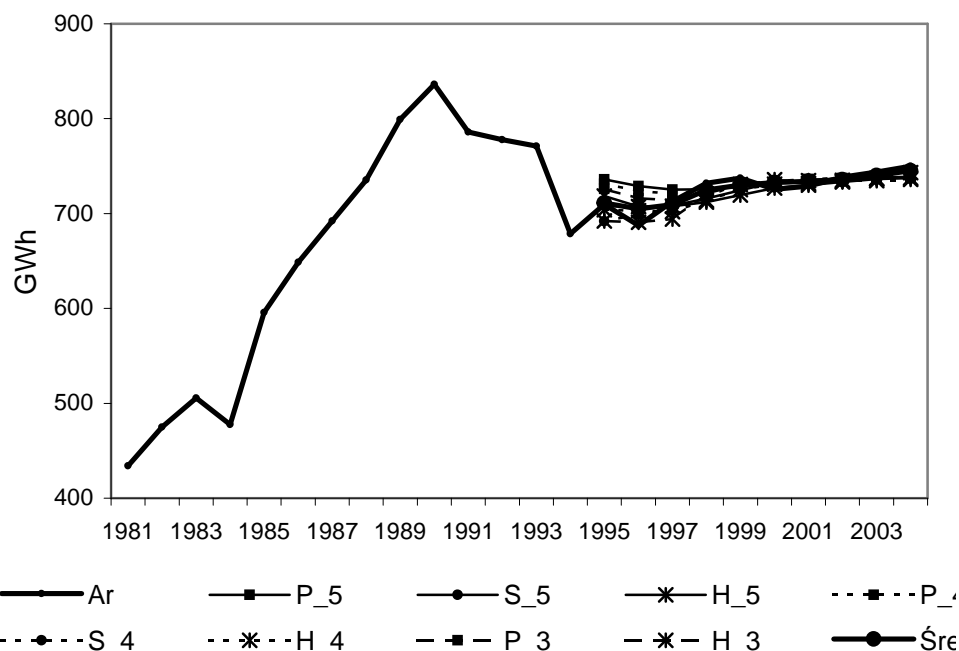
Model	F_5	P_5	S_5	H_5	F_4	P_4	S_4	H_4	F_3	P_3	S_3	H_3
Błąd [%]	2,4	1,8	1,2	1,4	2,4	1,6	1,4	1,4	2,3	1,3	2,6	1,2

Analiza przebiegów prognoz wygasłych i ich błędów wykazała najmniejszą przydatność do prognozowania modeli opartych na wymiarze fraktalnym oraz modelu logistycznego S_3 według Schustera. Prognozy wykonane w oparciu o te modele usunięto z wiązki prognoz, a z pozostałych utworzono przebieg średni (rys. 2). Otrzymaną w ten sposób prognozę kombinowaną charakteryzuje bardzo niewielki błąd (0,8%).



Rys. 1. Roczna sprzedaż energii elektrycznej w latach 1981-2004 oraz prognozy wygasłe rocznej sprzedaży w latach 1995-2004, gdzie: Ar – sprzedaż rzeczywista, F_5, F_4, F_3 – prognozy na podstawie modelu opartego na wymiarze fraktalnym na sumach 5, 4, 3- letnich, P_5, P_4, P_3 – prognozy na podstawie modelu wg Prigogine’a na sumach 5, 4, 3- letnich, S_5, S_4, S_3 – prognozy na podstawie modelu wg Schustera na sumach 5, 4, 3- letnich, H_5, H_4, H_3 – prognozy na podstawie modelu krzyżowania heurystycznego na sumach 5, 4, 3- letnich

Fig. 1. Annual sale of electric energy in the years 1981-2004 and expired forecasts of annuals sale in the years 1995-2004, where: Ar – actual sales volume, F_5, F_4, F_3 – forecasts based on model according to fractal dimension on sums 5, 4, 3-year, P_5, P_4, P_3 – forecasts based on model according to Prigogine on sums 5, 4, 3-year, S_5, S_4, S_3 – forecasts based on model according to Schuster on sums 5, 4, 3-year, H_5, H_4, H_3 – forecasts based on heuristic crossing model on sums 5, 4, 3-year

