

Prognozowanie małośzazarowych charakterystyk obciężenia mocą elektryczną

Ireneusz Jakuszewicz

Politechnika Białostocka, Wydział Zarządzania,
Katedra Informatyki Gospodarczej i Logistyki
e-mail: i.jakuszewicz@pb.edu.pl

DOI: 10.12846/j.em.2014.01.17

Streszczenie

Prognozowanie zapotrzebowania na moc elektryczną w ujęciu przestrzennym jest zagadnieniem ważnym i aktualnym z uwagi na stale zmieniające się uwarunkowania rynku i potrzeby rynkowe odbiorców. W artykule podjęto tematykę prognozowania małośzazarowego stanowiącego nieodzowny element przestrzennego planowania zapotrzebowania na energię i moc elektryczną. Zaprezentowany model, będący wynikiem wieloletnich badań, stanowi podejście autorskie do rzeczzonego zagadnienia. Model pozwala opracować prognozę dysponując ograniczonym zasobem informacji wejściowych. W artykule sformułowano konkluzję zasadności stosowania modelu w zarządzaniu rozwojem elektroenergetycznych sieci rozdzielczych.

Słowa kluczowe

prognozowanie przestrzenne, prognozowanie

Wstęp

Przewidywanie przyszłej wartości zapotrzebowania na moc elektryczną odgrywa ważną rolę w procesach decyzyjnych związanych z planowaniem rozwoju i eksploatacji lokalnych systemów elektroenergetycznych. Rzetelne podejście do sporządzenia planu rozwoju rozdzielczych sieci elektroenergetycznych wymaga uwzględnienia, przy jego opracowywaniu, długoterminowej prognozy popytu na moc elektryczną. Prognoza ta musi dostarczać informacji odnośnie rozkładu maksymalnego rocznego zapotrzebowania na moc na terenie objętym zasięgiem planu. Jej horyzont

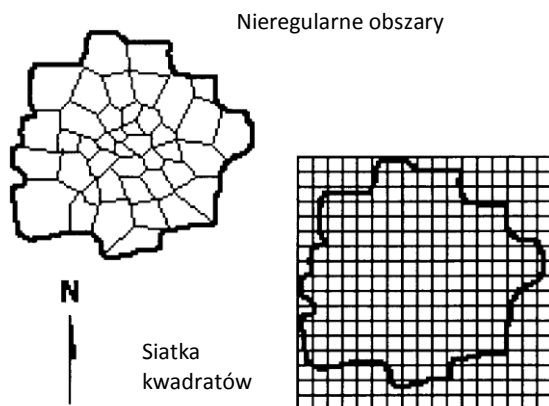
opracowania, zależnie od konkretnej sytuacji, waha się od 1 roku do 10 lat, a w niektórych przypadkach musi wynosić nawet 20 lat (Malko, 1995). Naukowe przewidywania przyszłości posiadające wszystkie przedstawione powyżej cechy określa się mianem prognoz przestrzennego obciążenia mocą elektryczną.

1. Małoobszarowe prognozowanie obciążenia mocą elektryczną

Celem prognozy przestrzennego obciążenia mocą jest przedstawienie, dla wybranego obszaru, z pewnym dostatecznie dużym prawdopodobieństwem, wielkości i geograficznej lokalizacji obciążenia w funkcji czasu.

Prognoza przestrzennego obciążenia mocą elektryczną jest prognozą małoobszarową. Punktem wyjścia do jej sporządzenia jest podział mapy badanego terenu na zbiór małych obszarów. W zależności od założeń, jakie przyjmie prognosta, małe obszary mogą przyjmować kształt (Willis i in., 1995), (rys. 1):

- regularny – najczęściej kwadratowe, jednorodne pola, których wielkość arbitralnie ustala prognosta;
- nieregularny – determinowany przez rozkład przestrzenny urządzeń elektroenergetycznych (obszary zasilane przez poszczególne stacje transformatorowe lub elektroenergetyczne linie rozdzielcze), bądź poszczególnych funkcji zagospodarowania przestrzennego.



