

**ANNA LOWER
ROBERT MASZTALSKI
AGNIESZKA SZUMILAS**

Politechnika Wrocławska

WYKORZYSTANIE METODY LOGIKI ROZMYTEJ W TWORZENIU SYSTEMOWYCH WĘZŁÓW *PARK AND RIDE* UWALNIAJĄCYCH CENTRUM OD SAMOCHODÓW

Abstract: Methods of Fuzzy Logic as a Tool in Creating System of *Park and Ride* Hubs Which Will Relieve City Centres from Cars. The development of automotive and parking problems in cities is forcing urban planners to search for new research methods. It is necessary to find a tool that allows us to look more broadly at the problems of communication: in the neighborhood, city and region. This paper presents methods of fuzzy logic as a tool in creating system of *Park and Ride* (P&R) hubs which will relieve city centres from cars.

Research of P&R facilities localizing can be used to verify the proposed location and evaluation of existing car parks. The method can be applied in urban planning of the P&R facilities location in relation to the accompanying functions. The presented method is easy to use and enables simplification of the expert analysis. The calculation of model can replace the laborious analysis of a team of people, which makes it more economical.

Keywords: Fuzzy logic, *Park and Ride*, urban planning.

Wstęp

Lawinowo rosnąca liczba samochodów, coraz wyższy poziom zanieczyszczenia powietrza oraz wiele problemów urbanistycznych związanych z komunikacją zmieniają strukturę współczesnych miast. Problemy parkingowe pojawiają się praktycznie we wszystkich miastach Polski. Szczególnie zagrożone są tereny historycznego centrum oraz otaczająca je zabudowa śródmiejska. Centrum to miejsce kontaktów społecznych oraz budowania tożsamości i wizerunku każdego miasta, a więc nie powinno być obszarem zdominowanym przez samochód. Problemem jest również sposób wykorzystania centralnego placu miasta, najczęściej historycznego rynku, przeznaczonego głównie do parkowania. Współczesna myśl urbanistyczna dąży do propagowania

dostępności pieszych funkcji usługowych zlokalizowanych w centrach miast. Struktura przestrzenna miasta nie jest stałą, ale wachlarzem procesów społecznych, gospodarczych i środowiskowych. Lokalizacja parkingów strategicznych – uwalniających centrum od samochodów – jest kwestią bliskiej przyszłości. Celem prezentowanej pracy jest przedstawienie zastosowania metody logiki rozmytej w tworzeniu systemowych węzłów *Park and Ride* (P&R). Logika rozmyta opiera się na zbiorach rozmytych. Przy tradycyjnym definiowaniu zbiorów możemy napotkać pewne trudności w określaniu przynależności niektórych elementów do danego zbioru, ze względu na to, że w klasycznym definiowaniu możemy określić jedynie dwa stany: prawda lub fałsz. W zbiorach rozmytych przynależność do zbioru może być proporcjonalnie rozłożona, np. pomiędzy dwa zbiory. Ta zmiana pozwala w dużo większym stopniu przybliżyć model wnioskowania do rzeczywistości.

Podstawą budowy modelu wnioskowania jest zdefiniowanie stanów jednoznacznie pewnych opierając się na wiedzy eksperta. Ekspert na początek musi wyznaczyć przestrzeń, w której jest pewien swojego wnioskowania, a stany pośrednie pomiędzy tymi obszarami wynikają z dalszych analiz matematycznych. Analizy takie przygotowuje specjalista w dziedzinie logiki rozmytej, dobierając odpowiednie funkcje zbiorów rozmytych i wzory obliczające wyniki pośrednie i wynik ostateczny. Na podstawie tak opracowanego modelu budowana jest aplikacja komputerowa, która może być bardzo wartościowym wsparciem dla osób wykonujących zadania związane z projektowaniem systemów P&R lub wyznaczaniem lokalizacji obiektów [Lower, Lower 2015; Lower *et al.* 2015].

1. Problemy komunikacyjne we współczesnych miastach

Struktura przestrzenna miasta podlega stałym przekształceniom powiązanim z rozległym wachlarzem procesów społecznych, gospodarczych i środowiskowych. Współczesne przemiany urbanistyki miast w Polsce, szczególnie po 1989 r., po odejściu od gospodarki centralnie sterowanej i wprowadzeniu zasad gospodarki rynkowej, łączą się z pojawieniem się w tym obszarze nieznanych do tej pory zjawisk i uwarunkowań przestrzennych. Doświadczenia ostatnich lat wskazują na to, że daleko nam jeszcze do stabilnej sytuacji w obszarze urbanistyki i gospodarki przestrzennej. Do zadań własnych samorządu gminnego włączono wszystkie sprawy publiczne o znaczeniu lokalnym, nie zastrzeżone ustawami na rzecz innych podmiotów, w tym przede wszystkim ład przestrzenny, gospodarkę nieruchomościami oraz ochronę środowiska i przyrody [art. 6 i 7 *Ustawa* 1990]. Szczegółowo zakres obowiązków gminy w zakresie kształtowania przestrzeni ustaliła *Ustawa z 7 lipca 1994 r. o zagospodarowaniu przestrzennym* [*Ustawa* 1994, art. 4, ust. 1] stwierdzając, że ustalanie przeznaczenia i zasad zagospodarowania terenu należy do zadań własnych gminy. W kolejnej, zmienionej w 2003 r., *Ustawie* [*Ustawa* 2003, art. 3] zapis ten doprecyzowano ustalając, że kształtowanie i prowadzenie polityki przestrzennej na terenie gminy, w tym

