



**UNIWERSYTET ŁÓDZKI**  
**WYDZIAŁ ZARZĄDZANIA**

**AUTOREFERAT  
ROZPRAWY DOKTORSKIEJ**

mgr inż. Ireneusz Jakuszewicz

**Prognozowanie przestrzennego obciążenia  
mocą elektryczną jako element zarządzania  
terenami zurbanizowanymi**

promotor  
prof. zw. dr hab. Joanicjusz Nazarko

Łódź 2003

**PROGNOZOWANIE PRZESTRZENNEGO OBCIĄŻENIA  
MOCĄ ELEKTRYCZNĄ  
JAKO ELEMENT ZARZĄDZANIA TERENAMI ZURBANIZOWANYMI**

**SPIS TREŚCI**

1. Wprowadzenie.....	2
2. Cel i zakres pracy .....	3
3. Teza pracy .....	4
4. Model przestrzennego prognozowania obciążenia mocą elektryczną.....	4
5. Rozmyty model matematyczny wyznaczania przyszłego stanu zagospodarowania przestrzennego terenów miejskich .....	8
6. Weryfikacja modelu przestrzennego prognozowania obciążenia mocą elektryczną .....	11
7. Zasadnicze rezultaty prac badawczych .....	19
8. Wnioski .....	20
9. Literatura .....	22

**SŁOWA KLUCZOWE:** prognozowanie przestrzennego obciążenia mocą elektryczną, zarządzanie rozwojem infrastruktury technicznej, planowanie, zbiory rozmyte, wnioskowanie rozmyte.

## 1. WPROWADZENIE

Wdrożenie, dobrze spełniającego się w obecnych realiach, sposobu zarządzania jest bardzo skomplikowane w przypadku tak złożonej struktury organizacyjnej, jaką jest miasto. W jej obrębie niezwykle szybko i intensywnie zachodzą procesy gospodarcze, przestrzenne i polityczne przy jednocześnie szybko postępującej globalizacji jego otoczenia<sup>1</sup>.

Skuteczne zarządzanie rozwojem miasta wymaga zasadniczo: planowania jego rozwoju gospodarczego oraz planowania przestrzennego. Wymienione powyżej dwa typy planowania są wiodące w zarządzaniu rozwojem miast. Zawierają one w sobie wszystkie plany sektorowe i zarazem stanowią dla nich warunki brzegowe<sup>2</sup>.

Jednym z sektorowych planów, stanowiącym integralną część kompleksowego planu rozwoju miasta, jest koncepcja rozbudowy lokalnego systemu elektroenergetycznego. Obowiązek sporządzania planów jego rozwoju, w myśl ustawy *Prawo energetyczne*<sup>3</sup>, spoczywa na urzędach gmin oraz pośrednio na przedsiębiorstwach sieciowych. Do zadań własnych każdej gminy należy planowanie i organizacja zaopatrzenia w energię elektryczną. Są one zobowiązane opracować projekty rozwoju systemu dystrybucji energii, w których powinny znaleźć się oceny istniejącego i przewidywanego zapotrzebowania na energię. Z drugiej strony, przywołana ustawa zobowiązuje przedsiębiorstwa elektroenergetyczne do realizacji finansowania, budowy i rozbudowy sieci, które są przewidywane w miejscowym planie zagospodarowania przestrzennego. Opracowanie rzetelnego planu rozwoju sieci jest, więc z jednej strony obowiązkiem gminy, z drugiej zaś leży w interesie gospodarczym przedsiębiorstwa sieciowego.

Opracowanie racjonalnego, poprawnego merytorycznie i ekonomicznie planu rozbudowy miejskich sieci elektroenergetycznych wymaga znajomości prognozy wielkości i geograficznego rozmieszczenia zapotrzebowania na moc elektryczną.

Rzetelnie opracowany, mający oparcie na prawdopodobnej prognozie przyszłego popytu na energię elektryczną, plan rozwoju sieci elektroenergetycznych jest narzędziem pozwalającym na przeprowadzanie inwestycji związanych z rozbudową i modernizacją sieci w sposób przemyślany i zorganizowany, pozwalający na rozsądne lokowanie kapitału.

Biorąc pod uwagę dużą wagę, jaką odgrywa planowanie rozbudowy sieci elektroenergetycznych w zarządzaniu rozwojem miasta, oraz fakt, iż brak jest metody prognozowania przestrzennego obciążenia mocą elektryczną, która byłaby możliwa do zastosowania w warunkach krajowych, problematyka ta stanowi niezwykle interesujący obszar naukowo-badawczy.

---

<sup>1</sup> T. Markowski, *Zarządzanie rozwojem miast*. PWN, Warszawa 1999, s. 9.

<sup>2</sup> Tamże, s. 150.

<sup>3</sup> *Ustawa z dnia 10 kwietnia 1997 r. Prawo energetyczne*. Dz.U. z 1997 r. Nr 54, poz. 348.

## 2. CEL I ZAKRES PRACY

*Zasadniczym celem pracy jest opracowanie metody prognozowania przestrzennego obciążenia mocą elektryczną dla zarządzania terenami zurbanizowanymi, przy zastosowaniu teorii zbiorów rozmytych.*

Współczesne polskie miasta podlegają ciągłym, złożonym i dynamicznym przekształceniom przestrzennym. Przemianom tym towarzyszy zmiana przestrzennego zapotrzebowania na moc elektryczną. Określenie kierunku zmian przestrzennego popytu stanowi podstawę efektywnego zarządzania rozwojem sieci elektroenergetycznych. Praktyka zawodowa autora potwierdza, iż właśnie w przypadku terenów miejskich, najbardziej odczuwalny jest brak możliwej do praktycznego, powszechnego wykorzystania metody prognozowania przestrzennego popytu na moc elektryczną.

Zakres badawczy pracy obejmuje opracowanie podstaw teoretycznych, modelu matematycznego i algorytmów umożliwiających rozwiązanie problemu prognozowania przestrzennego obciążenia mocą elektryczną. Ważną część procesu badawczego stanowi analiza danych historycznych dotyczących rozwoju obciążeń miejskich sieci elektroenergetycznych oraz badanie kształtu małoobszarowych charakterystyk obciążenia przestrzennego mocą elektryczną. Istotną część opracowania stanowi określenie preferencji lokalizacyjnych mieszkańców miast. W celu ich opisu konieczne było przeprowadzenie m.in. badań w zakresie wyznaczenia preferencji dotyczących zasiedlania terenów miejskich o określonych lokalizacjach oraz rangi poszczególnych walorów lokalizacyjnych terenu w procesie wyboru optymalnego miejsca do zasiedlenia.

Przy opracowywaniu metody autor wykorzystał nowoczesne narzędzia analizy, jakimi są teoria zbiorów rozmytych i logika rozmyta. Pozwoliło to na użycie w procesie przewidywania kierunków zmian przestrzennego zagospodarowania terenu subiektywnej, niepewnej i niepełnej informacji występującej w formie sformułowań lingwistycznych.

Przeprowadzona praca badawcza oraz opracowane w jej efekcie programy komputerowe pozwalają, w mniemaniu autora, na sporządzanie prognozy przestrzennego zapotrzebowania na moc dla różnych scenariuszy przyszłości. Prognoza taka może zostać wyznaczona np. dla dwóch różnych wariantów rozwoju aglomeracji miejskiej: zgodnego z ustaleniami zawartymi w studium przestrzennego zagospodarowania badanego miasta oraz wariantu wynikającego z opracowanego rozmytego modelu przestrzennego rozwoju miasta.