Rys. 1. Pokrycie rozpatrywanego terenu siatką małych obszarów

Źródło: (Willis i in., 1995).

Podział badanego terenu na obszary o kształcie nieregularnym powoduje, iż obejmują one swym zasięgiem z reguły odbiorców reprezentujących jeden ze stanów zagospodarowania przestrzennego (Brown i in., 1999). Rzadko dzieje się tak, aby na jednym z nieregularnych pól elementarnych występował odbiorca reprezentujący różne stany użytkowania. Następstwem takiego stanu rzeczy są ułatwienia w procesie prognozowania, gdyż znacznie łatwiej jest poddawać analizie jednorodne grupy odbiorców. Prócz niewątpliwiej, wymienionej powyżej zalety, podejście takie posiada również wadę, którą jest problem zmienności kształtu nieregularnych pól w każdej kolejnej iteracji wyznaczanej prognozy (Brown i in., 1999). Zjawisko powyższe powodowane jest rozwojem przestrzennym terenu.

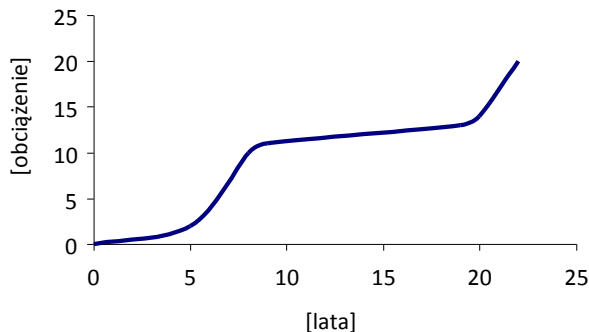
Regularne obszary obejmują jednocześnie swym zasięgiem tereny o różnym stanie użytkowania przestrzennego (Brown i in., 1999). Zaletą takiego podejścia do rozpatrywanego zagadnienia jest niezmiennosc kształtu i rozmiaru pól elementarnych w poszczególnych iteracjach obliczeniowych, oraz możliwość doboru odpowiednich wymiarów siatki małych pól. Ich rozmiar jest zależny od gęstości obciążenia występującego na badanym terenie. Pozwala to na regulację dokładności prognozy, a tym samym pośrednio na regulację czasu obliczeń, uwzględnienie możliwości obliczeniowych posiadanego sprzętu jak i uwzględnienie jakości i ilości danych wykorzystywanych w obliczeniach.

Niezależnie od kształtu pól elementarnych i ich rozmiarów kolejnym etapem realizacji prognozy przestrzennego obciążenia mocą jest wyznaczenie przyszłej wartości popytu na moc dla każdego z małych obszarów z osobna.

Istnieje wiele różnych metod wyznaczania obciążenia małych obszarów, na szczególną jednak uwagę zasługują niewątpliwie opracowania autorstwa Willis (Willis i in., 1995; Willis, 1996). Jego prace stanowią podstawę dla znaczącej większości opracowanych dotychczas metod prognozowania przestrzennego obciążenia.

Willis dowiódł, iż istnieje ściśle powiązanie pomiędzy stanem zagospodarowania przestrzennego terenu a wzrostem obciążenia przestrzennego. Na podstawie badań eksperymentalnych stwierdził on, że każda z klas zagospodarowania przestrzennego terenu posiada swoją własną małoobszarową czasową charakterystykę wzrostu obciążenia. Charakterystykę tą opisuje krzywa typu S (rys. 2), (Willis i in., 1995). Z kształtu charakterystyki wynika, że wzrost obciążenia małoobszarowego nie jest liniowy. Tempo wzrostu jest wysokie przez kilka pierwszych lat użytkowania nowo zabudowanego terenu, następnie zaczyna bardzo powoli maleć aż do osiągnięcia bardzo niskiego poziomu, po czym cykl ten zaczyna się znowu powtarzać (Chaturvedi i in., 2005). W procesie czasowego wzrostu obciążenia małoobszarowego można wyróżnić dwa cyklicznie powtarzające się etapy:

- szybkiego wzrostu obciążenia – związanego z zagospodarowywaniem terenów niezabudowanych lub przebudową istniejącej dotychczas zabudowy;
- powolnego, równomiernego wzrostu obciążenia – związanego ze wzrostem poboru mocy przez istniejących odbiorców.