uchwalanie studium uwarunkowań i kierunków zagospodarowania przestrzennego gminy oraz miejscowych planów zagospodarowania przestrzennego, należy do zadań własnych gminy. Rozwój miast i gmin wynikający ze zmian cywilizacyjnych i postępu technologicznego powoduje niekontrolowany wzrost problemów komunikacyjnych obszarów zurbanizowanych. Współczesne tempo rozwoju motoryzacji, a tym samym wynikający z tego wzrost liczby pojazdów, stawia przed urbanistyką zadania, których podstawowym celem jest ograniczanie konfliktów przestrzennych. W ograniczonych przestrzeniach współczesnych miast istnieje potrzeba stosowania niekonwencjonalnych rozwiązań w zakresie komunikacji i parkowania.

Rozważając powyższe zagadnienia należy zauważyć, że po rozszerzeniu się Unii Europejskiej w latach 2004 i 2007, problematyka wdrażania „zrównoważonego transportu” w miastach zyskała na znaczeniu także w miastach polskich. Trudno jednak o rzetelną ocenę sytuacji, ponieważ system monitorowania zachowań komunikacyjnych w naszym kraju nie funkcjonuje właściwie. Model transportu w mieście przekłada się na wiele aspektów życia jego mieszkańców, a od przyjętych rozwiązań transportowych w znacznej mierze zależy to, co określa się mianem *jakości życia*. Nic więc dziwnego, że wybór określonej opcji transportowej przekłada się m.in. na takie kwestie, jak poziom hałasu, ilość terenów zielonych, czas dojazdu do pracy i innych miejsc, zanieczyszczenie środowiska, skala wypadków itp. To wszystko zaś składa się na to, jaki jest charakter danego miasta i jak się w nim żyje. Oparcie współczesnej polskiej urbanizacji na ruchu samochodowym nie pozwala, ze względu na coraz większy brak miejsca, na kontynuację tradycyjnego modelu miasta, a jak słusznie zauważa J. Gehl, o jakości przestrzeni miejskiej nie świadczą same budynki, ale przede wszystkim życie, jakie toczy się w nich oraz między nimi.

2. Węzły przesiadkowe P&R w Europie

Zapewnienie sprawnego systemu komunikacji kołowej oraz parkowania wpływa na funkcjonowanie całego organizmu miejskiego. Istnieje wiele kwestii wpływających na jakość oraz komfort wynikający ze sprawnego systemu komunikacyjnego miasta. Do działań przyjętych przez wiele miast Europy Zachodniej należy promowanie transportu zbiorowego, zachęcanie mieszkańców do poruszania się rowerem lub pieszo. Są to istotne działania, jednak nie wyeliminują problemu parkowania w miastach. Popularnym systemem w Europie mającym na celu odciążenie centrów miast jest system parkingów strategicznych P&R (ang. Parkuj i Jedź). Systemy takie sprawnie działają w wielu miastach europejskich. Mieszkańcy wielu ośrodków zrezygnowali z parkowania w centrum miasta na rzecz sprawnego systemu przesiadkowego. Lokalizacja obiektu P&R jest kluczowym elementem planowania polityki transportowej miasta. Odpowiednie umiejscowienie parkingu P&R w systemie komunikacyjnym sprzyja popularności obiektu, a co za tym idzie przekłada się na zwiększenie przepustowości

głównych dróg. Parkingi P&R oferują wygodną możliwość dostępu do centrum, które jest zwykle obszarem najbardziej zatłoczonym.

Przeciążenie komunikacyjne dotyczy obecnie wszystkich dużych miast Europy Zachodniej. Narastająca liczba samochodów w miastach, problem zanieczyszczenia środowiska oraz brak sprawnego systemu komunikacyjnego wymagają podejścia kompleksowego. Istotny jest również czynnik środowiskowy, który zyskał na znaczeniu w latach 90. w wyniku rosnącej świadomości. Warunkuje on lokalizację P&R w celu zmniejszenia zanieczyszczeń powietrza. Nie istnieją jasne kryteria dotyczące odległości parkingu P&R od centrum miasta. Na podstawie analizy lokalizacji istniejących obiektów można jednak wymienić różne kryteria oraz typy lokalizacji, które podają badacze [Clayton *et al.* 2014; Mingardo 2015]:

1. Odległy P&R – lokalizacja ta ma na celu przechwycenie kierowców blisko źródła, zazwyczaj są lokalizowane blisko miejsca zamieszkania na przedmieściach.
2. Zewnętrzny P&R – model typowy dla Wielkiej Brytani i USA. Mają na celu przechwycenie podróżników w ostatnim etapie ich podróży.
3. Lokalny P&R – te parkingi mają na celu przechwycenie podróżnych w wielu punktach wzdłuż głównych korytarzy transportowych.