### **3. TEZA PRACY**

Na podstawie przeprowadzonych badań studialnych sformułowano następującą tezę pracy:

*Możliwe jest opracowanie metody, przy zastosowaniu wnioskowania rozmytego, pozwalającej na wyznaczenie, z dostatecznie dużą wiarygodnością, prognozy przestrzennego obciążenia mocą elektryczną dla wspomagania zarządzania terenami zurbanizowanymi.*

W celu udowodnienia tezy zaprojektowano i zrealizowano logiczny ciąg następujących zadań badawczych:

- analiza rozwoju infrastruktury technicznej w procesie przestrzennego rozwoju miasta;
- analiza danych historycznych dotyczących obciążenia miejskich systemów elektroenergetycznych;
- przeprowadzenie badań sondażowych dotyczących preferencji ludności miejskiej co do walorów lokalizacyjnych terenów zurbanizowanych;
- opracowanie modelu matematycznego przestrzennego prognozowania obciążenia mocą elektryczną dla zarządzania terenami zurbanizowanymi;
- opracowanie algorytmów, przy zastosowaniu teorii zbiorów rozmytych, umożliwiających rozwiązanie problemu prognozowania przestrzennego obciążenia mocą elektryczną dla wspomagania zarządzania terenami zurbanizowanymi;
- opracowanie programów komputerowych realizujących powyższe algorytmy;
- wykonanie przykładu prognozy przestrzennego zapotrzebowania na moc.

Przeprowadzenie powyższych działań pozwoliło, zdaniem autora, udowodnić postawioną w pracy tezę, a dodatkowym potwierdzeniem jej słuszności jest praktyczna realizacja prognozy przestrzennego popytu na moc elektryczną.

### **4. MODEL PRZESTRZENNEGO PROGNOZOWANIA OBCIĄŻENIA MOCĄ ELEKTRYCZNĄ**

Prognoza przestrzennego obciążenia mocą ma za zadanie przedstawienie wielkości i geograficznej lokalizacji obciążenia wybranego obszaru w funkcji czasu, w długoterminowym horyzoncie. Z punktu widzenia odbiorców, jakimi są komórki planistyczne urzędów gmin i elektroenergetycznych przedsiębiorstw sieciowych, prognoza musi dostarczać najbardziej prawdopodobnej informacji na temat przyszłości, na podstawie dostępnego zbioru danych wejściowych.

Zamierzeniem autora było opracowanie metody, której wdrożenie do praktycznej realizacji nie wymagałoby ponoszenia dużych nakładów na zgromadzenie i przygotowanie informacji wejściowej oraz posiadania specjalistycznego oprogramowania i profesjonalnego sprzętu obliczeniowego.

Opracowany w rozprawie algorytm obliczeniowy składa się z czterech podstawowych etapów: przygotowania informacji wejściowej, analizy informacji wejściowej, wyznaczenia prognozy zagospodarowania przestrzennego oraz wyznaczenia prognozy przestrzennego obciążenia mocą elektryczną. Poniżej przedstawiono ich szczegółowy opis.

### ***Etap I – przygotowanie informacji wejściowej***

Podstawową kwestię przy opracowywaniu metody prognozowania przestrzennego obciążenia mocą elektryczną jest odpowiedni dobór informacji wejściowej jak i założeń upraszczających. Postawienie zbyt wysokich wymagań w tej kwestii mogłoby znacznie ograniczyć możliwość zastosowania opracowywanej metody w praktyce.

Po rozpoznaniu dostępnej informacji, autor zaproponował przyjęcie następujących danych wejściowych:

- rysunek planu analizowanego terenu z naniesioną siatką ulic, cieków wodnych i linii kolejowych;
- rysunek planu analizowanego terenu zawierający lokalizację poszczególnych elementów miejskiej sieci elektroenergetycznej średniego napięcia, z uwzględnieniem wszystkich istniejących stacji transformatorowych;
- rysunek planu analizowanego terenu zawierający opis bieżącego stanu zagospodarowania przestrzennego terenu wraz z naniesioną siatką ulic, cieków wodnych i linii kolejowych;
- rysunek planu zawierający opis przyszłego stanu zagospodarowania przestrzennego badanego terenu, stanowiący załącznik do jego studium zagospodarowania przestrzennego;
- historyczne i bieżące dane dotyczące mocy transformatorów SN/nN zainstalowanych w sieci rozdzielczej obejmującej badany teren.

Przed przystąpieniem do realizacji prognozy przestrzennego obciążenia mocą terenów miejskich konieczne jest przetworzenie zgromadzonej informacji wejściowej do postaci cyfrowej, tak by mogła ona zostać wykorzystana przy obliczeniach komputerowych. Przygotowanie informacji wejściowej polega głównie na digitalizacji rysunków planów. Opracowania wymagają również bazy danych zawierające informacje o obecnych i historycznych mocach miejskich stacji transformatorowych.

Następnie, cyfrowe mapy badanego terenu poddawane są podziałowi na małe kwadratowe obszary, których wielkość arbitralnie ustala prognosta. W celu łatwej identyfikacji lokalizacji każdego małego obszaru, plan terenu umieszcza się w płaskim układzie współrzędnych, którego osie przecinają się w punkcie przyjętym jako centrum miasta. Pozwala to na jednoznaczne, proste określenie lokalizacji każdego pola poprzez podanie odpowiadających mu odpowiednich współrzędnych  $x$  i  $y$ .

Informacja wejściowa przetworzona do postaci cyfrowej jest następnie wykorzystywana dla przeprowadzenia dalszych analiz.

## ***Etap II – analiza informacji wejściowej***

Drugi etap realizacji algorytmu obliczeniowego polega na analizie zgromadzonej informacji o badanym terenie. Jego realizacja polega na:

- wyznaczeniu mapy obciążenia przestrzennego dla zerowego roku prognozy;
- wyznaczeniu małoobszarowych charakterystyk wzrostu poboru mocy elektrycznej;
- analizie czynników wpływających na stan zagospodarowania przestrzennego terenów miejskich.

Ważną część omawianego algorytmu obliczeniowego, niezależną od zgromadzonego materiału technicznego, stanowi badanie czynników wpływających na stan zagospodarowania przestrzennego terenów miejskich. Na podstawie przeprowadzonych analiz, autor ustalił, że zasadniczy wpływ na przyszły kształt stanu zagospodarowania przestrzennego terenów zurbanizowanych mają trzy czynniki lokalizacyjne:

- położenie terenu względem centrum miasta,
- położenie terenu względem głównych ciągów komunikacji kołowej,
- położenie terenu względem dużych zakładów przemysłowych.

Oddziaływanie wymienionych powyżej czynników na decyzje lokalizacyjne mieszkańców odzwierciedlone zostały w modelu przestrzennego zagospodarowania terenu. Do jego budowy konieczne jest zdefiniowanie dla badanego miasta, pojęć służących opisowi odległości, takich jak: „blisko”, „umiarkowanie daleko” i „daleko”. Określenia wymagają również zbiory zależności wielkości preferencji od odległości do wymienionych powyżej walorów terenów miejskich. Niezbędne jest również ustalanie względnej siły oddziaływania każdego z rozpatrywanych czynników lokalizacyjnych na proces wyboru optymalnego miejsca do zamieszkania lub prowadzenia działalności gospodarczej przez mieszkańców.

W celu zebrania wymienionych powyżej informacji należy przeprowadzić badania sondażowe na populacji użytkowników badanego miasta.