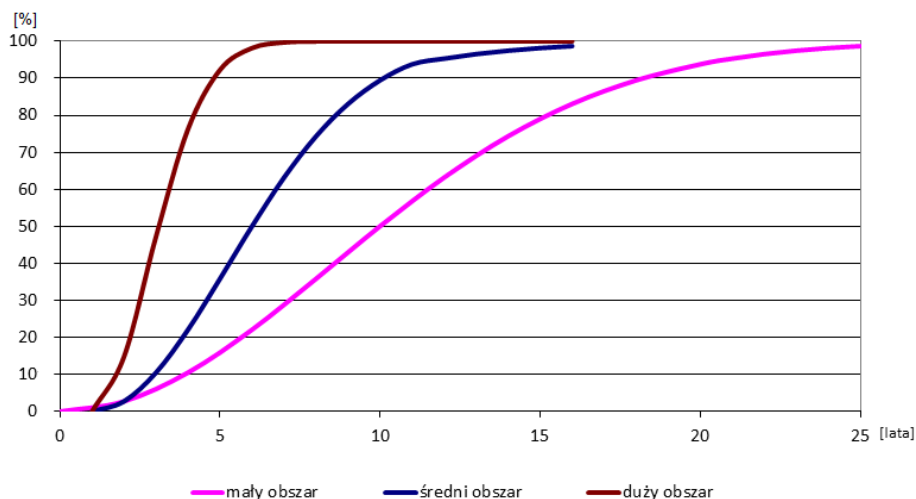
Rys. 2. Przykładowa charakterystyka małoobszarowego wzrostu obciążenia

Źródło: opracowanie własne na podstawie (Willis i in., 1995).

Charakterystyka małoobszarowego wzrostu obciążenia nie jest zależna od kształtu pola elementarnego, lecz od sposobu jego przestrzennego zagospodarowania oraz jego rozmiarów. Na rys. 3 pokazano różne przykładowe kształty krzywych S dla różnych rozmiarów małych obszarów. Obszary o względnie niewielkich rozmiarach posiadają charakterystyki bardzo stromo narastające (w skrajnych przypadkach bliskie funkcji jednostkowej), a obszary większe charakterystyki narastające stosunkowo wolno (Brown i in., 1999).

Nie istnieje uniwersalna charakterystyka małoobszarowego wzrostu poboru mocy. Konkretna prognoza wymaga opracowania na swoje potrzeby, na drodze analizy danych historycznych dotyczących zmian poboru mocy na badanym terenie, niepowtarzalnych charakterystyk obciążenia.

Przy wyznaczaniu powyższych krzywych konieczne jest zwrócenie uwagi na cechy obszarów, dla których są one sporządzane. Należą do nich między innymi: gęstość zabudowy (stopień wykorzystania terenu) oraz udział poszczególnych grup użytkowników reprezentujących różne klasy zagospodarowania przestrzennego w użytkowaniu rozpatrywanego obszaru (Nazarko, Broadwater, Tawalbeh, 1998). Powyższe cechy terenu są ściśle powiązane z atrakcyjnością lokalizacyjną poszczególnych terenów w obrębie miasta. Warunkuje ona kierunki przestrzennego rozwoju zagospodarowania przestrzennego badanego terenu, a tym samym zmiany wielkości i rozkładu popytu na moc elektryczną.



Rys. 3. Przykładowe charakterystyki małoobszarowego wzrostu obciążenia dla różnych rozmiarów pól elementarnych

Źródło: opracowanie własne na podstawie (Brown i in., 1999).