Wszyscy badacze zajmujący się tematyką lokalizacji węzłów przesiadkowych są zgodni w trzech kwestiach dotyczących lokalizacji obiektu P&R. Istotna jest bliskość głównych dróg, P&R powinien być widoczny z drogi, ponadto, idealna wydaje się lokalizacja na granicy zatoru, ponieważ lokalizacja ta umożliwi użytkownikom korzystanie z samochodu w mniej zatłoczonej części drogi.

W Holandii, dobrze prowadzącej gospodarkę przestrzenną, udało się doprowadzić do tego, że stacje kolei miejskich i regionalnych zaczęły stanowić podcentra usługowe, gdzie lokują się nie tylko osiedlowe sklepy, ale i biura – mimo że kraj ten dysponuje gęstą siecią autostrad. Integracja środków transportu nie musi kończyć się na kolejach i autobusach. Może również obejmować samochody prywatne, dla których organizuje się parkingi w systemie Park&Ride położone w sąsiedztwie stacji kolei, a nawet ważniejszych przystanków tramwajowych. Pierwsze systemy P&R były inicjowane przez lokalne władze Wielkiej Brytani. Celem lokalizacji parkingu w latach 60.-70. XX. w. było zwiększenie dostępności centrów historycznych (np. Oxford, Nottingham). Zostały one wprowadzone w odpowiedzi na brak możliwości rozbudowy dróg w centrum miasta oraz z powodu braku niezagospodarowanych terenów, na których można by wybudować parking. Są też miasta, jak York w Wielkiej Brytanii, które zorganizowały na peryferiach parkingi P+R, przeznaczone dla odwiedzających z zewnątrz. Parkingi te połączone są z centrum miasta specjalnymi liniami autobusowymi, o zachęcającej taryfie i częstotliwości kursowania. Stopień wykorzystania urządzeń P+R jest nie tylko pochodną jakości podróży środkiem transportu publicznego, ale także – można wręcz sądzić, że przede wszystkim – dostępności miejsca parkingowego u celu podróży i kosztu jego wykorzystania. Niemniej jednak, zwykle stosuje się preferencyjne tary-

fy, obejmujące opłatę parkingową i przejazd tam i z powrotem. Stacje i przystanki na peryferiach i w strefie podmiejskiej są także miejscem, gdzie pozostawia się rowery. Coraz częściej wprowadza się również systemy wypożyczania rowerów, z parkingami umieszczonymi przy stacjach.

Pomysł opłat za wjazd do centrum miast jest kolejnym wspólnie realizowanym zjawiskiem. W Anglii, jeszcze przed Londynem, w 2002 r. wprowadziło je historyczne Durham. Zanotowano tam aż 85% spadek liczby samochodów dojeżdżających do centrum. Stosuje się je również w Znojmie na Morawach, a także w Rydze i Valletcie na Malcie (od 2007 r.). Wśród wielkich miast od 2006 r. (od 2007 na stałych zasadach) ma je także Sztokholm. W referendach, które odbyły się w aglomeracji w sprawie utrzymania myta, wszystkie gminy podmiejskie opowiedziały się przeciwko, a mieszkańcy stolicy niewielką większością głosów – za. System jednak wprowadzono na warunkach kompromisowych: zyski z myta zostaną przeznaczone na rozbudowę sieci drogowej w aglomeracji, a nie tylko na modernizację transportu publicznego samego Sztokholmu.

