

Małgorzata Trojanowska*, Jerzy Małopolski**

*Katedra Energetyki Rolniczej

**Katedra Inżynierii Rolniczej i Informatyki
Akademia Rolnicza w Krakowie

ZASTOSOWANIE ROZMYTYCH MODELI RELACYJNYCH DO PREDYKCJI MIESIĘCZNEJ SPRZEDAŻY ENERGII ELEKTRYCZNEJ ODBIORCOM WIEJSKIM

Streszczenie

W pracy wykorzystano oparte na teorii zbiorów rozmytych modele relacyjne do prognozowania miesięcznego zapotrzebowania na energię elektryczną odbiorców wiejskich. Posłużono się przy tym danymi dotyczącymi sprzedaży energii elektrycznej przez wybraną spółkę dystrybucyjną odbiorcom wiejskim z obszaru województwa małopolskiego w latach 1993–2002. Przeprowadzone obliczenia wykazały dobrą jakość prognoz opracowanych w oparciu o rozmyte modele relacyjne.

Słowa kluczowe: energia elektryczna, prognoza, rozmyte modele relacyjne

Wprowadzenie

Prognozowanie zapotrzebowania na energię elektryczną jest zadaniem bardzo ważnym dla jej dostawców, a realia rynku energii elektrycznej skłaniają do poszukiwania coraz bardziej wiarygodnych technik prognostycznych. W ostatnim czasie, zarówno w kraju jak i za granicą, coraz powszechniej wykorzystuje się do celów predykcji metody sztucznej inteligencji, zwłaszcza sztuczne sieci neuronowe, gdyż w wielu przypadkach okazują się one bardziej skuteczne aniżeli tzw. metody klasyczne. W ostatnich latach zaczynają się też pojawiać opracowania wykorzystujące do celów prognozowania logikę rozmytą.

Cel i przedmiot pracy

Celem pracy było wykorzystanie do predykcji zapotrzebowania na energię elektryczną logiki rozmytej, a w szczególności rozmytych modeli relacyjnych.

Sprawdzenie przydatności tego typu modeli przedstawiono na przykładzie prognozy miesięcznego zapotrzebowania energii elektrycznej na terenach wiejskich województwa małopolskiego. Oparto się przy tym na danych uzyskanych od wybranej spółki dystrybucyjnej, a dotyczące miesięcznej sprzedaży energii elektrycznej w latach 1993-2002 odbiorcom wiejskim. Odbiorcy ci to w głównej mierze gospodarstwa domowe i rolne (aktualnie 263 tys.). Średnie miesięczne zużycie energii elektrycznej przez wiejskie gospodarstwo kształtowało się w roku 2002 na poziomie 189 kWh i było o ok. 20% większe aniżeli w 1993 r.

Metodyka badań

Najczęściej spotykane modele rozmyte to modele Mamdaniego. Modele te oparte są na zbiorze reguł JEŚLI-TO i stanowią jakościowy opis systemu najbardziej bliski językowi naturalnemu. Stąd wynika ich szerokie zastosowanie, zwłaszcza w układach regulacji. Reguły w tych modelach są traktowane jako całkowicie prawdziwe, co może być przeszkodą w zbudowaniu modelu prawidłowo dopasowanego do danych empirycznych. Jest to jeden z powodów ich niewielkiej przydatności do prognozowania zapotrzebowania na energię elektryczną.

Większą dokładnością cechują się rozmyte modele relacyjne wprowadzone przez Pedrycza [Pedrycz 1984, 1993]. W modelach tych poszczególnym regułom przypisuje się odpowiedni współczynnik ufności przyjmujący wartości z przedziału domkniętego $[0;1]$. Bazę reguł można napisać przedstawiając ich konkluzje w alternatywnej postaci:

$$R1 : \text{JEŚLI } (x \text{ jest } A_1) \text{ TO } (y \text{ jest } \mu_{11}B_1) \text{ LUB } \dots \text{ LUB } (y \text{ jest } \mu_{1r}B_r), \quad (1)$$

.
.
.

$$Rm: \text{JEŚLI } (x \text{ jest } A_m) \text{ TO } (y \text{ jest } \mu_{m1}B_1) \text{ LUB } \dots \text{ LUB } (y \text{ jest } \mu_{mr}B_r),$$

gdzie:

x – wejście systemu,

y – wyjście systemu,

A_1, \dots, A_m – zbiory rozmyte odniesienia w przestrzeni wejściowej X,

B_1, \dots, B_r – zbiory rozmyte odniesienia w przestrzeni wyjściowej Y,

μ_{ij} – współczynniki ufności ($i = 1, \dots, m; j = 1, \dots, r$).