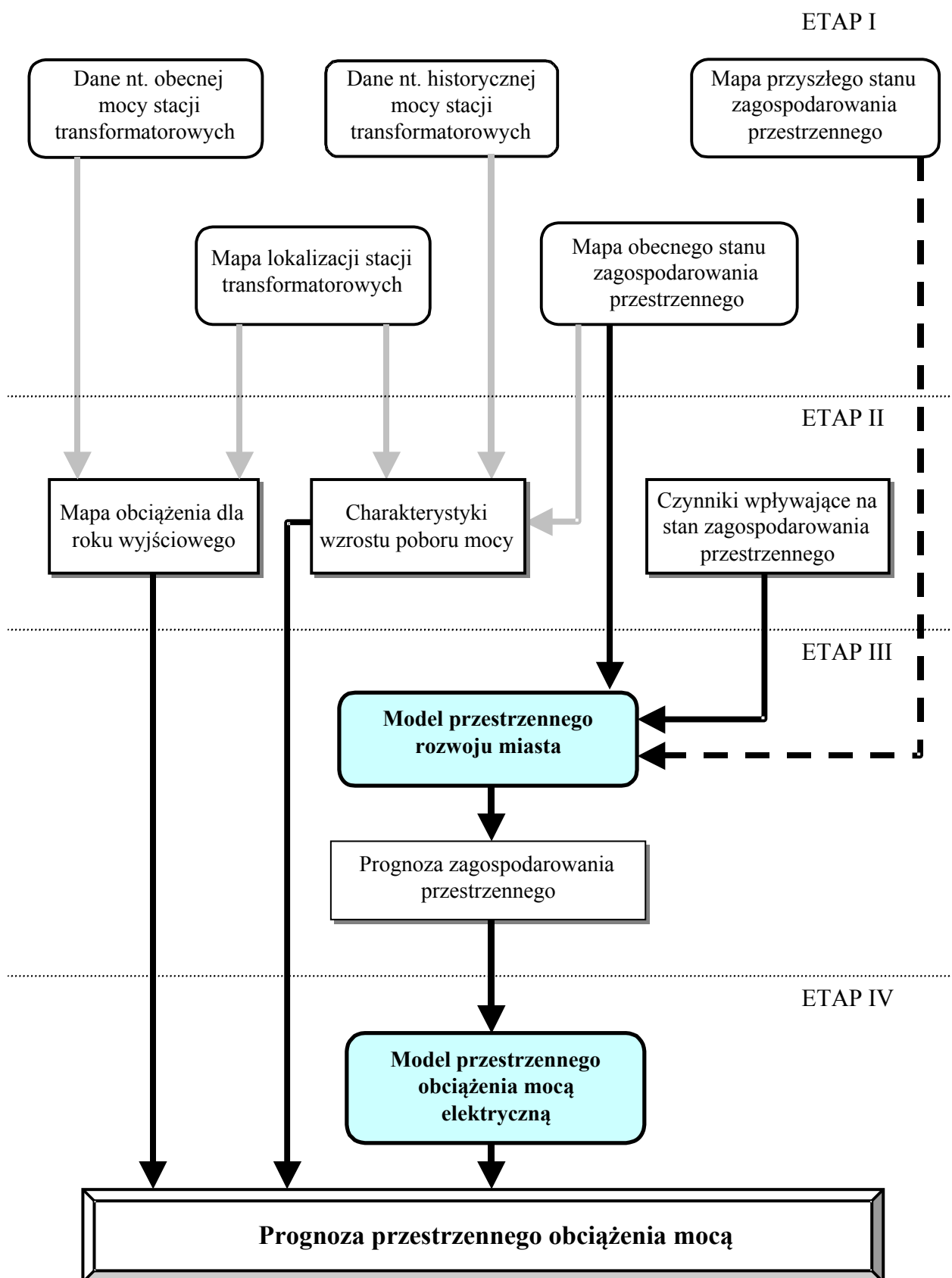
## ***Etap III – wyznaczenie prognozy zagospodarowania przestrzennego***

Trzeci etap realizacji zadania polega na opracowaniu prognozy przestrzennego zagospodarowania badanego terenu. Jej wyznaczenia dokonuje się przy wykorzystaniu rozmytego modelu przestrzennego rozwoju miasta. Jego opis zawarty został w dalszej części niniejszego autoreferatu.

## ***Etap IV – wyznaczenie prognozy przestrzennego obciążenia mocą elektryczną***

Finalizacja realizacji prognozy przestrzennego obciążenia mocą następuje w czwartym etapie. Zostaje ona wyznaczona przy wykorzystaniu modelu przestrzennego wzrostu obciążenia mocą.

Schematyczny diagram przebiegu procesu prognozowania małoobszarowego przestrzennego obciążenia mocą elektryczną z uwzględnieniem stanu zagospodarowania przestrzennego terenu przedstawiono na rys. 1.



Rys. 1. Schematyczny diagram procesu prognozowania przestrzennego obciążenia  
*Źródło: opracowanie własne.*



## 5. ROZMYTY MODEL MATEMATYCZNY WYZNACZANIA PRZYSZŁEGO STANU ZAGOSPODAROWANIA PRZESTRZENNEGO TERENÓW MIEJSKICH

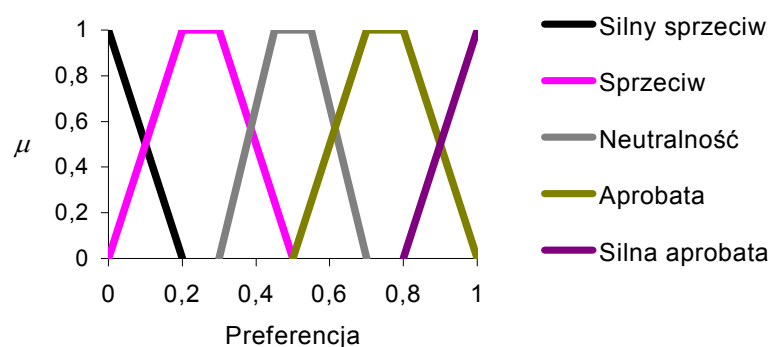
Podstawą opracowania rzetelnej prognozy przestrzennego obciążenia mocą jest wyznaczenie wiarygodnej prognozy rozwoju przestrzennego zagospodarowania terenu. Jej zadaniem jest wskazanie przyszłych kierunków rozwoju przestrzennego badanego terenu. Jak narzędzie służące do realizacji powyższego zadania opracowany został odpowiedni model zaprezentowany poniżej.

Jako informacja wejściowa do omawianego modelu wykorzystywane są: mapa bieżącego stanu zagospodarowania przestrzennego oraz dane na temat preferencji lokalizacyjnych użytkowników badanego miasta. Dodatkowo wykorzystana może zostać mapa przyszłego zagospodarowania przestrzennego, opracowana na podstawie studium zagospodarowania przestrzennego badanego terenu.

Prezentowany model pozwala na wyznaczenie prognozy rozwoju aglomeracji miejskiej bazującej na analizie preferencji lokalizacyjnych użytkowników miasta, oraz dodatkowo na założeniach wynikających ze studium zagospodarowania przestrzennego opracowanego przez władze lokalne dla badanego terenu.

Jak już wcześniej wspomniano, podstawą realizacji prognozy rozwoju aglomeracji miejskiej jest analiza preferencji lokalizacyjnych użytkowników miasta. Przy ich opisie wykorzystywane są głównie sformułowania słowne.