Niemal 200-tysięczna Bazylea, centrum ok. 350-tysięcznej aglomeracji, jest historycznym miastem nad górny Renem. W drugiej połowie lat 70. XX w., jak wszystkie miasta Europy Zachodniej, Bazylea była dosłownie zalana samochodami. Parkowano wszędzie: na podjazdach dostawczych, trotuarach, narożnikach ulic. Jednocześnie miasto nie było wolne od powszechnie znanych tendencji deaglomeracyjnych. Występował spadek liczby miejsc pracy w centrum, a także co gorsza spadek aktywności śródmiejskiego handlu. Miasto postawiło sobie za cel zahamowanie tego procesu. Środkami do tego miała być polityka przestrzenna i związana z nią polityka transportowa. Miała ona posłużyć zwiększeniu atrakcyjności i dostępności centrum innymi środkami. Zanim doszło do „bitwy” o parkingi, miasto miało już „niebieską strefę”, wprowadzoną na mocy *Ustawy federalnej* w 1986 r. Jej celem była racjonalizacja wykorzystania dostępnych miejsc: strefa ograniczyła radykalnie długość parkowania w godzinach pracy, co wyeliminowało większość zatrudnionych w centrum. Przyjęto, że parkingi mają służyć przede wszystkim mieszkańcom pierścienia wewnętrznego i przedsiębiorcom mającym tam firmy, a dopiero później – gościom, klientom i dostawcom. Trzeba było jednak dopiero obywatelskiego protestu, żeby ten stan rzeczy uznano za ostateczny. W 1991 r. zostało więc ustawowo zabronione publiczne subwencjonowanie budowy i utrzymania parkingów na obszarze kantonu Basel-Stadt, jeśli nie są to parkingi systemu P+R albo parkingi dla mieszkańców. Prawo kantonalne bezpośrednio wyklucza możliwość parkowania większości pracowników instytucji publicznych na terenie państwowym, niedostępnym dla pozostałych mieszkańców. Pracownicy mają korzystać z tramwajów, chodzić pieszo i jeździć rowerami. Dla dojeżdżających samochodem przewidziano urządzenia P+R zarówno na zewnątrz miasta, jak i na krawędzi strefy centralnej. Mogą one być przedmiotem finansowania publicznego.

3. Parametryzacja kryteriów lokalizacyjnych parkingów wielopoziomowych w ujęciu matematycznym

3.1. Potrzeba tworzenia węzłów parkingowych

W planach urbanistycznych rozwoju dużych miast rozwijany jest wspólnie trend ograniczania ruchu kołowego na rzecz komunikacji zbiorowej. W tym celu w istniejącej tkance miejskiej wyznacza się miejsca na lokalizację zbiorowych parkingów, które umożliwiają pozostawienie samochodu i dotarcie do wybranego celu w obrębie miasta za pomocą komunikacji zbiorowej (tzw. system P&R). Wiele aglomeracji miejskich decyduje się na takie rozwiązanie i musi wyznaczyć miejsca na lokalizację parkingów systemowych. Kryteria do oceny jakości wybranej lokalizacji są sformułowane w sposób ogólny i opisowy, natomiast czynniki, które podlegają ocenie mają często charakter niejednoznaczny i rozmyty, trudny do precyzyjnego wyznaczenia, natomiast możliwy do oceny przez eksperta na poziomie wartości zmiennych lingwistycznych. Ze względu na dużą ilość parametrów kryterialnych praktyka pokazała, że dobór lokalizacji tych miejsc w sposób intuicyjny, pozbawiony szczegółowej analizy wszystkich uwarunkowań, daje często negatywne rezultaty. Zdarza się, że zrealizowane obiekty nie są wykorzystywane zgodnie z oczekiwaniami [Mingardo 2013].

3.2. Modele lokalizacyjne P&R

W strukturze systemu kluczową rolę odgrywa lokalizacja poszczególnych obiektów. Zła lokalizacja, z punktu widzenia użytkowników, może doprowadzić do braku zainteresowania i w konsekwencji braku wykorzystania parkingu. Decyzja o wyborze miejsca nie jest łatwa, głównie z powodu wielu kryteriów, które należy wziąć pod uwagę jednocześnie. Stanowi to problem badawczy podejmowany przez naukowców dokładających starań w celu jego rozwiązania. Na przykład Farhana i Murray [2008] wyznaczają lokalizacje w sposób bardzo precyzyjny, na podstawie dokładnych danych wejściowych. Wykorzystanie takiego modelu jest jednak bardzo ograniczone, ponieważ pozyskanie tak szczegółowych i precyzyjnych danych wymaga dodatkowych nakładów pracy badawczej i środków. Jest to również czasochłonne. Ponadto, model ten został opracowany dla konkretnego miasta, bazuje na szczegółowych danych i analizach wykonanych dla istniejącego układu komunikacyjnego i istniejącego już systemu. Oparty jest na wcześniejszych doświadczeniach i ma na celu w dużej mierze poprawę stanu istniejącego systemu i jego dalszą rozbudowę. Spostrzeżenia autorów mogą być bardzo pomocne do prac związanych z tego typu modelowaniem, jednak nie jest to model uniwersalny i trudno go przenieść w sposób bezpośredni na inne miasta, więc jego implementacja do innych uwarunkowań przyniosłaby kolejne problemy do rozwiązania. Wszystkie te niedogodności sprawiają, że w praktyce może się to okazać niemożliwe do wykonania. Niemniej jednak autorzy pokazują, jak ważne

jest zagadnienie optymalnego rozmieszczenia obiektów P&R i że istnieje potrzeba skonstruowania analitycznych metod do ich lokalizacji.