Wyjście y systemu oblicza się za pomocą metody wysokości. Zapis konkluzji typu y jest $\mu_{ij}B_j$ oznacza, że podczas defuzyfikacji stopień aktywacji zbioru B_j należy pomnożyć przez współczynnik ufności μ_{ij} . Ze względu na charakter zmienności

miesięcznego zapotrzebowania na energię elektryczną budowano rozmyte modele relacyjne opisujące zależność funkcyjną $x_t = f(x_{t-1}, x_{t-12})$, gdzie x_t jest zużyciem energii elektrycznej w t-tym miesiącu. Rozpatrywano modele systemów z dwoma wejściami i jednym wyjściem (tzw. systemy MISO). W przestrzeniach wejściowych wyznaczono podzbiory rozmyte o trapezowych lub trójkątnych funkcjach przynależności spełniające warunek podziału jedności (suma przynależności każdego elementu z przestrzeni wejściowej równa się 1), a w przestrzeni wyjściowej określono singletony (w jednym punkcie wartość funkcji przynależności singletonu jest równa 1, a w pozostałych 0).

W pracy do optymalizacji modeli stosowano metodę gradientów sprzężonych. W celu przyspieszenia procesu minimalizacji błędu modelu optymalizowano przemienne parametry wyznaczające zbiory rozmyte w przestrzeniach wejściowych i wyjściowej oraz współczynniki ufności. Do wyboru parametrów startowych wykorzystano jednowymiarową metodę c-środków [Findeisen i in. 1977; Osowski 1996; Piegat 1999].

Spośród 120 danych dotyczących miesięcznej sprzedaży energii elektrycznej odbiorcom wiejskim, do budowy modeli prognostycznych i sprawdzenia dopuszczalności prognoz wyznaczonych w oparciu o te modele wykorzystano 108. 12 ostatnich danych użyto zaś do sprawdzenia trafności prognoz.

Stopień trafności prognoz mierzono za pomocą średniego absolutnego błędu procentowego prognoz ex post $MAPE_1$ (mean absolute percentage error) obliczonych na okresy $n+1, \dots, T$ [Dittman 2003]:

$$MAPE_1 = \frac{1}{T-n} \sum_{t=n+1}^T \frac{|x_t - \hat{x}_t|}{x_t} 100 \quad (2)$$

gdzie:

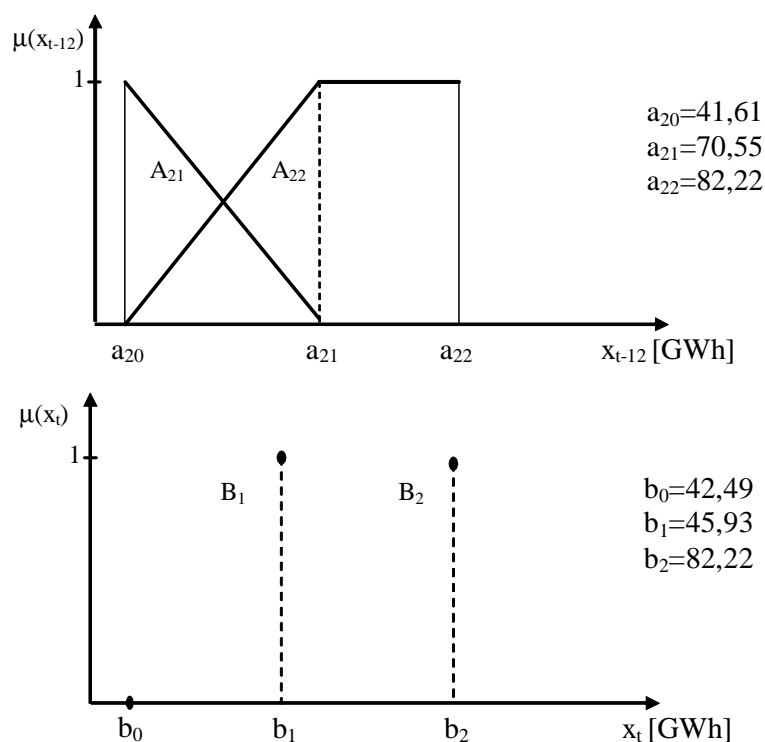
- x_t – rzeczywista wartość zmiennej prognozowanej w okresie t,
- \hat{x}_t – przewidywana wartość zmiennej prognozowanej na okres t,
- n – liczba obserwacji użyta do wyznaczenia prognozy,
- $n+1, \dots, T$ – przedział empirycznej weryfikacji prognoz.

