

**Joanicjusz Nazarko, prof. zw. dr hab. inż.**  
**Ireneusz Jakuszewicz, mgr inż.**  
Politechnika Białostocka  
Instytut Zarządzania i Marketingu  
e-mail: jnazarko@cksr.ac.bialystok.pl, ijakusz@cksr.ac.bialystok.pl

## Prognozowanie kierunków rozwoju aglomeracji miejskich z zastosowaniem wnioskowania rozmytego

### *Streszczenie*

Artykuł prezentuje podstawowe założenia metody prognozowania kierunków rozwoju aglomeracji miejskich z zastosowaniem wnioskowania rozmytego. Prognoza taka jest podstawą do planowania rozbudowy infrastruktury technicznej terenu, m.in. sieci elektroenergetycznych. Kierunki rozwoju miast są uwarunkowane m.in. bieżącym stanem i zmianami przestrzennego zagospodarowania terenu. Przeszkodę w prawidłowym określaniu skali i kierunków zmian stanowi zależność ich przebiegu od różnorodnych czynników o charakterze jakościowym. Omawiana metoda prognozowania pozwala wykorzystać obiektywną informację geograficzną oraz ocenę preferencji ludności odnośnie zabudowy terenów o określonych walorach lokalizacyjnych. Większość słownych opisów służących określeniu preferencji ludności, tj. „bliżej”, „dalej”, „przedkładać nad”, „uniknąć” jest z natury nieostra. Zastosowanie teorii zbiorów rozmytych i wnioskowania rozmytego do przetworzenia zgromadzonej informacji wejściowej pozwala przekształcić sformułowania lingwistyczne w wartości liczbowe, użyteczne przy obliczeniach komputerowych.

### **1. Wprowadzenie**

Merytorycznie i ekonomicznie uzasadnione planowanie rozwoju infrastruktury technicznej terenu wymaga znajomości prognozy kierunków rozwoju aglomeracji miejskiej dla różnych prawdopodobnych scenariuszy. Jednym z podstawowych elementów infrastruktury technicznej są sieci elektroenergetyczne. Przedsiębiorstwa dystrybucyjne na etapie planowania muszą zdecydować, czy budować nowe linie i stacje transformatorowe, czy przebudowywać istniejące urządzenia. Przygotowania do budowy nowych lub rozbudowy istniejących urządzeń zajmują z reguły kilka lat, co oznacza że inwestycje muszą być planowane z kilkuletnim wyprzedzeniem - pięć lub więcej lat naprzód. Trafność podjętych działań planistycznych w dużej mierze wpływa na zyski przedsiębiorstw dystrybucyjnych, rozwój ekonomiczny terenów objętych ich działaniem oraz na satysfakcję odbiorców energii elektrycznej. Badania prognostyczne dają przedsiębiorstwom dystrybucyjnym możliwość wcześniejszego określenia terenów, na których spodziewany jest wzrost konsumpcji mocy. Zapobiegliwe przedsiębiorstwa dystrybucyjne będą nabywać tereny, pod budowę stacji transformatorowych i prawa do dróg dojazdowych do tych, że stacji, które będą relatywnie tanie i będą blisko centrum obciążenia - przygotowując się przez to, najwcześniej jak to możliwe, do przyszłego wzrostu obciążenia.

### **2. Proces urbanistycznego rozwoju miasta**

Rozwój miasta należy postrzegać jako proces dynamiczny i ciągły, w którym ustawicznie następują zmiany. Nie istnieje stan „docelowy”, do którego miasto dąży, lecz każdy stan jest tylko przejściowym, punktem wyjścia do dalszych przeobrażeń [5]. Wśród czynników, które powinny być rozpatrywane przy sporządzaniu prognozy przekształcenia urbanistycznego terenu należy wymienić:

- zamierzenia przyszłościowe władz,
- przebieg szlaków komunikacji drogowej i kolejowej,
- stan uzbrojenia terenu (infrastruktura techniczna),
- ukształtowanie terenu, warunki klimatyczne i gruntowe,
- lokalizację ośrodków użyteczności publicznej (szkoły, uniwersytety, biblioteki, muzea, szpitale, parki itd.),
- wartość terenu i rodzaj własności.