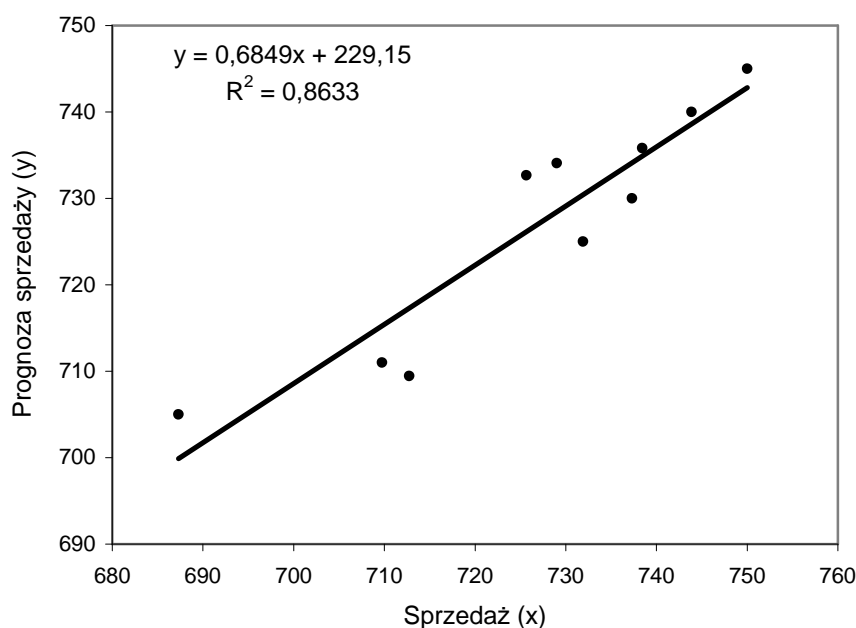


Rys. 2. Roczna sprzedaż energii elektrycznej w latach 1981-2004 oraz prognozy wygasłe rocznej sprzedaży w latach 1995-2004, gdzie: Ar – sprzedaż rzeczywista, P_5, P_4, P_3 – prognozy na podstawie modelu wg Prigogine’a na sumach 5, 4, 3- letnich, S_5, S_4 – prognozy na podstawie modelu wg Schustera na sumach 5, 4- letnich, H_5, H_4, H_3 – prognozy na podstawie modelu krzyżowania heurystycznego na sumach 5, 4, 3- letnich, Średnia – prognoza uśredniona

Fig. 2. Annual sale of electric energy in the years 1981-2004 and expired forecasts of annuals sale in the years 1995-2004, where: Ar – actual sales volume, P_5, P_4, P_3 – forecasts based on model according to Prigogine on sums 5, 4, 3-year, S_5, S_4 – forecasts based on model according to Schuster on sums 5, 4-year, H_5, H_4, H_3 – forecasts based on heuristic crossing model on sums 5, 4, 3-year, Mean – averaged forecast

Dobrym miernikiem zbieżności danych rzeczywistych i prognozowanych jest także kwadrat współczynnika korelacji Pearsona (R^2). Odzwierciedla on stopień liniowej zależności pomiędzy dwoma zbiorami danych. Korelację pomiędzy rzeczywistą

sprzedażą energii elektrycznej a sprzedażą prognozowaną uśrednioną przedstawia rysunek 3, potwierdzając dużą dokładność prognozy kombinowanej.



Rys. 3. Korelacja pomiędzy sprzedażą energii elektrycznej a prognozą kombinowaną tej sprzedaży

Fig. 3. Correlation between the sale of electric energy and combined forecasted of this sale

Podsumowanie

Średnie absolutne błędy prognoz wygasłych rocznej sprzedaży energii elektrycznej odbiorcom wiejskim, wyznaczone w oparciu o modele wywodzące się z teorii chaosu zdeterminowanego na sumach kilkuletnich, wahają się od 1,6% do 2,6% i są kilkakrotnie mniejsze od błędów prognoz wyznaczonych metodami klasycznymi [Trojanowska i Knaga 2005].

Dokładność predykcji można zwiększyć opracowując prognozę kombinowaną jako średnią wiązki prognoz wyznaczonych w oparciu o teorię chaosu zdeterminowanego, po wcześniejszym usunięciu z niej prognoz najbardziej odstających.

Bibliografia

Dittman P. 2003. Prognozowanie w przedsiębiorstwie. Oficyna Ekonomiczna, Kraków.

Dobrzańska I. (red.). 2002. Prognozowanie w elektroenergetyce. Zagadnienia wybrane. Wyd. Pol. Częstochowskiej, Częstochowa.

Prigogine I. 1980. From being to becoming. Time and complexity in the physical sciences. W.F. Freeman, New York.

Schuster H.G. 1984. Deterministic chaos. An introduction. Physik Verlag, Weinheim.

Trojanowska M., Knaga J. 2005. Wykorzystanie wybranych metod prognozowania gospodarczego do predykcji zapotrzebowania na energię elektryczną odbiorców wiejskich. Inżynieria Rolnicza 2 (57), 295-300.

PROGNOSTIC MODELS OF ELECTRIC ENERGY SALES TO RURAL CONSUMERS BASED ON FRACTAL DIMENSION, LOGISTIC AND HEURISTIC CROSSING MODELS

Summary

The work includes verification of usefulness of selected models derived from chaos theory determined for forecasting annual electric energy sale in rural areas. Due to disturbances of the energy consumption process, the forecasts were made based on several years' sums. The forecasts obtained this way are characterized by high accuracy (average absolute errors 1,2-2,6%), which can be increased even more by elaborating a combined forecast.

Key words: electric energy, forecast, determined chaos theory