Analizowana metoda zaliczana jest do rodziny metod symulacyjnych. Stanowi ona podstawę do opracowania modeli będących pewnym przybliżonym odwzorowaniem wycinka rzeczywistego systemu elektroenergetycznego. Pozwala ona na określenie dynamiki zmian rozkładu obciążenia w przestrzeni i w czasie oraz na uwzględnienie w procesie prognozowania wzrostu poboru mocy wielu różnorodnych czynników o charakterze ekonomicznym, demograficznym czy geograficznym. Umożliwia analizę wpływu poszczególnych czynników na kształt przyszłego popytu na moc poprzez analizę różnorodnych prawdopodobnych scenariuszy przyszłości.

Poważnym krokiem w kierunku rozwoju prezentowanej metody są prace Mirandy i Monteiro (Miranda i Monteiro, 2000; Miranda i in., 2001). Zawierają one wiele praktycznych wskazówek dotyczących implementacji małoobszarowej metody prognozowania przestrzennego wykorzystującej teorię zbiorów rozmytych na systemy GIS (*Geographic Information Systems*). Systemy GIS stwarzają możliwość bardziej efektywnego wykorzystania rzetelnej geograficznej informacji dzięki możliwościom przedstawienia wybranych cech badanego terenu w postaci wielowarstwowej mapy wraz z połączoną z nią bazą danych. Łatwiejszy staje się przez to

dostęp do pożądanej informacji oraz kontrolowanie i sprawdzanie przebiegu obliczeń numerycznych. Prognoza może być wykonywana wieloetapowo poprzez osobną analizę kolejnych warstw mapy.

2. Analiza dostępnej informacji wejściowej w procesie prognozowania małoobszarowego

Ważnym elementem algorytmu obliczeniowego mającego za zadanie wyznaczenie małoobszarowych charakterystyk poboru mocy elektrycznej jest analiza zgromadzonej informacji o badanym terenie. Zasadniczo rzeczony proces przebiega w dwóch etapach, a mianowicie:

- wyznaczeniu mapy obciążenia przestrzennego dla zerowego roku prognozy;
- analizie czynników wpływających na stan zagospodarowania przestrzennego terenów poddanych prognozie.

Opracowanie mapy obciążenia przestrzennego dla zerowego roku prognozy wiąże się z określeniem obciążenia mocą elektryczną na tenże moment każdego z małych obszarów z osobna. Podstawową trudność, jaką napotyka się przy wyznaczaniu mapy obciążenia wiąże się z brakiem danych pomiarowych dotyczących rocznego szczytowego poboru mocy przez poszczególne obiekty zlokalizowane w obrębie każdego z pól elementarnych. W rzeczywistości spółki dystrybucyjne dysponują jedynie nielicznymi danymi pomiarowymi tego typu. Sytuacja powyższa zmusza autora do opracowania metody pozwalającej na szacunkowe określenie rozkładu przestrzennego obciążenia mocą elektryczną na podstawie dostępnego zbioru informacji, który tworzą dane dotyczące mocy i lokalizacji stacji transformatorowych (Kujaszczyk, 1995).

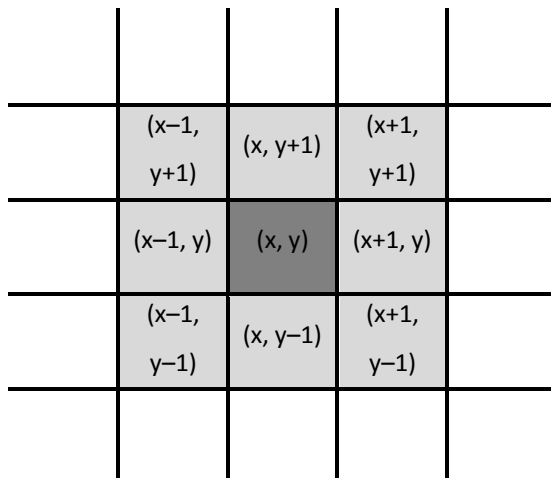
Jeżeli obecny kształt rozdzielczej miejskiej sieci elektroenergetycznej jest wynikiem racjonalnego planowania, to rozmieszczenie stacji transformatorowych (Horak i Popczyk, 1985) oraz moc zainstalowanych w nich transformatorów (Horak i Popczyk, 1985) wynika z powierzchniowego rozkładu popytu na moc elektryczną.