W jednym z artykułów [Wang *et al.* 2004] również przyjęto pewne założenia, w znacznym stopniu upraszczające rzeczywistą komplikację uwarunkowań. Model został uproszczony do założenia liniowego układu miasta monocentrycznego, w którym główne źródła ruchu porannego generowane są przez osiedla mieszkaniowe zlokalizowane na obrzeżach. Autorzy co prawda proponują również sposób rozważenia modelu zakładając większą liczbę korytarzy komunikacyjnych, ale przyznają, że będzie to szczególnie trudne w przypadku braku symetrii, gdyż granice obszarów ciężących do danej lokalizacji będą przybierały skomplikowane formy.

Istnieje też wiele opracowań bazujących na platformie GIS. Autorzy korzystają z badań statystycznych [Horner, Grubestic 2001; Faghri *et al.* 2002], ale nie korzystają z nieprecyzyjnych, szacunkowych informacji, jak np. mapa akustyczna terenu, które mogą być wykorzystane dzięki użyciu logiki rozmytej.

3.3. Logika rozmyta (*fuzzy logic*) – historia, rozwój

Już na początku XX w. zaczęto zauważać, że zakres stosowania logiki klasycznej jest dość ograniczony. B. Russel zwrócił wówczas uwagę na możliwość zaistnienia paradoksów logicznych w klasycznej logice. Zauważył, że niektóre zdania mogą być jednocześnie fałszywe i prawdziwe, co w klasycznej teorii zbiorów jest niedopuszczalne. Spostrzeżenie to było podstawą do sformułowania przez matematyków w latach 20. zasady, że wszystko można stopniować. W latach 30. natomiast polski matematyk J. Łukasiewicz, stworzył podstawy logiki wielowartościowej. Pojęcie *zbioru rozmytego* (*fuzzy sets*) zostało wprowadzone po raz pierwszy w 1965 r. Zadeh z University of California w swojej pracy [Zadeh 1973] określił pojęcie rozmytości (*fuzziness*) oraz sformułował podstawowe pojęcia dotyczące zbiorów rozmytych. Na tych pojęciach zostały oparte reguły logiki rozmytej. W 1970 r. wspólnie z Bellmanem opublikował prace [Bellman, Zadeh 1970] o podejmowaniu decyzji w warunkach rozmytych. W 1973 r. Zadeh w swojej pracy [Zadeh 1973] uściślił podstawowe pojęcia i reguły logiki rozmytej. Zadeh zastosował logikę Łukasiewicza do każdego elementu zbioru i wyprowadził pełną algebrę zbiorów rozmytych.

Dalszy rozwój i zainteresowanie technikami opartymi na teorii zbiorów rozmytych nastąpił po docenieniu pierwszych praktycznych zastosowań. Pierwsze próby zastosowania nastąpiły dopiero w połowie lat 70. Dalsze zastosowania technik sterowania wykorzystujących algorytmy oparte na logice rozmytej zaczęły pojawiać się w Japonii po udanym wdrożeniu w latach 80. systemu sterowania metrem w Sendai. W latach 90. rozpoczął się duży rozkwit tej dziedziny, zaczęto wdrażać wiele nowych zastosowań w różnorodnych gałęziach przemysłu [Hirota 1993], pojawiło się również coraz więcej publikacji na ten temat [Drinkov *et al.* 1993; Grzegorzewski, Rzesiowski 1994; Yager, Zadeh 1994; Rutkowska 1997, 1998]. Również w Polsce logika rozmy-

ta spotkała się z dużym zainteresowaniem, czego dowodem mogą być prace takich autorów, jak [Drinkov *et al.* 1993] lub [Grzegorzewski, Rzesiowski 1994], a także prace [Rutkowskiej 1997-98]. Należy również wymienić prace: Kowalika [1994] oraz [Kwaśnicka, Makowska-Kaczmar 1994], a także [Grzegorzewski, Rzesiowski 1994]. Mimo dużych problemów ze sformalizowaną analizą modeli rozmytych, pojawiło się zaufanie do skuteczności ich działania. Przykładem tego mogą być zastosowania teorii zbiorów rozmytych w biomedycynie oraz do sterowania w jednej z elektrowni jądrowych w Belgii. W wyniku doświadczeń praktycznych wyraźnie ukształtowała się teza pozwalająca stwierdzić, że układy sterujące z logiką rozmytą nadają się szczególnie do sterowania obiektami złożonymi, wieloparametrowymi, nieliniowymi o szybkozmiennych parametrach, takimi, których opis matematyczny jest skomplikowany lub niepełny [Lower 2000].

