

## Porównanie systemów rozmytych w procesie sterowania sygnalizacją świetlną

**Streszczenie.** W niniejszej pracy przedstawiono porównanie wybranych systemów rozmytych w procesie sterowania sygnalizacją świetlną. Główną zaletą prezentowanego rozwiązania jest uzyskiwanie takich wartości aktywności światła zielonego, które ściśle związane są z warunkami panującymi w obrębie badanego skrzyżowania drogowego. Takie rozwiązanie ma przełożenie na ogólny czas, który potrzebny jest do rozładowania ruchu pojazdów oraz ma znaczący wpływ na stan infrastruktury drogowej. W celu porównania efektywności prezentowanych rozwiązań stworzono aplikację, w której wykorzystano gotowy scenariusz, który został zaprezentowany w literaturze.

**Abstract.** In this paper a comparison of selected fuzzy systems in the process of traffic lights control was presented. The main advantage of the presented solution is getting an adequate time activity of green light that is closely related to the conditions on the tested road intersection. This approach is focused in the overall time that is required to discharge traffic and has a significant influence on the road infrastructure. The fuzzy systems presented in this paper were tested on the traffic scenario taken from literature. (**Comparative Study on Application of Fuzzy Systems for Traffic Lights Control**).

**Słowa kluczowe:** logika rozmyta, sterowanie sygnalizacją świetlną, Mamdani, TSK.

**Keywords:** fuzzy logic, traffic lights control system, Mamdani, TSK.

### Wstęp

Systemy rozmyte [1-6,18,19] znajdują zastosowanie w różnych dziedzinach życia np. do wspomaganie rozpoznania epilepsji na podstawie sygnału EEG [11], do sterowania balansom pomiędzy właściwościami eksploracji a eksploatacji w algorytmach ewolucyjnych [9], do sterowania elektrycznym wózkiem inwalidzkim [12], do wspomaganie procesu wykrywania krawędzi w obrazach kolorowych [13], do wspomaganie nawigacji robota mobilnego z wykorzystaniem algorytmu wspomaganego nauczania [14], do kontroli grupy wind w celu optymalizacji zużywanego przez nie energii [15], do predykcji wyników meczów piłkarskich [16].

W ostatnich latach nastąpił silny rozwój badań związanych z wykorzystaniem systemów rozmytych jak i sztucznej inteligencji w procesach decyzyjnych. Jedną z możliwych aplikacji systemów rozmytych do wspomaganie podejmowanych decyzji jest ich wykorzystanie w procesie sterowania sygnalizacją świetlną [7,10]. Dzięki zastosowaniu sterowania rozmytego możliwe jest zmniejszenie kosztów utrzymania infrastruktury drogowej. Przy projektowaniu dedykowanych rozwiązań dla sterowania ruchem pojazdów pożądaną cechą jest również przyjęcie maksymalnych czasów otwarcia dróg przejazdu w taki sposób, by nie generowały one przeciążeń we wszystkich kierunkach przejazdu.

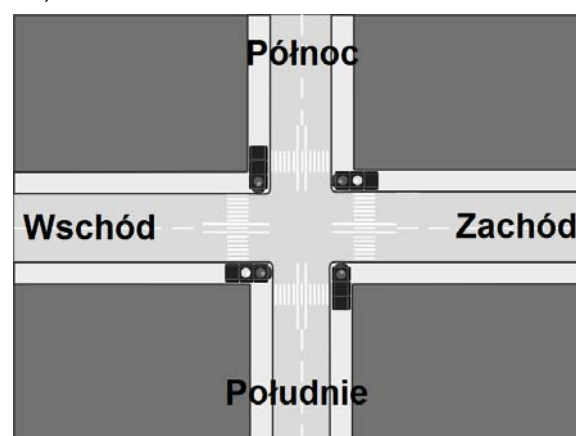
Systemy rozmyte charakteryzują się metodą reprezentacji wiedzy, która jest prezentowana w sposób symboliczny za pomocą reguł rozmytych, a jej przetwarzanie, czyli wnioskowanie i zamiana wartości nie rozmytych (tzw. wartości ostrych) na rozmyte i odwrotnie jest numeryczne poprzez operowanie wartościami funkcji przynależności. W niniejszej pracy zaprojektowany został programowy system porównawczy dla dwóch typów systemów rozmytych w aspekcie ich wykorzystania do sterowania sygnalizacją świetlną. Utworzony system porównawczy wykorzystuje jako dane wejściowe liczbę pojazdów na poszczególnych kierunkach przejazdu oraz łączny ciężar tych pojazdów. Badane są dwa systemy rozmyte oparte na: założeniach Mamdani'ego (MAM) [8] oraz założeniach Takagi-Sugeno-Kang'a (TSK) [8]. Oba porównywane systemy wykorzystują te same dane wejściowe, które generowane są w sposób losowy zgodnie ze scenariuszem symulacji zaprezentowanym w sekcji trzeciej niniejszego artykułu.