Optymalna, z ekonomicznego punktu widzenia, lokalizacja stacji transformatorowej znajduje się w centrum zasilanego przez nią obszaru. Centralna lokalizacja ogranicza w sposób znaczący długości rozdzielczych linii niskiego napięcia oraz straty mocy (Horak i Popczyk, 1985). Optymalna zaś moc transformatora zainstalowanego w stacji powinna być dostosowana do istniejącego zapotrzebowania na energię ze strony odbiorców (Horak i Popczyk, 1985).

Mając powyższe na uwadze zakłada się, że wartość małoobszarowego obciążenia mocą elektryczną poszczególnych pól elementarnych wynika w równym stopniu

z mocy stacji transformatorowych zlokalizowanych w jego obrębie oraz w obrębie pól leżących w bezpośrednim, najbliższym sąsiedztwie (rys. 4).

Wyznaczenie obciążenia mocą elektryczną poszczególnych pól elementarnych wymaga analizy rozmieszczenia i mocy stacji transformatorowych zlokalizowanych na badanym terenie. Dla jej potrzeb autor wprowadził pojęcie mocy podziałowej stacji transformatorowych zdefiniowanej równaniem 1.



Rys. 4. Najbliższe sąsiedztwo pola elementarnego

Źródło: opracowanie własne.

$$Sp_{(x,y)} = \frac{St_{(x,y)}}{\sum_{i,j=-1}^1 n_{(x+i,y+j)}} \quad (1)$$

gdzie:

- $Sp(x,y)$ – moc podziałowa stacji transformatorowych zlokalizowanych w obrębie pola elementarnego o współrzędnych (x, y) ,
- $St(x,y)$ – moc zainstalowana stacji transformatorowych zlokalizowanych w obrębie pola elementarnego o współrzędnych (x, y) ,
- $n(x, y)$ – liczba stacji transformatorowych leżących w obrębie najbliższego sąsiedztwa pola elementarnego o współrzędnych (x, y) .

Obciążenie mocą elektryczną dla każdego z pól elementarnych można wyznaczyć korzystając z następującego równania:

$$Op_{(x,y)} = \frac{1}{n_{(x,y)}} \sum_{i,j=-1}^1 Sp_{(x+i,y+j)} \quad (2)$$

gdzie:

- $Op(x, y)$ – obciążenie mocą elektryczną pola elementarnego o współrzędnych (x, y) ,
- $n(x, y)$ – liczba stacji transformatorowych leżących w obrębie najbliższego sąsiedztwa pola elementarnego o współrzędnych (x, y) ,
- $Sp(x,y)$ – moc podziałowa stacji transformatorowych zlokalizowanych w obrębie pola elementarnego o współrzędnych (x, y) .

Kolejnym ważnym elementem w realizacji algorytmu obliczeniowego jest wyznaczenie małoobszarowych charakterystyk czasowych zmian poboru mocy. Charakterystyki takie muszą zostać wyznaczone dla trzech podstawowych rodzajów zabudowy: mieszkalnej, usługowo-handlowej i przemysłowej. Każda z nich posiada odrębną specyfikę poboru mocy.

W miarę potrzeb, należy również dokonać, w ramach wyodrębnionych grup, rozbicia na zabudowę niską, średniowysoką i wysoką.

Szczególnych trudności może dostarczać opracowanie małoobszarowych charakterystyk poboru mocy elektrycznej dla zabudowy o charakterze przemysłowym. Każdy zakład przemysłowy posiada swoją własną, indywidualną charakterystyką konsumpcji energii elektrycznej, nie dającą się niejednokrotnie opisać jednym uniwersalnym równaniem. W takiej sytuacji, krzywe zapotrzebowania na moc należy ustalać indywidualnie dla poszczególnych odbiorców (Horak i Popczyk, 1985).