Logika rozmyta opiera się na zbiorach rozmytych. Przy tradycyjnym definiowaniu zbiorów możemy napotkać pewne trudności w określaniu przynależności niektórych elementów do danego zbioru, ze względu na to, że w klasycznym definiowaniu określić możemy jedynie dwa stany: prawda lub fałsz. Przykładem może być definiowanie zbioru kobiet starych i młodych. Łatwo jest określić stany skrajne, tzn. w jakim wieku kobieta jest na pewno młoda (np. 20 lat), a w jakim jest na pewno stara (np. 80 lat). Trudniej jest określić jednoznacznie granicę między tymi zbiorami. Pytanie – czy kobieta 40-letnia jest stara czy młoda, a jeśli granica między zbiorami przebiega właśnie na linii 40 lat, to dlaczego dzień później ma być określona jako stara? W takich właśnie sytuacjach trudnych do jednoznacznego określenia wykorzystywana jest teoria zbiorów rozmytych. Zbiory rozmyte definiują przynależność do zbioru w sposób rozmyty. Najpierw należy zdefiniować stany jednoznacznie pewne. Definiuje się to na podstawie wiedzy i doświadczenia eksperta w danej dziedzinie. Dla powyższego przykładu będzie to określenie wieku kobiety młodej i starej, przy którym ekspert nie ma wątpliwości (np. 20 i 80 lat). Następnie buduje się funkcje przynależności, dzięki którym jesteśmy w stanie zdefiniować każdy stan pośredni, jako proporcjonalną przynależność do obu zbiorów. Na przykład kobieta 40-letnia jest jednocześnie młoda w 30% i stara w 70%. Granica pomiędzy zbiorami staje się właśnie rozmyta.

3.4. Wnioskowanie rozmyte

Klasyczne wnioskowanie rozmyte opiera się na wiedzy i doświadczeniu eksperta. Dalszy proces wnioskowania opisany jest matematycznie. Jest bardzo dużo wzorów, z których można skorzystać. Zaletą niewątpliwą jest możliwość korzystania z wiedzy, która sama w sobie jest rozmyta, trudna do określenia, czasem lekko przybliżona. Przydatne jest to w sytuacjach, w których nie dysponujemy jednoznacznymi danymi liczbowymi, łatwymi do sklasyfikowania.

Przy budowaniu modelu wnioskowania rozmytego wyznacza się reguły eksperckie. Ekspert na początek musi wyznaczyć przestrzeń, w której jest pewien swojego

wnioskowania, a stany pośrednie pomiędzy tymi obszarami wychodzą same, w wyniku dalszych analiz matematycznych. Analizy takie przeprowadza specjalista w dziedzinie logiki rozmytej, dobierając odpowiednie funkcje zbiorów rozmytych i wzory obliczające wyniki pośrednie i wynik ostateczny.

Po zdefiniowaniu takich pewnych obszarów buduje się reguły, pamiętając że problem należy rozbić na podproblemy, tak aby na wejściu było nie więcej niż 4 parametry wejściowe (w wyjątkowych sytuacjach maksymalnie 5). Takie rozbiecie jest konieczne ze względu na specyfikę wiedzy eksperta. Jeśli parametrów jest więcej niż 4, komplikacja systemu i liczba reguł jest na tyle duża, że ekspert nie jest w stanie wyciągnąć skutecznych wniosków w pojedynczej decyzji (wynika to z badań psychologicznych). Na przykład przy 4 parametrach wejściowych i zdefiniowaniu po 3 stany rozmyte dla każdego parametru uzyskujemy 81 reguł. Jeżeli zwiększymy o 1 wejście z 3 stanami rozmytymi uzyskamy już 243 reguły. Dlatego wnioskowanie należy rozbić na mniejsze podproblemy.

Sposób konstruowania takiego modelu najlepiej wyjaśni przykład modelu wnioskowania rozmytego, jaki został zastosowany w artykule [Lower, Lower 2015]. Jest to model służący do określania jakości danego terenu pod kątem lokalizacji parkingów systemowych P&R.

3.5. Opis modelu lokalizacji parkingu wielopoziomowego P&R

Ekspert określił najlepszą lokalizację P&R, jako miejsce zlokalizowane na obrzeżach miasta, przy drodze o dużym natężeniu ruchu, która stanowi wlot komunikacyjny do miasta, oraz w bliskim sąsiedztwie zgrupowania przystanków komunikacji zbiorowej. Najgorsza lokalizacja to zdaniem eksperta taka, która jest za blisko centrum lub trudno dostępna z głównych tras komunikacyjnych i nie mająca dostępu do środków komunikacji zbiorowej.

Parametry wejściowe zdecydowano się podzielić na dwie grupy – wskaźników terenowych i wskaźników komunikacyjnych.

Pierwszy model wnioskowania – wskaźnik terenowy.

Zdefiniowano parametry wejściowe:

I – napływ samochodów spoza miasta, korzystających z danej drogi. Parametr związany w dużej mierze z tzw. osiedlami satelitarnymi, czyli terenami zamieszkanymi przez osoby dojeżdżające codziennie do miasta. Im więcej użytkowników wybiera drogę, tym większa wartość *I*.