Struktura artykułu jest następująca. W sekcji drugiej

przedstawiono badane systemy rozmyte. Sekcja trzecia opisuje zaprezentowany scenariusz symulacji. W sekcji czwartej zaprezentowane zostały wyniki uzyskane podczas przeprowadzonego eksperymentu. Ostatnia część niniejszego artykułu zawiera jego podsumowanie.

### Wykorzystane systemy rozmyte

W prezentowanych systemach rozmytych zakładamy sterowanie sygnalizacją świetlną na tradycyjnym skrzyżowaniu drogowym (rys.1). Oba systemy rozmyte (MAM i TSK) posiadają takie same 4 wejścia i 2 wyjścia. Danymi wejściowymi są: liczba pojazdów na drodze wschód-zachód ( $LP_{WZ}$ ), liczba pojazdów na drodze północ-południe ( $LP_{PP}$ ), ciężar pojazdów na drodze wschód-zachód ( $CP_{WZ}$ ) oraz ciężar pojazdów na drodze północ-południe ( $CP_{PP}$ ). Dane wyjściowe to: czas aktywności światła zielonego na drodze wschód-zachód ( $CA_{WZ}$ ) oraz czas aktywności światła zielonego na drodze północ-południe ( $CA_{PP}$ ).

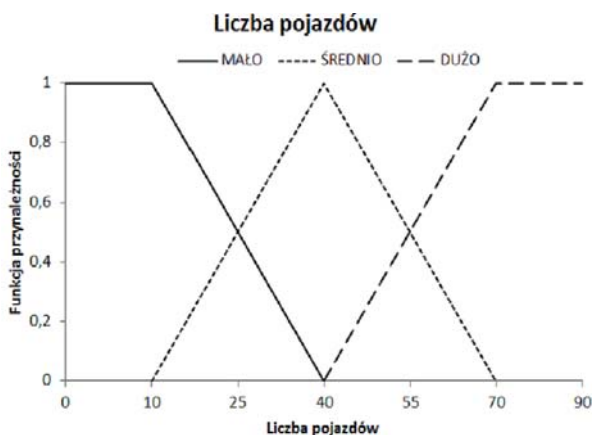


Rys.1. Wizualizacja badanego skrzyżowania drogowego z zaznaczeniem dróg przejazdu: wschód-zachód (WZ) oraz północ-południe (PP)

Pierwszy system rozmyty oparty jest na założeniach Mamdani'ego. Jest on rozmytym systemem hierarchicznym [17] i działa w sposób następujący:

