

# PROGNOZOWANIE ROZMYTE ZAPOTRZEBOWANIA NA ENERGIĘ ELEKTRYCZNĄ NA TERENACH WIEJSKICH W DŁUGIM HORYZONCIE CZASOWYM

Streszczenie

*W pracy zbudowano model rozmyty z wnioskowaniem typu Takagi-Sugeno, o gaussowskich funkcjach przynależności w przestrzeniach wejściowych modeli, do prognozowania lokalnego zapotrzebowania na energię elektryczną odbiorców wiejskich. Ocena jakości modelu, przeprowadzona na podstawie obserwacji przebiegów czasowych prognoz wygasłych zużycia energii elektrycznej i analizy wartości absolutnych błędów tych prognoz, wykazała jego przydatność do predykcji zapotrzebowania na energię elektryczną w długim horyzoncie czasowym.*

Dalszy rozwój polskiej wsi wymaga m. in. zaspokojenia potrzeb odbiorców wiejskich w zakresie zaopatrzenia w energię elektryczną. Odpowiedzialność za zaspokojenie tych potrzeb na szczeblu lokalnym spoczywa, zgodnie z *Prawem energetycznym* [3], na samorządach terytorialnych oraz na spółkach trudniących się dystrybucją energii elektrycznej i wymaga od nich zapewnienia właściwego rozwoju infrastruktury elektroenergetycznej. Rozwój infrastruktury elektroenergetycznej odbywa się w oparciu o długoterminowe prognozy zapotrzebowania energii elektrycznej.

W dążeniu do uzyskania coraz bardziej wiarygodnych prognoz rozwijano metody predykcji, wykorzystując do modelowania zapotrzebowania na energię elektryczną w długich horyzontach czasowych najpierw proste modele ekstrapolacyjne o minimalnych wymaganiach dotyczących danych wejściowych, ekonometryczne modele przyczynowo-skutkowe, a w końcu modele techniczno-ekonomiczne *end-use*. Modele *end-use* są ciągle poddawane modyfikacjom wynikającym z transformacji sektora elektroenergetyki i należą do najczęściej stosowanych w prognozowaniu długoterminowym. Jednak kłopoty z pozyskaniem lub symulacją dostatecznej liczby danych zmuszają coraz częściej do powrotu do mniej wymagających modeli ekonometrycznych, a nawet modeli opartych wyłącznie na analizie szeregów czasowych. Nie musi to jednak oznaczać powrotu do klasycznych metod prognozowania. Przy opracowywaniu prognoz można wykorzystywać nowe narzędzia metodologiczne, jak np. modele oparte na logice rozmytej.

Celem pracy była ocena przydatności modeli wykorzystujących teorię zbiorów rozmytych do długoterminowego prognozowania zapotrzebowania na energię elektryczną dla potrzeb lokalnego planowania energetycznego. Jego realizację przeprowadzono w oparciu o statystyki sprzedaży energii elektrycznej odbiorcom wiejskim z małego obszaru administracyjnego w latach 1989-2006.

Najbardziej znanymi modelami rozmytymi są modele Mamdaniego, modele Takagi-Sugeno i modele relacyjne [2]. Spośród tych modeli do prognozowania zapotrzebowania na energię elektryczną w długim horyzoncie czasowym można wykorzystywać jedynie modele Takagi-Sugeno.

W pracy rozpatrywano rozmyte modele liniowe systemów z jednym wejściem i jednym wyjściem, opisujące zależność funkcyjną  $y = f(x)$ , gdzie  $y$  jest przyrostem zużycia energii elektrycznej w danym roku, a  $x$  jest przyrostem zużycia energii elektrycznej w roku poprzednim. Przestrzeń rozważań, którą

jest zbiór wszystkich wartości przyrostów zużycia energii elektrycznej w analizowanych latach, była dzielona na podzbiory rozmyte o gaussowskich funkcjach przynależności.

W procesie formułowania rozmytego modelu liniowego systemu wyróżnia się rozmywanie (fuzyfikację), wnioskowanie rozmyte (inferencję) i ostrzenie (defuzyfikację). Rozmywanie polega na obliczaniu stopni przynależności zmiennych wejściowych do podzbiorów rozmytych. Wnioskowanie rozmyte to z kolei operacja wyznaczania, na podstawie rozmytych zmiennych wejściowych, wartości zmiennych wyjściowych za pomocą zbioru reguł. W przyjętym w pracy modelu zbiór reguł ma postać ogólną:

$$\begin{aligned} \text{JEŚLI } (x \text{ jest } A_1) \text{ TO } (y = f_1(x)) \\ \text{JEŚLI } (x \text{ jest } A_m) \text{ TO } (y = f_m(x)) \end{aligned} \quad (1)$$