Sformułowania lingwistyczne, służące wyrażeniu preferencji takie jak: „silny sprzeciw”, „umiarkowany sprzeciw”, „neutralność”, „umiarkowana aprobata”, „silna aprobata” można określić jako podzbiory rozmytego zbioru preferencji (rys. 2).

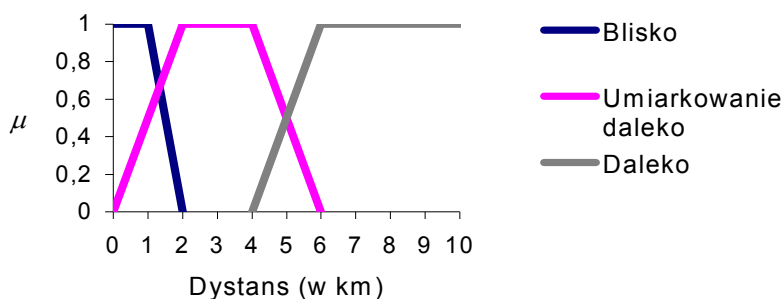


Rys. 2. Przykładowa funkcja przynależności dla zbioru rozmytego preferencji

Źródło: zaczerpnięto z M. Chow, H. Tram, *Application of fuzzy logic technology for spatial load forecasting*. "IEEE Transaction on Power Systems" 1997, nr 3.

Podobna sytuacja ma miejsce w przypadku pojęć służących opisowi odległości, takich jak „blisko”, „umiarkowanie daleko”, „daleko”. Można określić je jako podzbiory rozmyte zbioru odległości (rys. 3), które są jednoznacznie określone poprzez kształt funkcji przynależności do zbioru rozmytego.

Wyznaczenie zbiorów rozmytych służących zdefiniowaniu pojęć służących opisowi odległości dla konkretnego miasta, odbywa się na drodze agregacji ocen odległości przez poszczególnych użytkowników miasta w jedną syntetyczną ocenę<sup>4</sup>.



Rys. 3. Przykładowa funkcja przynależności dla zbioru rozmytego odległości

Źródło: opracowanie własne na podstawie M. Chow, H. Tram, *Application of fuzzy logic technology for spatial load forecasting*. "IEEE Transaction on Power Systems" 1997, nr 3.

Konwersja lingwistycznego sformułowania w liczbę rozmytą pozwala przypisać każdej konkretnej liczbowej wartości odległości odpowiednią wartość przynależności do prezentowanych powyżej podzbiorów. Przedstawiony w takiej postaci opis odległości jest użyteczny w procesie wnioskowania rozmytego.

Algorytm wnioskowania rozmytego stanowi zbiór zależności pomiędzy zmiennymi lingwistycznymi. W przypadku prezentowanego systemu rozmytego służącego do prognozowania zagospodarowania przestrzennego, bank reguł stanowi zbiór opisujący zależność siły preferencji od odległości. Na rys. 4 pokazano przykładowy zbiór zależności preferencji od odległości od centrum miasta.

Odległość	Preferencja
Blisko	Silny sprzeciw
Umiarkowanie daleko	Aprobata
Daleko	Sprzeciw

Rys. 4. Przykładowy zbiór zależności preferencji od odległości od centrum miasta

Źródło: zaczerpnięto z M. Chow, H. Tram, *Application of fuzzy logic technology for spatial load forecasting*. "IEEE Transaction on Power Systems" 1997, nr 3.

W procesie wnioskowania rozmytego aktywowane są równolegle wszystkie reguły zawarte w banku reguł. Wynikiem działania reguł rozmytych jest zbiór wyjściowy, będący zestawem zdań rozmytych.

<sup>4</sup> W. Ostasiewicz, *Zastosowanie zbiorów rozmytych w ekonomii*. PWN, Warszawa 1986, s. 66.

Ostatnim etapem wnioskowania rozmytego jest scalenie wyników działania wszystkich reguł w jeden rozmyty zbiór wynikowy.

Wyjście procesu wnioskowania rozmytego jest następnie poddawane procesowi defuzyfikacji. Polega ona na wyborze liczbowej wartości reprezentatywnej dla wynikowego zbioru rozmytego powstałego w wyniku wnioskowania. Liczbowa wartość otrzymana w wyniku wnioskowania rozmytego jest odwzorowaniem siły preferencji – jakości spełnienia danego kryterium oceny atrakcyjności lokalizacyjnej terenu.

Schematyczny diagram przebiegu procesu wnioskowania w systemie rozmytym przedstawiono na rys. 5.



Rys. 5. Schematyczny diagram procesu wnioskowania w systemie rozmytym

*Źródło: opracowanie własne.*

Zadaniem prognozy zagospodarowania przestrzennego miasta jest określenie przyszłych stanów użytkowania poszczególnych pól elementarnych. Ich predykcji dokonuje się na podstawie analizy oddziaływania wyselekcjonowanych czynników lokalizacyjnych. Opisany powyżej schemat wnioskowania rozmytego jest odrębnie realizowany dla analizy wpływu każdego z nich na ocenę atrakcyjności lokalizacyjnej terenów miejskich. Sumaryczna wartość preferencji jest wypadkową oddziaływania wspomnianych czynników lokalizacyjnych.

Zgodnie z prezentowanym modelem rozwój aglomeracji miejskiej nastąpi prawdopodobnie w kierunku zabudowy terenów, dla których liczbowa wartość preferencji jest stosunkowo największa. W przypadku terenów miejskich już zabudowanych, należy się liczyć z możliwością zmiany ich dotychczasowego stanu zagospodarowania przestrzennego. Zmianie tej będzie towarzyszyć stosunkowo szybki wzrost obciążenia przestrzennego.

Określenie terenów miejskich, w przypadku których może w przyszłości dojść do zmiany ich dotychczasowego stanu zagospodarowania przestrzennego stanowi jeden z poważniejszych problemów przy opracowaniu prognozy przestrzennego rozwoju aglomeracji miejskiej. Niewłaściwe wskazanie obszarów, których obecny stan użytkowania może ulec zmianie, w znaczący sposób wpływa na jakość prognozy zagospodarowania przestrzennego miasta.

## 6. WERYFIKACJA MODELU PRZESTRZENNEGO PROGNOZOWANIA OBCIĄŻENIA MOCĄ ELEKTRYCZNĄ

Celem potwierdzenia słuszności postawionej w pracy tezy, autor podjął się wykonania prognozy przestrzennego popytu na moc elektryczną dla wybranego miasta Polski w 15-letnim horyzoncie czasowym. W tym celu opracowany został program komputerowy wykorzystujący zbudowany w rozprawie model prognozowania przestrzennego obciążenia mocą elektryczną terenów zurbanizowanych.

Jako obiekt prognozy wybrany został Bielsk Podlaski, miasto leżące nad rzeką Białą, w północno-wschodniej Polsce, w województwie podlaskim na tzw. Wysoczyźnie Bielskiej. Zajmuje ono powierzchnię około 26,90 km<sup>2</sup> i liczy 27 823 mieszkańców<sup>5</sup>.

Podstawą dokonywania wszelkich analiz przestrzennych był cyfrowy plan terenu objętego prognozą z naniesioną siatką ulic, cieków wodnych oraz linii kolejowych. Na podstawie planu Bielska Podlaskiego w skali 1:7500<sup>6</sup> autor opracował cyfrową mapę miasta, na którą następnie naniesiono siatką jednolitych kwadratowych obszarów o wymiarach 200 x 200 m oraz lokalizację miejskich stacji transformatorowych (rys. 6). Dopełnieniem niezbędnego materiału kartograficznego były mapy obecnego i przyszłego stanu zagospodarowania przestrzennego badanego terenu<sup>7</sup>.