Zamierzenia przyszłościowe władz, wcześniej ujawnione, mogą silnie wpływać na kształtowanie zabudowy, np. nowa droga powoduje rozwój zabudowy w pobliżu nie istniejącego jeszcze szlaku.

Szlaki komunikacji drogowej mają właściwości przyciągające zabudowę, porządkując ją zwykle w formie łańcuchowej albo w formie obudowy drogi, w przypadku zakazów zabudowy, w obudowie prostopadłych i równoległych dróg bocznych. Nowo tworzone przystanki kolejowe skupiają zabudowę wzdłuż dróg dojazdowych, w przypadku zaś istnienia stacji końcowej następuje rozproszenie zabudowy, proporcjonalnie duże do ważności stacji.

Istotne jest, czy przez rozpatrywany teren lub w jego pobliżu przebiegają sieci magistralne (elektroenergetyczne, kanalizacyjne, wodociągowe, gazu i ciepłownicze). Konieczność wykonania magistrali znacznie podnosi koszt inwestycji, a więc tereny położone w zasięgu sieci istniejących należy uznać za korzystniejsze niż tereny nie uzbrojone.

Rzeźba terenu, czyli naturalne ukształtowanie wysokościowe, stanowi z jednej strony dużą atrakcję, z drugiej jednak może powodować zjawiska niekorzystne. Znaczne rozrzeźbienie terenu daje możliwość lepszego komponowania budynków niż na terenie płaskim. Umożliwia ciekawe kształtowanie wnętrza osiedlowych i interesujące wiązanie ukształtowania terenu z zielenią. Jednocześnie duże spadki terenu utrudniają, a przy konieczności montażu budynków żurawiami, wręcz uniemożliwiają realizację. Trudności występują również w prowadzeniu komunikacji wewnętrznej (zbyt duże nachylenie ulic) i rozwiązaniu instalacji. Ponadto w dolinach poprzecznych do kierunku wiatru tworzą się zastoiny powietrza wilgotnego, które są bardzo niekorzystne pod względem klimatycznym i zdrowotnym.

Przydatność podłoża gruntowego na potrzeby budownictwa wynika z nośności i wilgotności gruntu. Nośność gruntu, czyli zdolność do przenoszenia przez grunt obciążeń od fundamentów budynków, zależy od rodzaju podłoża. Grunty mineralne (skaliste, kamieniste, grubo- i drobnoziarniste) nadają się do bezpośredniego posadowienia budynków, podczas gdy grunty organiczne i nasytowane ze względu na małą wytrzymałość są niekorzystne lub nieprzydatne. Poważnym ograniczeniem przydatności terenów do celów budowlanych jest wysoki poziom wód gruntowych. Jeżeli jest on wyższy, niż przewidywane zagłębienie fundamentów budynków, to konieczne jest obniżenie lustra wody gruntowej. Często zdarza się tak, że zabiegi te są zbyt kosztowne lub nie dają spodziewanych wyników. Wówczas teren taki określa się jako nie nadający się pod zabudowę.

Analizując klimat terenów mieszkaniowych, należy brać pod uwagę wiatry, wilgotność powietrza i nasłonecznienie. Zabudowy mieszkaniowej nie należy lokalizować na odsłoniętych wzniesieniach ze względu na uciążliwość wiejących tam wiatrów. Jednocześnie powinno się brać pod uwagę kierunek, z którego przeważnie wieją wiatry na danym terenie, aby uniknąć nawiewania zanieczyszczeń atmosferycznych z dzielnic przemysłowych. Tereny całkowicie odsłonięte od wiatru również nie są korzystne dla osiedli, ze względu na brak przewiewu i skłonność do utrzymywania się mgieł i wilgoci. Nadmierna wilgotność, wynikająca z bliskości rzeki lub jeziora albo podmokłego gruntu, jest czynnikiem wykluczającym przeznaczenie terenu pod zabudowę mieszkaniową. Wilgotność ta sprzyja bowiem rozwojowi bakterii i utrudnia przenikanie promieniowania słonecznego. Najkorzystniejsze warunki nasłonecznienia uzyskuje się na terenach o nachyleniu południowym, suchych i odsłoniętych od południa.