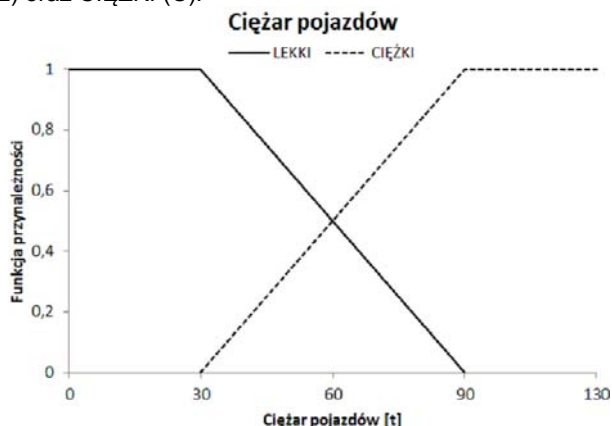
**Krok 1:** w momencie dokonywania obliczeń do bloku rozmywania trafiają dane określające:  $LP_{WZ}$  i  $CP_{WZ}$  (pierwszy podsystem rozmyty) oraz  $LP_{PP}$  i  $CP_{PP}$  (drugi podsystem rozmyty).

**Krok 2:** po otrzymaniu danych wejściowych następuje określenie stopnia przynależności tych danych do poszczególnych zbiorów rozmytych (tzw. proces rozmywania). Zmienna lingwistyczna opisująca liczbę pojazdów (LP) dla każdej z dróg (WZ i PP) została zaprezentowana na rysunku 2. Posiada ona trzy wartości lingwistyczne: MAŁO (M), ŚREDNIO (Ś), DUŻO (D).



Rys.2. Zbiory rozmyte opisujące liczbę pojazdów

Zmienna lingwistyczna opisująca ciężar pojazdów (CP) dla każdej z dróg (WZ i PP) została zaprezentowana na rysunku 3. Posiada ona dwie wartości lingwistyczne: LEKKI (L) oraz CIĘŻKI (C).



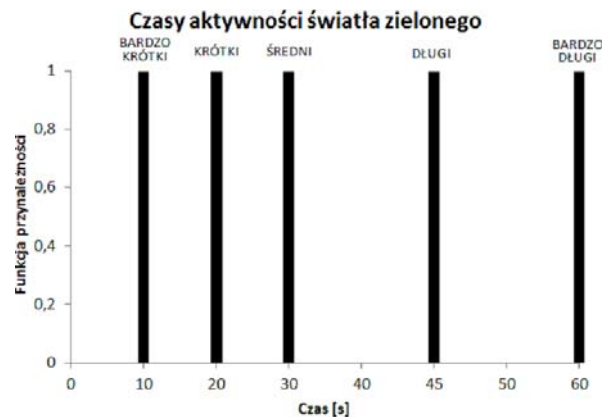
Rys.3. Zbiory rozmyte opisujące ciężar pojazdów

Zmienne wyjściowe  $CA_{WZ}$  (z pierwszego podsystemu rozmytego) i  $CA_{PP}$  (z drugiego podsystemu rozmytego) opisane są w postaci singletonów (rys.4) i posiadają 5 wartości lingwistycznych: BARDZO KRÓTKI (BK), KRÓTKI (K), ŚREDNI (ŚR), DŁUGI (DŁ) oraz BARDZO DŁUGI (BD).

**Krok 3:** następnie dane z procesu rozmywania trafiają do bloku wnioskowania, gdzie najważniejszą rolę odgrywa poprawnie skonstruowana baza reguł. W tym przypadku składa się ona z 12 reguł (po 6 reguł dla każdego kierunku ruchu pojazdów), na które składają się po dwie wartości wejściowe dla każdego z dwóch podsystemów rozmytych ( $LP_{WZ}$  i  $CP_{WZ}$  – pierwszy podsystem rozmyty oraz  $LP_{PP}$  i  $CP_{PP}$  – drugi podsystem rozmyty). Wszystkie reguły przedstawiono w tabeli 1. Sposób ich kodowania jest następujący: dla przykładu zapis  $\{M, L, BK\}$  dla drogi wschód-zachód oznacza regułę postaci:

Jeżeli  $LP_{WZ}=M$  i  $CP_{WZ}=L$  To  $CA_{WZ}=BK$

Dla drogi północ-południe reguły te opisane są w sposób identyczny, różnica dotyczy jedynie jednej wartości wyjściowej, co związane jest ściśle z uprzywilejowaniem przejazdu pojazdów na drodze wschód-zachód.