Ważną część informacji wejściowej stanowią historyczne dane dotyczące mocy transformatorów zainstalowanych w miejskich stacjach transformatorowych. Obejmowały one okres od roku 1964 do roku 2000. Ich analiza pozwoliła na opracowanie map obciążenia przestrzennego od początku istnienia systemu elektroenergetycznego do wyjściowego momentu prognozy oraz na wyznaczenie małoobszarowych charakterystyk wzrostu przestrzennego obciążenia mocą elektryczną dla dwóch podstawowych rodzajów zabudowy: mieszkalnej oraz usługowo-handlowej. Niemożliwe było natomiast opracowanie charakterystyk obciążenia małoobszarowego dla zabudowy o charakterze przemysłowym, gdyż autor nie posiadał wiarygodnej informacji na temat stacji transformatorowych będących na majątku indywidualnych odbiorców energii.

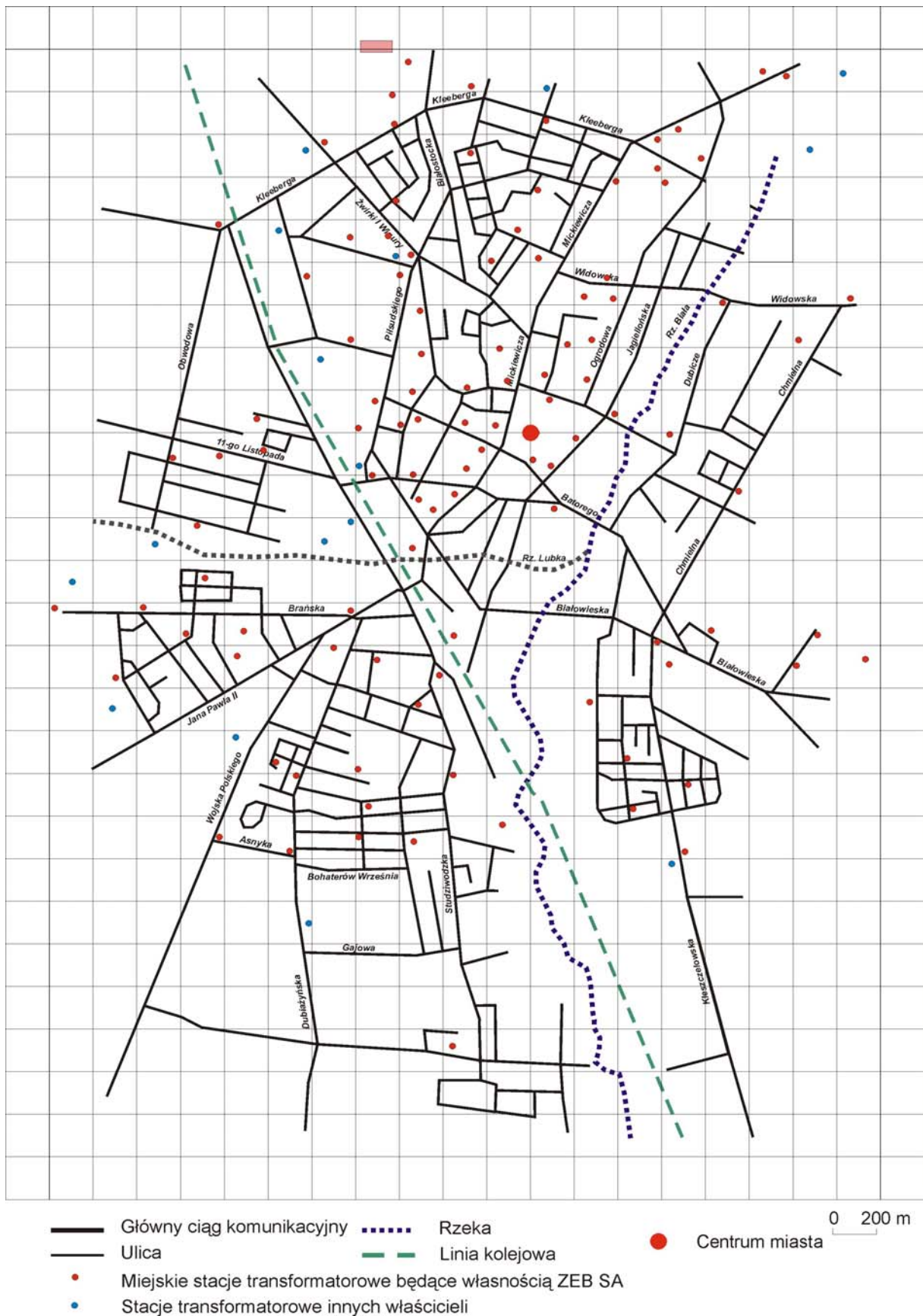
W przypadku zabudowy o charakterze mieszkalnym, koniecznym było przy wyznaczaniu małoobszarowych krzywych obciążenia dodatkowe rozróżnienie wysokości zabudowy. W przypadku Bielska Podlaskiego można wyróżnić tereny z zabudową niską (do dwóch kondygnacji) oraz średniowysoką (od trzech do pięciu kondygnacji).

---

<sup>5</sup> Dane Urzędu Statystycznego w Białymstoku na dzień 31 grudnia 2002 r.

<sup>6</sup> J. Popławski, *Bielsk Podlaski. Plan miasta 1:7500*. Fundacja na Rzecz Rozwoju Lokalnego w Bielsku Podlaskim, Białystok 1995.

<sup>7</sup> Mapa opracowana na podstawie *Studium uwarunkowań i kierunków zagospodarowania przestrzennego miasta Bielsk Podlaski*.



Rys. 6. Mapa Bielska Podlaskiego pokryta siatką kwadratowych obszarów z naniesioną lokalizacją stacji transformatorowych, stan na rok 2000

Źródło: opracowanie własne na podstawie Planu miasta Bielsk Podlaski w skali 1:7500. Federacja na Rzecz Rozwoju Lokalnego w Bielsku Podlaskim, Białystok 1995danych uzyskanych z Zakładu Energetycznego Białystok SA.

Analiza historycznych map obciążenia małoobszarowego dostarczyła również informacji na temat tempa rozwoju aglomeracji miejskiej. Na podstawie ich porównania wyznaczono liczbę nowo zabudowywanych małych obszarów w poszczególnych latach. Liczba ta stanowiła odzwierciedlenie tempa rozwoju miasta.

Dopełnieniem przedstawionych powyżej analiz było badanie preferencji lokalizacyjnych użytkowników miasta Bielsk Podlaski. Jego przeprowadzenie było niezbędne do realizacji prognozy kierunków rozwoju stanu zagospodarowania badanego terenu.

Podstawowym celem badania było określenie preferencji lokalizacyjnych użytkowników Bielska Podlaskiego związanych z jedną z grup cech terenów, jaką jest położenie w stosunku do innych obszarów miejskich. Cechy te są niezwykle ważne przy wyborze miejsca zamieszkania lub prowadzenia działalności gospodarczej. Są one przypisane poszczególnym terenom miejskim i niejednokrotnie nie mogą zostać poddane zmianie.