Zasadniczy wpływ na jakość życia w projektowanym osiedlu ma jego położenie w stosunku do innych terenów w mieście, głównie w stosunku do koncentracji miejsc pracy, do centrum ośrodka miejskiego, do terenów rekreacyjnych oraz możliwości zapewnienia prawidłowych powiązań komunikacyjnych między tymi terenami. Często tereny położone dalej od centrum lub koncentracji

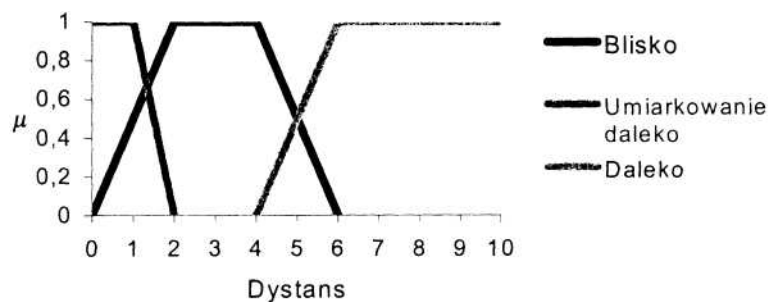
miejsc pracy są ze względu na dobre powiązania komunikacyjne bardziej przydatne do budowy nowych osiedli niż tereny położone bliżej, ale tej komunikacji pozbawione.

Duża liczba istniejących budynków znacznie ogranicza intensywność nowej zabudowy lub pociąga za sobą konieczność prowadzenia kosztownych wyburzeń. Wiąże się to z procedurą wykupu i (lub) wywłaszczenia oraz wypłatą odszkodowań i przydziałem mieszkań zastępczych dotychczasowym mieszkańcom. Działanie takie jest szczególnie trudne, jeżeli mamy do czynienia z zabudową w dobrym stanie technicznym lub zapewniającą środki utrzymania mieszkańcom (warsztaty, sklepy itp.). Często zagnatwane stosunki własnościowe, brak akt i materiałów hipotecznych powodują konieczność prowadzenia długotrwałych i skomplikowanych procesów sądowych, bez których niemożliwe jest ustalenie właściciela terenu. Jest to niezbędnym warunkiem do rozpoczęcia procedury wykupu lub wywłaszczenia [6, 7].

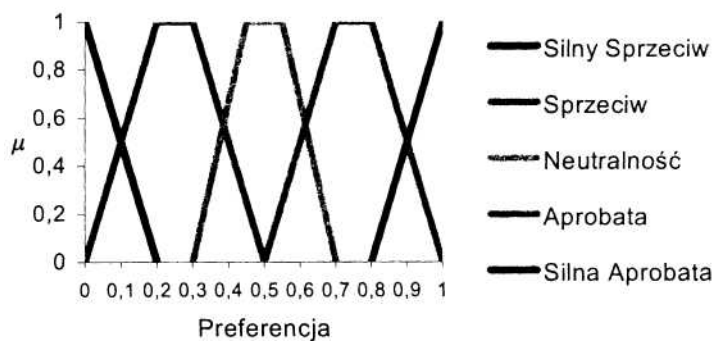
### 3. Zastosowanie logiki rozmytej do przetworzenia informacji słownej

Kierunki rozwoju aglomeracji miejskich oraz stan zagospodarowania przestrzennego zależne są w dużej mierze od preferencji ludności. Preferencje te dotyczą zasiedlania terenów o określonych walorach lokalizacyjnych względem głównych szlaków komunikacji, jak i centrum miasta. Większość słownych opisów służących określeniu preferencji ludności jest rozmyta, z natury nieostra. Konwencjonalne przybliżenia nie obejmują sformułowań lingwistycznych w efektywny sposób. Zastosowanie teorii zbiorów rozmytych i logiki rozmytej do przetworzenia zgromadzonej informacji wejściowej pozwala przekształcić sformułowania lingwistyczne w wartości liczbowe, użyteczne przy obliczeniach komputerowych.

Pojęcie takie jak „blisko”, „umiarkowanie daleko”, „daleko” można określić jako podzbiory rozmyte zbioru odległości. Przynależność elementu do zbioru rozmytego, w odróżnieniu od przynależności do konwencjonalnego zbioru, nie zawiera się w zbiorze  $\{0,1\}$ , lecz w przedziale jednostkowym  $[0, 1]$  (rys. 1). Funkcja przynależności do zbioru rozmytego służy do przetworzenia lingwistycznego opisu problemu w wartość przynależności, użyteczną w procesie wnioskowania rozmytego.