3. Określenia małoobszarowych charakterystyk poboru mocy

Określenia małoobszarowych charakterystyk poboru mocy dokonuje się na podstawie map obciążeń małoobszarowych z minionych lat. Tworzy się je analizując historyczne informacje dotyczące mocy stacji transformatorowych zlokalizowanych na badanym terenie. Metodyka postępowania przy ich opracowywaniu jest analogiczna jak w przypadku wyznaczania obciążeń małych obszarów na zerowy rok prognozy.

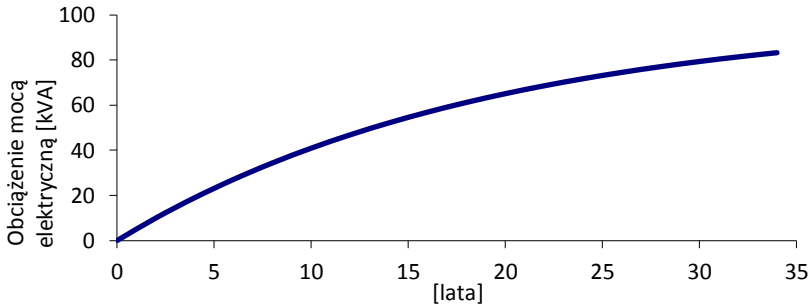
Do opisu małoobszarowych charakterystyk obciążenia mocą elektryczną wykorzystuje się krzywą określoną za pomocą równania rekurencyjnego (3), (Chow i Tram, 1997).

$$S_{(x,y)}(t+1) = aS_{(x,y)}(t) + b \quad (3)$$

gdzie:

- $S_{(x,y)}(t+1)$ – wartość obciążenia mocą elektryczną pola elementarnego o współrzędnych x, y w roku $t+1$,
- $S_{(x,y)}(t)$ – wartość obciążenia mocą elektryczną pola elementarnego o współrzędnych x, y w roku t ,
- a, b – parametry równania zależne od stanu zagospodarowania przestrzennego pola elementarnego.

Przykładową charakterystykę małoobszarowego wzrostu obciążenia wyznaczoną przy wykorzystaniu równania (3) przedstawiono na rys. 5.



Rys. 5. Przykładowa charakterystyka małoobszarowego wzrostu obciążenia wyznaczona przy wykorzystaniu równania rekurencyjnego

Źródło: opracowanie własne.

Parametrów a i b równania (3) wyznaczone są na podstawie analizy danych historycznych. Jako kryterium przy wyznaczaniu parametrów przyjęto minimalizację sumy kwadratów odchyleń modelu od rzeczywistego przebiegu krzywych małoobszarowego obciążenia mocą elektryczną (Nazarko, 2004).

Analiza historycznych map obciążenia małoobszarowego dostarcza również informacji na temat tempa rozwoju aglomeracji miejskiej. Na podstawie ich porównania można wyznaczyć liczbę nowo zabudowywanych małych obszarów w poszczególnych latach. Liczba ta jest odzwierciedleniem tempa rozwoju miasta.

Podsumowanie

Problem prognozowania popytu na moc elektryczną jest niezwykle istotny i aktualny, zważywszy na obecną sytuację polskiej elektroenergetyki. Przedsiębiorstwa

dystrybucyjne muszą sprostać wymogom dotyczącym jakości dostaw energii elektrycznej oraz pojawiającej się konkurencji na rynku energii elektrycznej. Muszą one w swoim działaniu uwzględnić rosnące potrzeby klientów, między innymi poprzez dostarczanie energii o odpowiednich parametrach jakościowych oraz rozbudowę sieci przesyłowych i rozdzielczych tak, aby możliwe było przyłączanie nowych odbiorców. Czynności te wymagają udoskonalenia systemu zarządzania oraz zredukowania kosztów eksploatacji i rozwoju sieci. Sprawne rozwiązanie powyższych problemów w znacznym stopniu podniosłoby konkurencyjność przedsiębiorstw dystrybucyjnych na tworzącym się wolnym rynku energii elektrycznej.