W szczególności przeprowadzenie badań miało posłużyć:

- określeniu preferencji dotyczących zasiedlania terenów miejskich o określonych lokalizacjach względem centrum miasta, głównych ciągów komunikacyjnych jak i dużych zakładów przemysłowych;
- określeniu rangi poszczególnych walorów lokalizacyjnych terenu w procesie wyboru najkorzystniejszego miejsca do zamieszkania lub prowadzenia działalności gospodarczej;
- zdefiniowaniu, przy wykorzystaniu teorii zbiorów rozmytych, pojęć jakościowych służących określeniu lokalizacji terenu, takich jak: „blisko”, „umiarkowanie daleko” i „daleko”.

Jako metodę pomiaru wybrano sondaż w formie wywiadu bezpośredniego. Wybór takiego podejścia podyktowany był dbałością o możliwie najwyższą jakość pomiaru i pełniejsze zrozumienie przez respondentów badanych zagadnień<sup>8</sup>.

W celu zanotowania wyników sondażu opracowano specjalnie do tego celu ankietę<sup>9</sup>. Ze względu na łatwość kodowania i późniejszej interpretacji wyników badania zawierała ona głównie pytania zamknięte. Pytania otwarte wykorzystano natomiast do zanotowania interpretacji pojęć służących opisowi odległości.

Przyjęto, że czynny udział, w przestrzennym kształtowaniu miasta, biorą aktywni zawodowo użytkownicy Bielska Podlaskiego (w wieku od 20-tego do 65-tego roku życia). Liczebność tak zdefiniowanej populacji oszacowano na 16 117 osób.

Założono, iż w wyodrębnionej przez autora populacji wszystkie osoby posiadają własne preferencje co do wyboru miejsca zamieszkania (niezależnie od tego czy posiadają one własne mieszkanie bądź też dom). Wśród tych osób są osoby prowadzące działalność gospodarczą lub zamierzające ją w przyszłości prowadzić i mające określone oczekiwania co do lokalizacji jej prowadzenia.

---

<sup>8</sup> S. Kaczmarczyk, *Badania marketingowe. Metody i techniki*. PWE, Warszawa 1999, s. 236-242.

<sup>9</sup> Tamże, s. 122-176.

Badanie preferencji lokalizacyjnych użytkowników miasta Bielsk Podlaski przeprowadzono na przełomie grudnia 2000 r. i lutego 2001 r. Ankieterami byli specjalnie przeszkoleni w tym celu studenci Instytutu Zarządzania i Marketingu Politechniki Białostockiej. Wywiady przeprowadzane były bezpośrednio w miejscu zamieszkania lub prowadzenia działalności gospodarczej przez respondentów. Na jednego ankietera przypadało przeciętnie 10 respondentów. Przebadano łącznie 1 033 respondentów z Bielska Podlaskiego.

Z przeprowadzonego badania wynika, iż pojmowanie sformułowań lingwistycznych wyrażających dystans przez poszczególnych respondentów jest bardzo różne, subiektywne. Widoczne jest, że ich definicja zależna jest od rodzaju opisywanego dystansu, np. inaczej rozumiana jest bliska odległość budynku mieszkalnego od centrum miasta, a inaczej jego bliskość od głównych ciągów komunikacji. Zauważalne są również różnice w ocenie tych samych konkretnych pojęć pomiędzy różnymi grupami użytkowników miasta. Konieczne było, więc opracowanie osobnych zbiorów rozmytych opisujących analizowane rodzaje odległości dla trzech wyróżnionych grup użytkowników miasta.

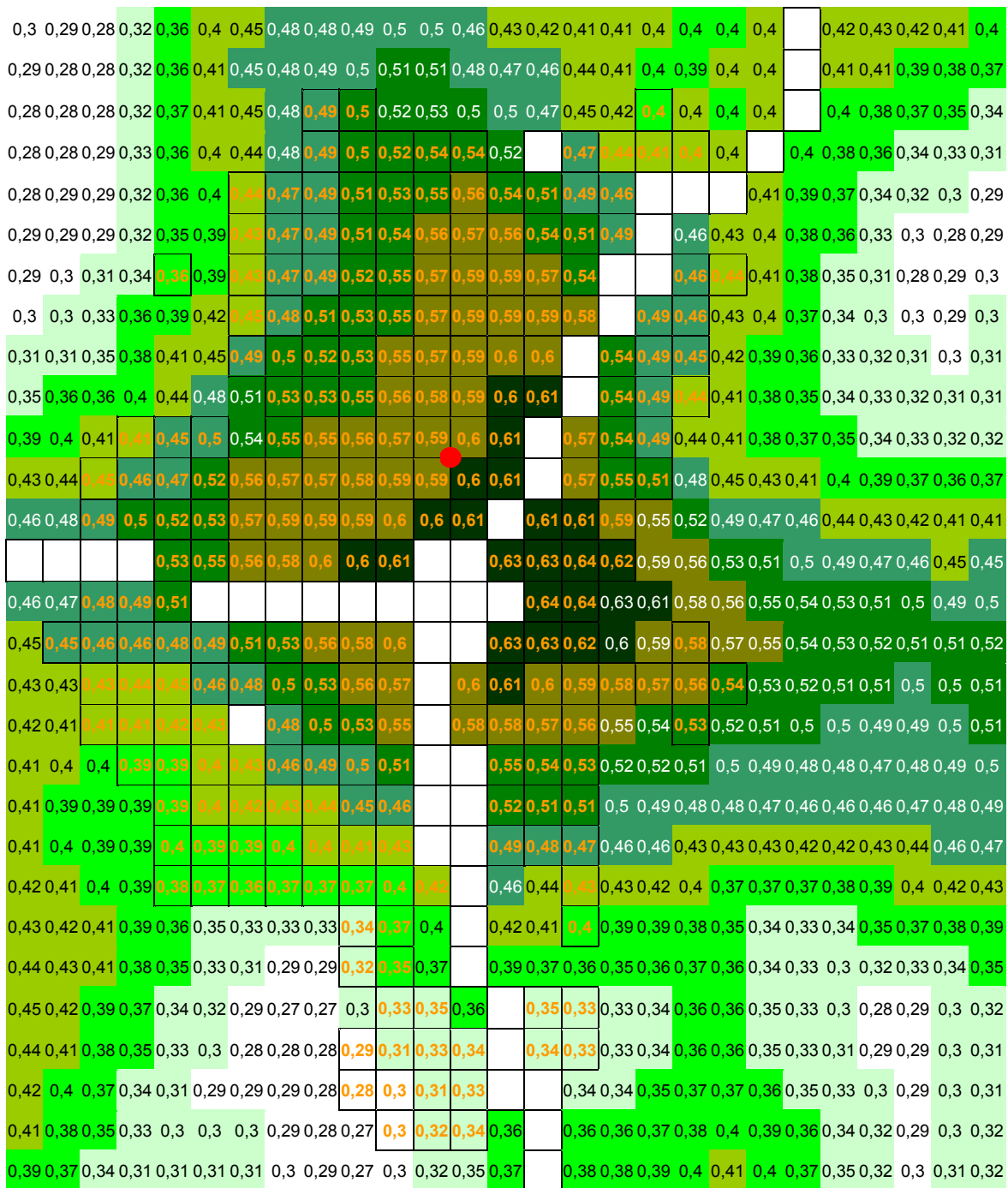
Zgromadzone w trakcie badania sondażowego informacje posłużyły wyznaczeniu prognozy przestrzennego rozwoju badanego terenu. Autor przeprowadził analizę zmian stanu zagospodarowania terenów miejskich stosując opisany powyżej rozmyty model. W efekcie jego wykorzystania opracowane zostały mapy atrakcyjności obszarów miejskich dla różnych rodzajów zagospodarowania (rys. 7). Następnie, na ich podstawie opracowana została jedna z wielu możliwych koncepcji rozwoju badanego terenu (rys. 8)<sup>10</sup>. Zakładała ona, że przestrzenny rozwój aglomeracji w początkowym jego okresie podążał będzie w kierunku zabudowy terenów, które zostały do tego przeznaczone zgodnie z zapisami zawartymi w studium zagospodarowania przestrzennego. Po zagospodarowaniu wszystkich przewidzianych pod zabudowę terenów rozwój miasta przejdzie w scenariusz żywiolowy. Przyjęte zostało, że wszelkie tereny miejskie nadające się pod zabudowę mogą zostać zagospodarowane niezależnie od decyzji urbanistycznych władz. Przestrzenny rozwój miasta zmierzał będzie w kierunku zagospodarowywania terenów posiadających najwyższą atrakcyjność lokalizacyjną.