D – czas i wygoda dojazdu związana z jakością samej jezdni (liczba pasów ruchu, szerokość, jakość nawierzchni), jak również liczba skrzyżowań i innych przeszkód spowalniających ruch oraz przepustowość obiektu drogowego.

A – czytelność dostępu do obiektu od strony drogi głównej – czy obiekt jest oddalony i obsługiwany przez drogę o niższej klasie, jeśli tak, to jak bardzo oddalony i czy dostęp jest czytelnie zorganizowany.

S – odległość parkingu od centrum miasta.

TC – terenowy wskaźnik lokalizacji, przyjmujący wartości: *bardzo dobry, dobry, dostateczny, mierny, niedostateczny*.

Następnie parametrom przyporządkowano wartości, jakie mogą przyjąć:

I – *duży, średni, mały*, D – *wysoka, niska*, A – *dobra, zła*, S – *duża, średnia, mała*.

W kolejnym kroku zbudowane zostały reguły, np.:

Jeśli I jest *duży* i D jest *niska* i A jest *dobra* i S jest *duża* to TC jest *dostateczna*.

Drugi model wnioskowania – wskaźnik jakości komunikacji zbiorowej.

K , – jakość węzła: uwarunkowania świadczące o jego atrakcyjności – liczba możliwych środków do wyboru (autobus, tramwaj, metro, kolej itp), liczba różnorodnych połączeń w ramach każdego ze środków, jakość i częstotliwość kursowania połączeń (tabor i taktowanie).

P – odległość, jaką musi pokonać podróżny po wyjściu z samochodu w celu przesiadki do komunikacji zbiorowej.

S – odległość parkingu od centrum miasta.

PQ – wskaźnik jakości komunikacji zbiorowej, przyjmujący wartości: *bardzo dobry, dobry, dostateczny, mierny*.

Wartości przyporządkowane parametrom:

K – *duża, średnia, mała*, P – *duża, mała*, S – *duża, średnia, mała*.

Kolejne zbudowane reguły, np.:

Jeśli K jest *duży* i P jest *mała* to PQ jest *dobra*.

Sumaryczny model wnioskowania

Rezultaty wnioskowania z dwóch modeli lokalnych są użyte jako dane wejściowe dla sumarycznego modelu wnioskowania (IOCM). Wyznaczone wcześniej wskaźniki TC i PQ stają się więc danymi wejściowymi, a w rezultacie otrzymuje się parametr sumaryczny, nazwany przez autorów CM , określony w skali wartości: *bardzo dobry, dobry, dostateczny, mierny, niedostateczny*.

Definiuje się reguły rozmyte, np.:

Jeśli PQ jest *bardzo dobry* i TC jest *niedostateczny* to CM jest *niedostateczny*.

Test metody.

Metoda została przetestowana na kilku istniejących parkingach P&R. Rezultaty okazały się zgodne z rzeczywistością, co potwierdza sensowność takiego podejścia i daje perspektywę rozwoju metody [Lower, Lower 2015].

Podsumowanie

Na podstawie przeprowadzonych analiz oraz w wyniku przeprowadzonych badań można stwierdzić, że wnioskowanie rozmyte może mieć szerokie zastosowanie w ocenie wskaźników urbanistycznych, a w szczególności w ocenie lokalizacji parkingów. Dotychczasowa ocena wskaźników urbanistycznych przeprowadzana była przez eksperta (człowieka) i opierała się na parametrach trudno mierzalnych, często

nie popartych precyzyjnymi pomiarami. Takie wnioskowanie najczęściej było proste dla nieskomplikowanych, jednoznacznych układów. Układy mieszane, wymagające bardziej złożonej analizy, sprawiały problem w dokonywaniu jednoznacznej oceny nawet doświadczonemu ekspertowi. Specyfika logiki rozmytej jest nakierowana na wsparcie dokładnie takich działań eksperta.

Badania lokalizacji węzłów przesiadkowych P&R mogą zarówno zweryfikować, a także ocenić istniejące już lokalizacje. Mogą służyć modelowaniu przyszłych węzłów komunikacyjnych. Dodatkowo przedstawiony sposób jest łatwy w użyciu, co jest jego zaletą, ponieważ umożliwia uproszczenie profesjonalnej analizy ekspertów. Ponadto, program pozwala na ocenę wielu lokalizacji w krótkim czasie, pozwala to na szerszy pogląd na ten problem. Obliczenia modelu może zastąpić żmudnej analizy zespół ludzi, co jest bardzo cenne. Wyniki badań dotyczące oceny istniejących P&R przeprowadzone zostały dla kilku miast. Wyniki analizy były zgodne z opiniami zespołu ekspertów. Jest to ważny wniosek – stanowi podstawę do uznania metody logiki rozmytej jako narzędzia istotnego w planowaniu przyszłych węzłów P&R. Tym samym może być to narzędzie przyszłościowe dla planowania przestrzennego oraz urbanistyki, tak aby lokalizacje węzłów przesiadkowych P&R nie były wyznaczane przypadkowo.