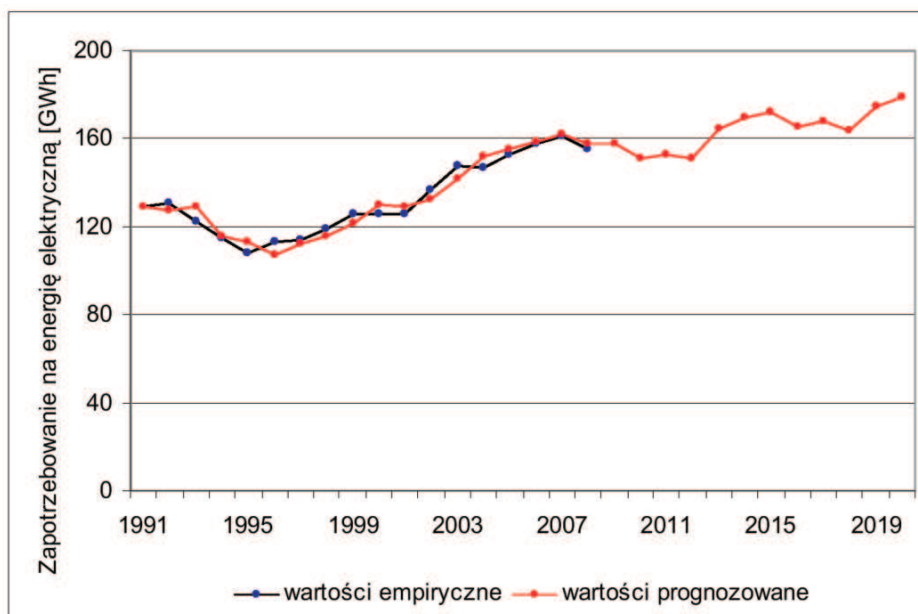
gdzie:  $x, y$  odpowiednio zmienne wejściowe i wyjściowe,  $A_1, \dots, A_m$  podzbiory rozmyte przestrzeni rozważań,  $f_1(x), \dots, f_m(x)$  funkcje liniowe.

Wyjście systemu  $y$  oblicza się (ostrzy) jako średnią ważoną wartości funkcji  $f_1(x), \dots, f_m(x)$ , gdzie wagami są stopnie przynależności zmiennej wejściowej  $x$  do zbiorów rozmytych  $A_1, \dots, A_m$ .

Zgodnie z metodyką przedstawioną w pracy Małopolskiego [1] uzyskano model o trzech regułach:

$$\begin{aligned} \text{JEŚLI } (x \text{ blisko } -8,73) \text{ TO } (y = 25,17 + 3,75x) \\ \text{JEŚLI } (x \text{ blisko } 0,69) \text{ TO } (y = 4,12 + 5,12x) \\ \text{JEŚLI } (x \text{ blisko } 6,20) \text{ TO } (y = 4,09 + 0,06x). \end{aligned} \quad (2)$$

Oceny jakości modelu (2) dokonano porównując prognozy wygasłe zapotrzebowania energii elektrycznej wyznaczone w oparciu o ten model z wartościami rzeczywistego zużycia energii. Ponieważ średni absolutny błąd prognoz wygasłych nie przekroczył 3%, a model prognostyczny zadowalająco odwzorowuje przebieg rocznego zapotrzebowania na energię elektryczną (rys.) zaprezentowany model można uznać za bardzo dobry dla potrzeb lokalnego planowania energetycznego. Wykorzystano go więc do predykcji zapotrzebowania energii w długim horyzoncie czasowym. Z obliczeń wynika (rys.), że w następnych 15 latach utrzyma się na analizowanym obszarze wiejskim niewielki trend wzrostowy tego zapotrzebowania.



Rys. Przebieg rocznego zapotrzebowania na energię elektryczną odbiorców wiejskich i prognozy tego zapotrzebowania wyznaczone w oparciu o model Takagi-Sugeno o gaussowskich funkcjach przynależności

Fig. Time course of annual demand for electrical energy of rural users and forecasts of this demand calculated on the basis of Takagi-Sugeno model of gaussian membership functions

#### Literatura

[1] Małopolski J.: Prognozowanie zapotrzebowania na energię elektryczną odbiorców wiejskich przy wykorzystaniu modeli rozmytych. Praca doktorska Akademia Rolnicza, Kraków 2007.

[2] Piegat A.: Modelowanie i sterowanie rozmyte. AOW EXIT, Warszawa 1999.

[3] Ustawa Prawo energetyczne z dnia 10 kwietnia 1997 r. Dz. U. Nr 54/199, z późniejszymi zmianami.

## FUZZY LONG-TERM FORECASTING OF ELECTRICITY DEMAND IN RURAL AREAS

### Summary

The Takagi-Sugeno fuzzy model of gaussian membership functions in the input spaces of the model for local forecasting of demand of rural users for electric energy have been elaborated in the study. The quality assessment of the model, performed on the basis of the observation of time runs of inactive forecasts of electric energy consumption and the analysis of absolute values of errors of inactive forecasts, has proved usefulness of the model for long-term prediction of demand for electric energy.