Ostatnim krokiem w weryfikacji modelu jest opracowanie prognozy przestrzennego obciążenia mocą elektryczną Bielska Podlaskiego (rys. 9). Jej wyznaczenie odbywa się na podstawie opracowanego scenariusza rozwoju przestrzennego zagospodarowania badanego terenu oraz małoobszarowych charakterystyk popytu na moc.

---

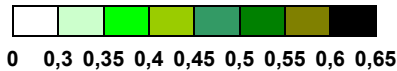
<sup>10</sup> *Studium uwarunkowań i kierunków zagospodarowania przestrzennego miasta Bielsk Podlaski*, Zarząd Miasta Bielsk Podlaski, 1998.





0 200 m

Atrakcyjność lokalizacyjna



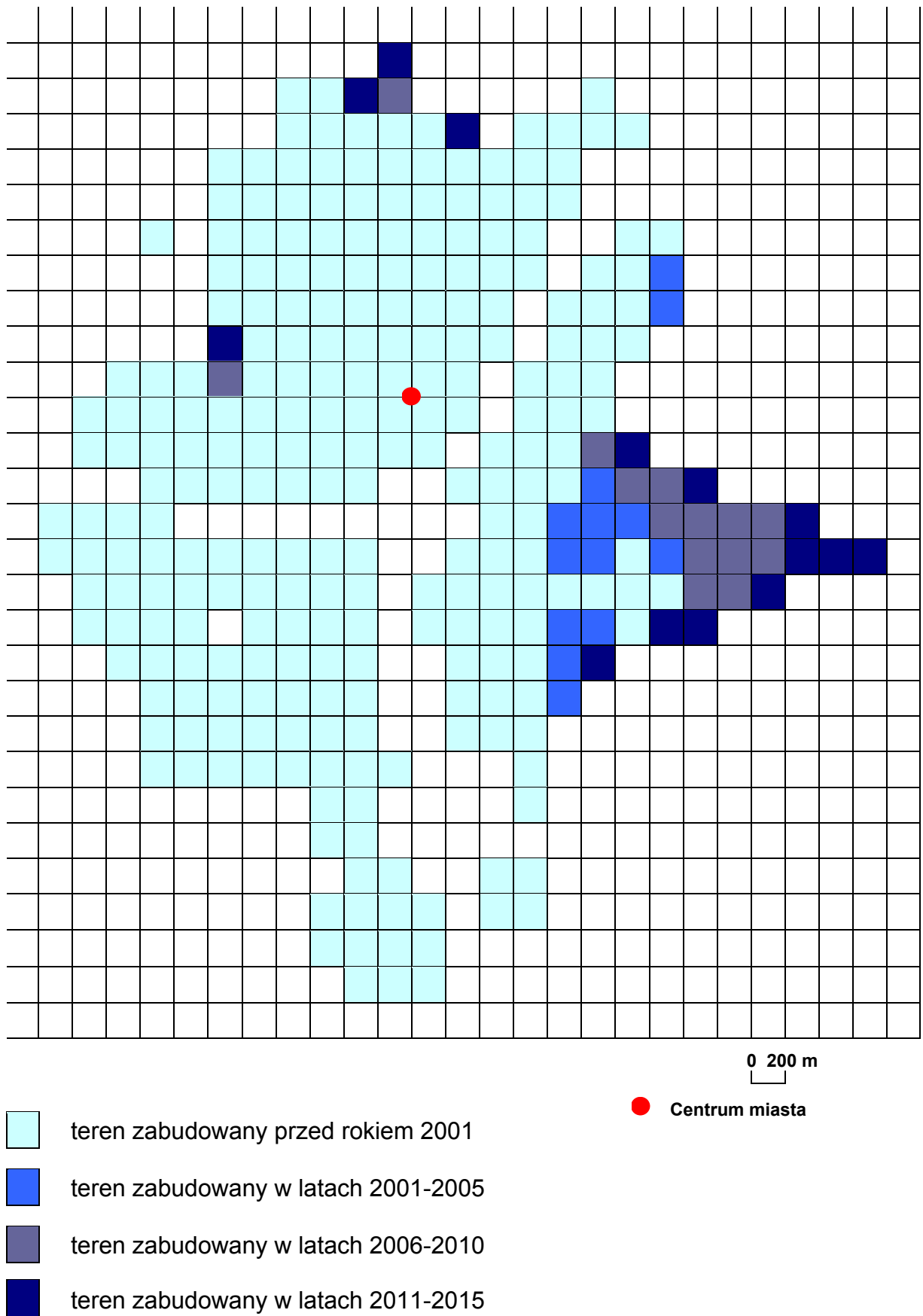
● Centrum miasta

- 0,55 teren zabudowany
- teren nieprzeznaczony pod zabudowę
- 0,33 teren budowlane niezagospodarowane

Rys. 7. Atrakcyjność terenów miejskich dla zabudowy mieszkalnej

Źródło: opracowanie własne.





Rys. 8. Prognoza zmiany stanu zagospodarowania przestrzennego Bielska Podlaskiego

Źródło: opracowanie własne.



Autor postanowił opracować trzy różne prognozy przestrzennego obciążenia mocą elektryczną dla: minimalnych, średnich i maksymalnych krzywych wzrostu obciążenia małoobszarowego.

Finałnym efektem pracy są mapy prognozowanego obciążenia przestrzennego mocą elektryczną Bielska Podlaskiego dla lat 2001-2015, dla trzech opracowanych scenariuszy wzrostu obciążenia małoobszarowego.

W celu oceny jakości opracowanego modelu prognozowania przestrzennego obciążenia mocą elektryczną terenów zurbanizowanych, dokonano jego weryfikacji na podstawie dostępnych danych historycznych. Wyznaczono prognozę przestrzennego obciążenia mocą elektryczną Bielska Podlaskiego przyjmując za punkt wyjścia rok 1990. Horyzont czasowy ustalono na rok 2000.

Porównując opracowaną prognozę rozkładu obciążenia przestrzennego z rzeczywistą jego wartością w roku 2000 można stwierdzić, że średni względny błąd prognoz obciążenia przestrzennego wszystkich małych obszarów wyniósł około 17,78%. Względny błąd szacunku sumarycznej wartości obciążeń małoobszarowych osiągnął poziom 11,18%.

Autor uważa, że poziom błędów prognozy, zważywszy na jej 10-letni horyzont czasowy, jest akceptowalny. Wyznaczona prognoza mogła z powodzeniem posłużyć jako dodatkowe źródło informacji w procesie planowania rozwoju sieci elektroenergetycznych na badanym terenie.