Literatura

- Bellman R. E., Zadeh L. A. 1970, *Decision – Making in Fuzzy Environment*. Man.Sc.17,N.4.
- Clayton W., Ben-Elia E., Parkhurst G., Ricci M., 2014, *Where to Park? A Behavioural Comparison of Bus Park and Ride and City Center Car Park Usage in Bath*. Journal of Transport Geography, 36, UK, s. 124–133.
- Drinkov D., Hellendoorn H., Reinfrank M., 1993, *Wprowadzenie do sterowania rozmytego*. WNT, Warszawa, (An Introduction to Fuzzy Control), Springer-Verlag Berlin Heidelberg.
- Faghri A., Lang A., Hamad K., Henck, H., 2002, *Integrated Knowledge-Based Geographic Information System for Determining Optimal Location of Park-and-Ride Facilities*. Journal of Urban Planning & Development, t. 128, s. 18.
- Farhana B., Murray A. T., 2008, *Siting Park-and-Ride Facilities Using a Multi-objective Spatial Optimization Model*. Computers & Operations Research, 35, s. 445–456.
- Grzegorzewski M., Rzesiowski D., 1994, *Sieci neuronowe i logika rozmyta w systemach eksperckich*. Informatyka, nr 6.
- Hirota K., 1993, *International Applications of Fuzzy Technology*. Springer-Verlag.
- Horner M. W., Grubestic T. H., 2001, *A GIS-based Planning Approach to Locating Urban Rail Terminals*. Transportation, 28, s. 55–77, © Kluwer Academic Publishers. Printed in the Netherlands.
- Kowalik S., 1994, *Wykorzystanie zbiorów rozmytych do podejmowania decyzji*. PTI, Szczyrk.

- Kwaśnicka H., Makowska-Kaczmar U., 1994, *Sztuczna inteligencja w sterowaniu*. Informatyka, nr 6.
- Lower M., 2000, *Sterowanie rozmyte obiektem nieliniowym na przykładzie śmigłowca*. Praca doktorska, Politechnika Wroclawska.
- Lower M., Lower A., 2015, *Evaluation of the Location of the P&R Facilities Using Fuzzy Logic Rules*, [w:] *Advances in Intelligent and Soft Computing*. Springer *Theory and Engineering of Complex Systems and Dependability: Proceedings of the Tenth International Conference on Dependability and Complex Systems DepCoS-RELCOMEX*, June 29 – July 3, 2015, Brunów, Poland, (W. Zamojski *et al.* red.). Springer, Cop, s. 255-264.
- Lower A., Lower M., Masztalski R., Szumilas A., 2015, *The Location of Park and Ride Facilities Using Fuzzy Inference Model*. Proceeding Book, International Scholarly and Scientific Research & Innovation, October 29–30, s. 2447–2454, Paryż.
- Mingardo G., 2013, *Transport and Environmental Effects of Rail-based Park and Ride: Evidence from the Netherlands*. Journal of Transport Geography, 30, s. 7–16.
- Rutkowska D., 1997, *Fuzzy Inference Systems with Networks-based Defuzzification*. Archiwum Informatyki Teoretycznej i Stosowanej, t. 9.
- Rutkowska D., 1997a, *Neural Structures of Fuzzy Systems ISCAS '97*. Hong Kong Convention and Exhibition Centre, June 9-12.
- Rutkowska D., 1998, *Non-singleton Fuzzy Models*. Journal of Applied Mathematics and Computer Science, nr 2.
- Rutkowska D., 1998a, *On Generating Fuzzy Rules by an Evolutionary Approach*. Cybernetics and Systems, An International Journal.
- Ustawa z 7 marca 1990 r. o samorządzie gminnym*, art. 6 i 7.
- Ustawa z 7 lipca 1994 r. o zagospodarowaniu przestrzennym*, art. 4, ust. 1.
- Ustawa z 27 marca 2003 r. o planowaniu i zagospodarowaniu przestrzennym*. art. 3, ust. 1.
- Wang J. Y. T., Yang H., Lindsey R., 2004, *Locating and Pricing Park-and-Ride Facilities in a Linear Monocentric City with Deterministic Mode Choice*. Transportation Research, Part B, 38, s. 709–731.
- Yager R. R. Zadeh L. A., 1994, *Fuzzy Sets, Neural Networks and Soft Computing*. Van Nostrand Reinhold, New York.
- Zadeh L., 1965, *Fuzzy Sets*. Information and Control, t. 8.
- Zadeh L., 1973, *Outline of New Approach to the Analysis of Complex Systems and Decision Processes IEEE Transactions on Systems*. Man, and Cybernetics, SMC-3.