Prezentowana metoda prognozowania przestrzennego obciążenia mocą elektryczną terenów zurbanizowanych, zdaniem autora, jest możliwa do zastosowania w warunkach krajowych. Pozwala ona na wykonanie prognozy przy uwzględnieniu typowego dla polskiej energetyki braku dostatecznego opomiarowania miejskich systemów elektroenergetycznych oraz kompleksowych cyfrowych map terenu, umożliwiającą przeprowadzenie analiz o wysokim stopniu szczegółowości. Stwarza on przedsiębiorstwom sieciowym i urzędом gmin nowe możliwości pozyskania dodatkowych przesłanek w procesie planowania rozwoju sieci elektroenergetycznych. Pozwala ona na określenie obszarów, na których potrzebne będą inwestycje w zakresie rozbudowy nie tylko sieci elektroenergetycznych, ale i innych elementów infrastruktury technicznej.

Literatura

1. Brown R. E., Hanson A. P., Marshall M. W., Willis H. L. (1999), *Reliability and capacity: a spatial load forecasting method for a performance based regulatory environment*, Proceedings of the 21st International Conference on Power Industry Computer Applications. Connecting Utilities. PICA 99. To the Millennium and Beyond. Santa Clara
2. Chaturvedi A., Murthy M. B. R., Ranjan R., Prasad K. (2005), *A Novel Scheme of Load Forecasting Pertaining to Long Term Planning of a Distribution System*, Proceedings IEEE Region 10 TENCN Conference
3. Chow M., Tram H. (1997), *Application of fuzzy logic technology for spatial load forecasting*, IEEE Transaction on Power Systems 3
4. Horak J., Popczyk J. (1985), *Eksploatacja elektroenergetycznych sieci rozdzielczych*, WNT, Warszawa
5. Kujaszczyk S., (1995), *Elektroenergetyczne sieci rozdzielcze*, Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa

6. Kujszczyk S., Brociek S., Flisowski Z., Gryko J., Nazarko J., Zdun Z., (1997), *Elektroenergetyczne układy przesyłowe*, Wydawnictwa Naukowo-Techniczne, Warszawa
7. Malko J. (1995), *Wybrane zagadnienia prognozowania w elektroenergetyce. Prognozowanie zapotrzebowania energii i mocy elektrycznej*, Oficyna Wydawnicza Politechniki Wrocławskiej, Wrocław
8. Miranda V., Monteiro C., (2000), *Fuzzy inference in spatial load forecasting*, 2000 IEEE Power Engineering Society Winter Meeting, Piscataway
9. Miranda V., Monteiro C., Konjic T., (2001), *Spatial offer and demand forecasting with neuro-fuzzy inference systems in GIS*, WM2001 – IEEE PES Winter Meeting 2001
10. Nazarko J. (red.), (2004), *Prognozowanie w zarządzaniu przedsiębiorstwem. Cz. II. Prognozowanie na podstawie szeregów czasowych*, Wydawnictwo Politechniki Białostockiej, Białystok
11. Nazarko J., Broadwater R.P., Tawalbeh N.I., (1998), *Identification of Statistical Properties of Diversity and Conversion Factors from Load Research Data*, MELECON'98, 9th Mediterranean Electrotechnical Conference, Tel-Aviv, Israel
12. Willis H. L., (1996), *Spatial electric load forecasting*, Marcel Dekker Inc., New York
13. Willis H. L., Engel M. V., Buri M. J., (1995), *Spatial load forecasting*, IEEE Computer Application in Power

Forecasting small area electric load characteristics

Abstract

Forecasting electric power demand in spatial terms is an important and topical issue due to the constantly changing market conditions and customers' needs. The paper topic, which is small area load forecasting, constitutes an essential element of spatial planning in energy demand and electric power. The presented model is the author's original approach to this issue. The model allows to develop a forecast with limited resource inputs. The paper makes a conclusion about the relevance of the model in managing the development of power distribution systems.

Keywords

spatial forecasting, load forecasting