Rys.4. Zmienne wyjściowe opisujące czas aktywności światła zielonego

Tabela 1. Zdefiniowane reguły rozmyte

Zdefiniowane reguły dla drogi wschód-zachód (WZ)		
M, L, BK	Ś, L, ŚR	D, L, DŁ
M, C, K	Ś, C, BD	D, C, BD
Zdefiniowane reguły dla drogi północ-południe (PP)		
M, L, BK	Ś, L, ŚR	D, L, DŁ
M, C, K	Ś, C, DŁ	D, C, BD

**Krok 4:** stopnie aktywacji przesłanek zostają wyznaczone za pomocą operatora t-normy PROD [8].

**Krok 5:** ostatnim etapem jest proces defuzyfikacji, w którym z uwagi na prostotę obliczeń oraz uwzględnienie wszystkich aktywowanych przesłanek wykorzystano metodę wysokości [8].

W drugim badanym systemie rozmytym wykorzystano sterownik stworzony na podstawie modelu TSK (także jest to rozmyty system hierarchiczny złożony z dwóch podsystemów rozmytych identycznie jak w MAM). Zasadnicza różnica, w porównaniu do modelu MAM, polega na definicji reguł rozmytych. W przypadku stosowania modelu TSK wynik działania reguły opisany jest funkcją liniową. W systemie TSK ogólna postać reguły rozmytej jest następująca:

$$(1) \quad \text{Jeżeli } X=A \text{ i } Y=B \text{ To } Z=P \cdot X + Q \cdot Y + R$$

gdzie: X, Y – zmienne wejściowe systemu rozmytego, A, B – wartości rozmyte kolejno w przestrzeni wejściowej X i Y, Z – zmienna wyjściowa systemu rozmytego, P, Q, R – współczynniki funkcji wyjściowej.

Reguła (1) opisuje model TSK z wieloma wejściami i jednym wyjściem (MISO) a sam algorytm działania tego systemu jest identyczny jak w przypadku systemu MAM i przebiega następująco:

**Krok 1:** na blok rozmywania trafiają takie dane wejściowe jak:  $LP_{WZ}$  i  $CP_{WZ}$  (pierwszy podsystem rozmyty) oraz  $LP_{PP}$  i  $CP_{PP}$  (drugi podsystem rozmyty). Następnie określony zostaje stopień przynależności tych danych wejściowych do zdefiniowanych zbiorów rozmytych, które opisane są w identyczny sposób jak w przypadku systemu MAM (patrz rysunek 2 oraz rysunek 3).

**Krok 2:** proces wnioskowania w przebiegu jest podobny do użytego w systemie Mamdani. W systemie TSK zastosowano 12 identycznych reguł rozmytych (po 6 reguł rozmytych dla każdej z dróg – wschód-zachód oraz północ-południe; patrz tabela 1) jak w przypadku systemu MAM. Z tą różnicą, że w systemie TSK dane wyjściowe  $CA_{WZ}$  (oczekiwany czas aktywności światła zielonego na drodze wschód-zachód) oraz  $CA_{PP}$  (oczekiwany czas aktywności

światła zielonego na drodze północ-południe) opisane są funkcją liniową za pomocą równania:

$$(2) \quad F_Y(LP, CP) = P*LP + Q*CP + R$$

gdzie indeks dolny  $y$  oznacza jedną z wartości lingwistycznych zmiennej wyjściowej  $CA_{WZ}$  lub  $CA_{PP}$ .

Czas aktywności światła zielonego BARDZO KRÓTKI (BK):

$$F_{BK}(LP, CP) = 0.2*LP + 0.3*CP + 0.1$$

Czas aktywności światła zielonego KRÓTKI (K):

$$F_K(LP, CP) = 0.2*LP + 0.2*CP + 0.3$$

Czas aktywności światła zielonego ŚREDNI (ŚR):

$$F_{\dot{S}R}(LP, CP) = 0.3*LP + 0.2*CP + 0.1$$

Czas aktywności światła zielonego DŁUGI (DŁ):

$$F_{D\dot{L}}(LP, CP) = 0.5*LP + 0.9*CP + 0.9$$

Czas aktywności światła zielonego BARDZO DŁUGI (BD):

$$F_{BD}(LP, CP) = 0.36*LP + 0.38*CP + 0.6$$

**Krok 3:** ostatnim etapem jest defuzyfikacja. Wartości stopnia aktywacji przesłanek wykorzystywane są następnie w metodzie wysokości [8].