Z kolei dopuszczalność prognoz określano przez wyznaczenie błędów ex post $MAPE_2$ prognoz wyliczonych na okresy wcześniejsze niż okres ocenianej prognozy, korzystając z zależności [Dittman 2003]:

$$MAPE_2 = \frac{1}{n} \sum_{t=1}^n \frac{|x_t - \hat{x}_t|}{x_t} 100 \quad (3)$$

Wyniki badań

Opracowując rozmyte modele relacyjne zmieniano liczbę danych dotyczących miesięcznego zużycia energii elektrycznej i liczbę reguł opisujących modele. Wyznaczono sześć modeli *rel9*, ..., *rel4*, wykorzystując do obliczeń dane dotyczące miesięcznej sprzedaży energii elektrycznej odpowiednio z ostatnich 9, 8, 7, 6, 5 i 4 lat. Modele opisano za pomocą czterech reguł, gdyż we wszystkich przypadkach takie modele okazały się najlepsze. Na rysunku 1 podano przykładowo przebiegi funkcji przynależności i bazę reguł dla modelu *rel7*.

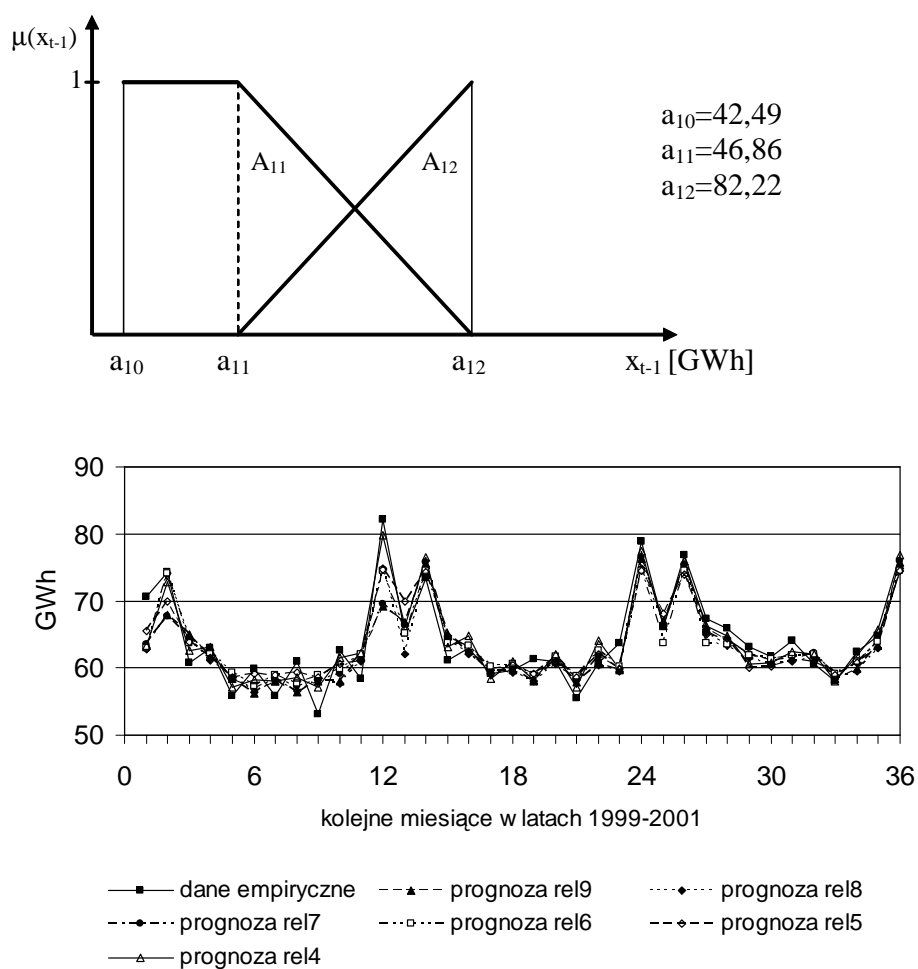


- R1: JEŚLI (x_{t-1} jest A_{11}) I (x_{t-12} jest A_{21}) TO (x_t jest $0,9755B_1$)
 R2: JEŚLI (x_{t-1} jest A_{11}) I (x_{t-12} jest A_{22}) TO (x_t jest $0,2311B_2$)