Rys. 1. Funkcja przynależności dla zbioru rozmytego odległości



Rys. 2. Funkcja przynależności dla zbioru rozmytego preferencji

Algorytm wnioskowania rozmytego stanowi zbiór zależności preferencji od odległości. Na rys. 3 i 4 pokazano zbiór zależności preferencji od odległości od głównych ciągów komunikacyjnych i zbiór zależności preferencji od odległości od centrum miasta. Wyjście procesu wnioskowania rozmytego jest następnie poddawane procesowi defuzyfikacji. Defuzyfikacja polega na wyborze, przy zastosowaniu wyjścia procesu wnioskowania rozmytego, liczbowej wartości reprezentatywnej dla zbioru rozmytego preferencji. Elementami ww. zbioru rozmytego są podzbiory opisujące sformułowania lingwistyczne, służące wyrażeniu preferencji: „silny sprzeciw”, „umiarkowany sprzeciw”, „neutralność”, „umiarkowana aprobata”,

Odległość	Preferencja
Blisko	Sprzeciw
Umiarkowanie daleko	Silna Aprobata
Daleko	Sprzeciw

Rys. 3. Zbiór zależności preferencji od odległości od głównych ciągów komunikacyjnych

Odległość	Preferencja
Blisko	Silny Sprzeciw
Umiarkowanie daleko	Aprobata
Daleko	Sprzeciw

Rys. 4. Zbiór zależności preferencji od odległości od centrum miasta

„silna aprobata”, (rys. 2) [1, 2]. Jedną z częściej stosowanych metod defuzyfikacji jest metoda Środka Obszaru (Center of Area - COA), w której wyjście defuzyfikatora oblicza się następująco [9]:

$$y^* = \frac{\sum_{i=1}^n y_i w_i}{\sum_{i=1}^n w_i} \quad (1)$$

gdzie:

- $y^*$  - wyjście defuzyfikatora,
- $y_i$  - wartość centralna i-tego zbioru rozmytego,
- $w_i$  - wartość przynależności do i-tego zbioru rozmytego.



Rys. 5. Schematyczny diagram procesu przetwarzania informacji słownej

Całkowity proces przetwarzania informacji słownej w wartość liczbową przedstawia rys. 5 [9]. Informacja słowna, opisująca preferencje ludności, przetworzona w wartość liczbową jest użyteczna w obliczeniach komputerowych.

#### 4. Schemat Yager'a wielokryterialnego podejmowania decyzji

Celem prognozy rozwoju aglomeracji miejskich jest przedstawienie, dla wybranego obszaru, z pewnym dostatecznie dużym prawdopodobieństwem stanu zagospodarowania przestrzennego terenu, w funkcji czasu. Prognoza dokonywana jest biorąc pod uwagę kryteria wymienione w pkt. 2, z uwzględnieniem rangi poszczególnych kryteriów w procesie decyzyjnym. Jest to więc proces wielokryterialnego podejmowania decyzji, wymagający wyboru jednej z alternatyw  $a_i$  z przestrzeni  $n$  alternatyw  $A = \{a_1, a_2, \dots, a_j\}$  biorąc pod uwagę zbiór  $r$  kryteriów  $O = \{o_1, o_2, \dots, o_j\}$ . Przy czym dla każdego z rozpatrywanych kryteriów przydzielony jest względny w stosunku do innych czynnik wagowy z przestrzeni  $B = \{b_1, b_2, \dots, b_j\}$ .