## **7. ZASADNICZE REZULTATY PRAC BADAWCZYCH**

Opracowany model, zdaniem autora, może zostać wykorzystany do opracowania rzetelnych prognoz przestrzennego obciążenia mocą elektryczną dla potrzeb planowania rozwoju miejskiej sieci elektroenergetycznej.

Wykonane, na podstawie zaprezentowanego w rozprawie modelu, prognozy nie pozwalają na określenie dokładnej liczby oraz lokalizacji stacji transformatorowych, które będą musiały powstać na badanym obszarze oraz stacji, w których transformatory będą musiały zostać wymienione na jednostki większe. Czynność ta wymaga dokładnej analizy przebiegu linii elektroenergetycznych średniego i niskiego napięcia. Sposób rozbudowy urządzeń elektroenergetycznych wynikać powinna z analizy optymalizacji strat przesyłu energii elektrycznej oraz z konieczności zachowania parametrów jakościowych dostaw energii do odbiorców.

Źródło cennej informacji stanowią również mapy atrakcyjności terenów miejskich, których opracowanie stanowi nieodzowną część realizacji prognozy rozwoju miasta. Stwarzają one urbanistom możliwość przeprowadzenia wielu różnych analiz mających na celu określenie prawdopodobnych scenariuszy rozwoju aglomeracji miejskiej.

## 8. WNIOSKI

Wykonane w omawianej rozprawie prace analityczne i badawcze potwierdzają słuszność postawionej w niej tezy, że możliwe jest opracowanie metody, przy zastosowaniu wnioskowania rozmytego, pozwalającej na wyznaczenie z dostatecznie dużą wiarygodnością prognozy przestrzennego obciążenia mocą elektryczną dla wspomagania zarządzania terenami zurbanizowanymi.

Na podstawie przeprowadzonych badań i analiz wykazano, że opracowana w rozprawie metoda prognozowania przestrzennego obciążenia mocą elektryczną terenów zurbanizowanych pozwala wykorzystać narzędzia, jakimi są teoria zbiorów rozmytych i wnioskowanie rozmyte do przewidywania kierunków przestrzennego rozwoju miast, a w następstwie do prognozowania przestrzennego obciążenia mocą elektryczną. Pozwala ona na wykorzystanie w procesie planistycznym subiektywnej, niejednokrotnie niepewnej i zarazem niepełnej informacji wyrażonej sformułowaniami lingwistycznymi.

W celu wykazania trafności postawionej w pracy tezy autor:

- dokonał analizy wpływu prognozowania przestrzennego obciążenia mocą elektryczną oraz planowania rozwoju infrastruktury technicznej na proces zarządzania rozwojem miasta;
- opracował model matematyczny przestrzennego prognozowania obciążenia mocą elektryczną dla zarządzania terenami zurbanizowanymi;
- opracował algorytmy umożliwiające rozwiązanie problemu prognozowania przestrzennego obciążenia mocą elektryczną dla zarządzania terenami zurbanizowanymi przy zastosowaniu teorii zbiorów rozmytych;
- opracował program komputerowy realizujący powyższe algorytmy;
- zebrał i opracował dane dotyczące obciążeń elektroenergetycznych stacji transformatorowych w Bielsku Podlaskim za okres 1967-2000;
- wykonał przykład prognozy przestrzennego zapotrzebowania na moc.

Do oryginalnych osiągnięć rozprawy autor zalicza:

- przeprowadzenie badań sondażowych dotyczących preferencji mieszkańców Bielska Podlaskiego co do walorów lokalizacyjnych terenów zurbanizowanych;
- opracowanie i interpretacja zbiorów rozmytych służących opisowi preferencji lokalizacyjnych;
- opracowanie i interpretacja zbiorów rozmytych służących opisowi odległości;
- wyznaczenie małoobszarowych charakterystyk wzrostu obciążenia przestrzennego mocą elektryczną dla Bielska Podlaskiego;

- opracowanie algorytmów oraz programów komputerowych rozwiązujących problem prognozowania przestrzennego obciążenia mocą elektryczną przy zastosowaniu wnioskowania rozmytego;
- wykonanie prognozy przestrzennego zapotrzebowania na moc dla badanego miasta.

Przedstawione w pracy badania i analizy mogą stanowić cenne źródło informacji i inspiracji dla komórek planistycznych energetycznych spółek dystrybucyjnych oraz organów administracji terenowej.

Prezentowana w pracy 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.

Zaprezentowana w pracy metoda stwarza przedsiębiorstwom sieciowym i urzędom gmin nowe możliwości pozyskania dodatkowych przesłanek w procesie planowania rozwoju sieci elektroenergetycznych. Pozwala ona na określenie obszarów miejskich, na których nastąpi rozwój zabudowy, czyli terenów, na których potrzebne będą inwestycje w zakresie rozbudowy nie tylko sieci elektroenergetycznych, ale i innych elementów infrastruktury technicznej. Tym samym może ona sprzyjać efektywniejszemu zarządzaniu miastem.

Zdaniem autora, zrealizowany został zasadniczy cel pracy, czyli opracowanie metody prognozowania przestrzennego obciążenia mocą elektryczną dla zarządzania terenami zurbanizowanymi, przy zastosowaniu teorii zbiorów rozmytych.

Problematyka prognozowania przestrzennego obciążenia mocą elektryczną terenów zurbanizowanych jest niezwykle interesującym obszarem naukowo-badawczym. Celowe jest prowadzenie dalszych prac w tej dziedzinie. Kontynuacja badań z tego zakresu mogłaby pozwolić na opracowanie uniwersalnego dla wszystkich polskich miast modelu prognozowania przestrzennego obciążenia mocą elektryczną terenów zurbanizowanych. Przeprowadzone dotychczas badania i analizy mogą być podstawą do dalszych prac w tej dziedzinie.

## 9. LITERATURA

1. Barrow C., Barrow P., *Business plan*. Wydawnictwo Businessman, Warszawa 1992.
2. Chow M., Tram H., *Application of fuzzy logic technology for spatial load forecasting*. "IEEE Transaction on Power Systems" 1997, nr 3.
3. Dane Urzędu Statystycznego w Białymstoku na dzień 31 grudnia 1999 r.
4. Kaczmarczyk S., *Badania marketingowe. Metody i techniki*. PWE, Warszawa 1999.
5. Krzakiewicz K., *Podstawy organizacji i zarządzania*. Akademia Ekonomiczna w Poznaniu, Poznań 1994.
6. Markowski T., *Zarządzanie rozwojem miast*. PWN, Warszawa 1999.
7. Nazarko J., Broadwater R.P., Tawalbeh N.I., *Identification of Statistical Properties of Diversity and Conversion Factors from Load Research Data*, [in:] MELECON'98, 9th Mediterranean Electrotechnical Conference, Tel-Aviv, Israel 1998, pp. 217-220.
8. Nazarko J., *Modeling of Power Distribution Systems*, Monographs No. 22, Białystok Technical University Publisher, Białystok 1993.
9. Ostasiewicz W., *Zastosowanie zbiorów rozmytych w ekonomii*. PWN, Warszawa 1986.
10. Popławski J., *Bielsk Podlaski. Plan miasta 1:7500*. Fundacja na Rzecz Rozwoju Lokalnego w Bielsku Podlaskim, Białystok 1995.
11. *Studium uwarunkowań i kierunków zagospodarowania przestrzennego miasta Bielsk Podlaski*, Zarząd Miasta Bielsk Podlaski, 1998.
12. *Ustawa z dnia 10 kwietnia 1997 r. Prawo energetyczne*, Dz.U. z 1997 r. Nr 54, poz. 348.