 R3: JEŚLI (x_{t-1} jest A_{12}) I (x_{t-12} jest A_{21}) TO (x_t jest $0,6102B_2$) LUB (x_t jest $0,798B_2$)
 R4: JEŚLI (x_{t-1} jest A_{12}) I (x_{t-12} jest A_{22}) TO (x_t jest $0,0637B_2$) LUB (x_t jest $0,083B_2$)

Rys. 1. Przebiegi funkcji przynależności i baza reguł dla modelu *rel7*

Fig. 1. Characteristics of adherence function and base of rules for model *rel7*

Ponieważ zazwyczaj wraz ze wzrostem długości okresu prognozowanego rosną błędy predykcji, do porównania wiarygodności prognoz wykorzystano dane z lat 1999-2001 (36 danych). Różnice pomiędzy rzeczywistym przebiegiem zużycia energii elektrycznej, a przebiegami prognozowanymi obrazuje rysunek 2, zaś wartości średnich błędów prognoz wygastłych $MAPE_2$ tabela 1.



Rys. 2. Miesięczna sprzedaż i prognozy wygasłe miesięcznej sprzedaży energii elektrycznej w latach 1999-2001

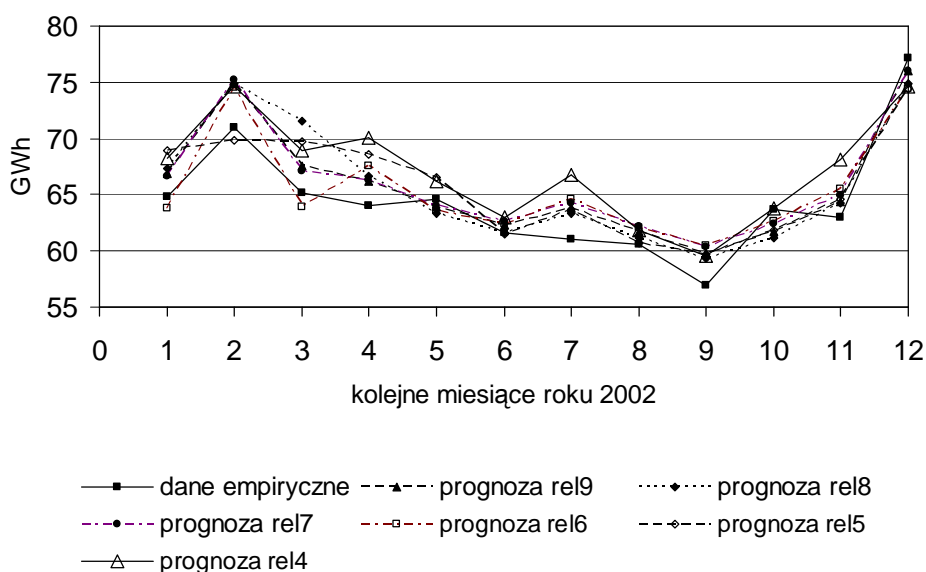
Fig. 2. Monthly sale and expired forecasts for monthly electric energy sale in the years 1999-2001