Istnieje wiele metod rozwiązywania problemu wielokryterialnego podejmowania decyzji, lecz nie wszystkie z nich uwzględniają rangę poszczególnych kryteriów decyzyjnych. Metoda zaproponowana przez Yager'a uwzględnia rangę każdego z kryteriów w procesie podejmowania decyzji. U podstaw metody Yagera leży ocena każdej z możliwych alternatyw pod kątem jak najlepszego spełnienia każdego z kryteriów. Miara decyzji dla poszczególnych alternatywa, wyraża się następująco:

$$M(o_i(a_j)b_i) = \bar{b}_i \vee o_i(a_j) \quad (2)$$

przy czym:  $\bar{b}_i = 1 - b_i$ ,

oraz  $\bar{b}_i \vee o_i(a_j) = \max \{ \bar{b}_i, o_i(a_j) \}$  (3)

Jeżeli zdefiniujemy  $C_i$  jako:  $C_i = \bar{b}_i \cup o_i$  (4)

to liczbowa miarą decyzji, wyrażoną w formie przynależności, dla alternatywy  $a$  pod kątem spełnienia kryterium  $o_i$  wadze  $b_i$  jest:

$$\mu_{C_i}(a_j) = \max \{ \bar{b}_i, \mu_{o_i}(a_j) \} \quad (5)$$

gdzie  $\mu_{o_i}(a_j)$  oznacza wartość przynależności dla alternatywy  $a_j$  pod kątem spełnienia kryterium  $o_i$ .

Równanie (5) można wyrazić w następującej postaci algebraicznej:

$$\mu_{C_i}(a_j) = \frac{\bar{b}_i + \mu_{o_i}(a_j) + |\bar{b}_i - \mu_{o_i}(a_j)|}{2} \quad (6)$$

Optymalnym rozwiązaniem jest alternatywa  $a^*$ , dla której wartość przynależności wyrażona jest następująco:

$$\mu_{C_i}(a_j) = \frac{\bar{b}_i + \mu_{o_i}(a_j) + |\bar{b}_i - \mu_{o_i}(a_j)|}{2} \quad (7)$$

#### 5. Uwagi końcowe

Wykorzystanie obiektywnej geograficznej informacji oraz teorii zbiorów rozmytych do oceny preferencji ludności, pozwala prognozować kierunki rozwoju aglomeracji miejskich, a co za tym idzie kierunek, w którym powinna podążać rozbudowa sieci elektroenergetycznej. W pełni efektywne wykorzystanie rzetelnej geograficznej informacji stało się możliwe dzięki zastosowaniu nowoczesnych systemów zarządzania informacją przestrzenną GIS (ang. Geographical Information System). Systemy GIS to nie tylko elektroniczna mapa wprowadzona do komputera, ale również sprzężona z nią wszechstronna baza danych o terenie, będąca źródłem informacji niezbędnych w procesie prognozowania przestrzennego obciążenia. GIS stwarzają planistom systemów elektroenergetycznych olbrzymie możliwości i stanowią jednocześnie olbrzymie wyzwanie. Prezentowana metoda skutecznie wykorzystuje możliwości jakie niesie ze sobą GIS oraz teorię zbiorów rozmytych do prognozowania przestrzennego obciążenia mocą.

**Bibliografia**

- [1] Chow M, Tram H.: Application of Fuzzy Logic Technology for Spatial Load Forecasting. IEEE Transaction on Power Systems, Vol. 12, No. 3. August 1997.
- [2] Chow M., Zhu J., Tram H.: Application of Fuzzy Multi-Objective Decision Making in Spatial Load Forecasting. IEEE Transaction on Power Systems, Vol. 13, No. 3. August 1998.
- [3] Chow M., Zhu J., Tram H.: Methodology of Urban Re-Development Considerations in Spatial Load Forecasting. IEEE Transaction on Power Systems, Vol. 12, No. 2. May 1997.
- [4] Miranda V., Monteiro C: Fuzy Inference in Spatial Load Forecasting.  
<http://power.inescn.pt/>
- [5] Regulski J.: Rozwój miast w Polsce. Aktualne problemy. PWN. Warszawa 1980.
- [6] Touszyński K.: Wstęp do projektowania architektonicznego. Wydawnictwo Szkolne i Pedagogiczne. Warszawa 1996.
- [7] Ustawa z dnia 7 lipca 1994 r. o zagospodarowaniu przestrzennym. Dziennik Ustaw Nr 15 poz. 139.
- [8] Wilis H.L.: Spatial Electric Load Forecasting. Marcel Dekker Inc. New York 1996.
- [9] Yager R.R., Filev D.P.: Podstawy modelowania i sterowania rozmytego. Wydawnictwo Naukowo-Techniczne. Warszawa 1995.