### Scenariusz symulacji

W procesie badania efektywności prezentowanych systemów rozmytych wykorzystano scenariusz przedstawiony w pracy [7]. Scenariusz ten polega na gwałtownym zwiększeniu liczby pojazdów w obrębie badanego skrzyżowania drogowego, a następnie wygaszeniu ruchu drogowego. Pojawiające się pojazdy generowane są w sposób losowy, w identycznej liczbie i ciężarze dla obu systemów rozmytych (MAM i TSK). Generowanie pojazdów przebiega w pięciosekundowych cyklach. Proces symulacji został podzielony na osiem etapów:

**Etap 1:** początkowa liczba pojazdów na obu drogach (WZ i PP) równa jest 5. Następnie przez okres 30 sekund liczba pojazdów jest losowo generowana z zakresu [0; 3] dla każdej z dróg. Po upływie 30 sekund następuje uruchomienie sterowania sygnalizacją świetlną przy użyciu jednego z badanych systemów rozmytych (MAM lub TSK).

**Etap 2:** po uzyskaniu początkowej liczby pojazdów i uruchomieniu procesu sterowania sygnalizacją świetlną zwiększeniu ulega liczba losowo generowanych pojazdów na drodze WZ (wschód-zachód) z zakresu [0; 5] natomiast na drodze PP (północ-południe) z zakresu [0; 3].

**Etap 3:** na tym etapie zwiększeniu ulega liczba losowo generowanych pojazdów na drodze PP. Liczba pojazdów na tej drodze generowana jest z zakresu [0; 5]. Natomiast na drodze WZ liczba pojazdów generowana zostaje z zakresu [0; 3].

**Etap 4:** etap czwarty charakteryzuje się gwałtownym wzrostem liczby losowo generowanych pojazdów na drodze PP (w zakresie [0; 9]). Liczba losowo generowanych pojazdów na drodze WZ ustalana jest z zakresu [0; 5].

**Etap 5:** na tym etapie na obu drogach pojazdy generowane są losowo w zakresie [0; 9].

**Etap 6:** etap ten charakteryzuje się zmniejszeniem liczby losowo generowanych pojazdów na obu drogach. Dla drogi WZ liczba pojazdów generowana jest z zakresu [0; 5], natomiast dla drogi PP liczba pojazdów generowana jest z zakresu [0; 3].

**Etap 7:** w siódmym etapie pojazdy są losowo generowane z zakresu [0; 3] dla obu dróg.

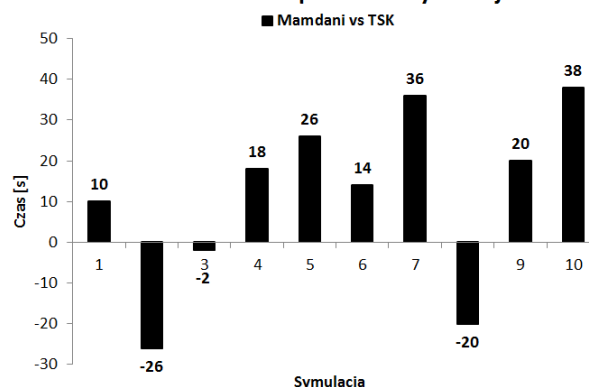
**Etap 8:** na ostatnim etapie symulacji pojazdy nie są losowo generowane. Od tej chwili proces symulacji trwa do momentu opuszczenia badanego skrzyżowania drogowego przez ostatni pojazd.