Tabela 1. Średnie absolutne błędy prognoz wygaśniętych MAPE_2 miesięcznej sprzedaży energii elektrycznej w latach 1999-2001

Table 1. Average absolute errors of expired forecasts MAPE_2 for monthly electric energy sale in the years 1999-2001

Model	rel9	rel8	rel7	rel6	rel5	rel4
MAPE_2	4.08	3.90	3.90	3.70	3.70	2.97

W celu oceny trafności prognoz wyznaczono, na podstawie opracowanych modeli, prognozy sprzedaży energii elektrycznej w poszczególnych miesiącach 2002 roku (rys. 3) oraz wartości błędów MAPE_1, które zestawiono w tabeli 2. Jak wynika z rysunków i tabel najlepsze wyniki uzyskuje się wykorzystując do budowy modeli relacyjnych dane z ostatnich 6 lat.



Rys. 3. Miesięczna sprzedaż i prognozy wygaśnięte miesięcznej sprzedaży energii elektrycznej w roku 2002

Fig. 3. Monthly sale and expired forecasts for monthly electric energy sale in 2002

Tabela 2. Średnie absolutne błędy prognoz wygasłych *MAPE_1* miesięcznej sprzedaży energii elektrycznej w roku 2002

Table 2. Average absolute errors of expired forecasts *MAPE_2* for monthly electric energy sale in 2002

Model	<i>rel9</i>	<i>rel8</i>	<i>rel7</i>	<i>rel6</i>	<i>rel5</i>	<i>rel4</i>
<i>MAPE_1</i>	3,04	3,61	3,2	3,36	3,62	4,8

Podsumowanie

Rozmyte modele relacyjne dobrze odwzorowują analizowany szereg miesięcznej sprzedaży energii elektrycznej odbiorcom wiejskim, czego potwierdzeniem są średnie wartości błędów *MAPE_2* prognoz wygasłych kształtujące się na poziomie 3-4%. Zatem opracowane prognozy można uznać za dopuszczalne, a wyznaczone modele wykorzystać do predykcji miesięcznego zapotrzebowania energii elektrycznej przez analizowanych odbiorców wiejskich, tym bardziej, że wartości błędów *MAPE_1*, będących miarą trafności prognoz, nie przekraczają 5%.

W aktualnej sytuacji gospodarczej do zbudowania modelu rozmytego dającego prognozy miesięcznego zapotrzebowania energii elektrycznej dobrej jakości, scharakteryzowanej dopuszczalnością i trafnością tych prognoz, wystarczają dane z ostatnich 6 lat historii procesu sprzedaży energii elektrycznej.

Bibliografia

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

Findeisen W., Szymanowski J., Wierzbicki A. 1977. Teoria i metody obliczeniowe optymalizacji. WNT Warszawa.

Osowski S. 1996. Sieci neuronowe w ujęciu algorytmicznym. WNT Warszawa.

Pedrycz W. 1984. An identification algorithm in fuzzy relational systems. Fuzzy Sets and Systems, No. 13, pp. 153-167.

Pedrycz W. 1993. Fuzzy control and fuzzy systems. New York: John Wiley and Sons.

Piegat A. 1999. Modelowanie i sterowanie rozmyte. AOW EXIT Warszawa.

**APPLICATION OF FUZZY RELATIONAL MODELS
FOR PREDICTION OF MONTHLY SALE OF ELECTRIC ENERGY
TO RURAL CONSUMERS**

Summary

In the work relational models based on the fuzzy set theory were used to forecast monthly demand for electric energy by rural consumers. The data regarding electric energy sold to rural consumers from the Małopolska province in the period of 1993-2002 by the selected distribution company was used. The performed calculations showed good quality of forecasts drawn up based on fuzzy relational models.

Key words: electric energy, forecast, fuzzy relational models