### Wyniki uzyskane podczas eksperymentu

Eksperyment polegał na przeprowadzeniu 10 procesów symulacji. Nadrzedną uzyskaną wartością był czas potrzebny do zakończenia procesu symulacji. Z przeprowadzonego eksperymentu jednoznacznie wynika, iż sterownik sterowania sygnalizacją świetlną bazujący na rozwiązaniach Mamdani lepiej poradził sobie z przyjętymi założeniami procesu symulacji. Średni czas symulacji kształtuje się na poziomie 2513 sekund (41 minut 53 sekundy) natomiast dla sterownika wykorzystującego system TSK wynik ten wynosi 2524 sekund (42 minuty 4 sekundy). Różnica na poziomie 11 sekund, czyli niespełna 1% wydajności systemu może wydawać się mało znacząca, jednakże w ujęciu szczegółowym uzyskane wyniki przemawiają na korzyść systemu opartego na założeniach MAM. System sterujący sygnalizacją świetlną bazujący na sterowniku TSK charakteryzuje się mniejszą liczbą zmian świateł na badanym skrzyżowaniu w stosunku do systemu na sterowniku MAM (TSK – 44 zmiany stanu sygnalizacji świetlnej, MAM – 54 zmiany stanu sygnalizacji świetlnej). Jednak system TSK na 10 przeprowadzonych symulacji tylko 3 krotnie szybciej „rozładował” ruch pojazdów na badanym skrzyżowaniu w stosunku do systemu MAM. W tych trzech przypadkach maksymalna różnica wynosiła 26 sekund na korzyść systemu TSK, natomiast w pozostałych siedmiu przypadkach lepszy okazał się system MAM z różnicą czasową oscylującą w granicy od 10 do 38 sekund w stosunku do systemu TSK (patrz rysunek 5).

Pozostałe dane, które zostały uzyskane podczas eksperymentu również wskazują jako zdecydowanego zwycięzcę sterownik oparty na metodzie Mamdani'ego. Pierwsze różnice na korzyść systemu MAM pojawiają się w momencie porównania średniej liczby pojazdów znajdujących się na badanym skrzyżowaniu drogowym podczas dokonywania obliczeń. Zarówno na drodze wschód-zachód jak i na drodze północ-południe liczba pojazdów jest większa dla systemu TSK. Podobną cechą można zauważyć porównując średni ciężar pojazdów, którego wartości są wykorzystywane jako dane wejściowe w momencie dokonywania obliczeń przez porównywane systemy rozmyte. W tym przypadku również przy użyciu sterownika opartego na założeniach MAM uzyskano niższe wartości ciężaru pojazdów w porównaniu do wyników uzyskanych przy użyciu systemu TSK. Dokładne wyniki dotyczące średniej liczby pojazdów oraz średniego ciężaru pojazdów na badanym skrzyżowaniu przedstawiono w tabeli 2.

Różnice czasów w procesach symulacji



Rys.5. Różnice czasów pomiędzy systemem rozmytym MAM a systemem rozmytym TSK w procesach symulacji działania sygnalizacji świetlnej na badanym skrzyżowaniu

Tabela 2. Średnia liczba pojazdów (SLP) oraz średni ciężar pojazdów (SCP) na drodze wschód-zachód (WZ) oraz północ-południe (PP)

System rozmyty	SLP-WZ	SLP-PP
MAM	81	90
TSK	90	106
System rozmyty	SCP-WZ [ton]	SCP-PP [ton]
MAM	366	405
TSK	401	478

Ostatnimi porównanymi danymi a zarazem najbardziej istotnymi w procesie sterowania sygnalizacją świetlną są dane dotyczące długości fazy światła zielonego dla obu kierunków przejazdu pojazdów. Dane te zestawiono w tabeli 3.

Tabela 4. Średnia długość fazy światła zielonego (FZ) na drodze wschód-zachód (WZ) oraz północ-południe (PP)

System rozmyty	FZ-WZ [s]	FZ-PP [s]
MAM	48	47
TSK	54	54

Na podstawie danych z tabeli 3 widać, że dla drogi wschód-zachód średnia wartość czasu trwania światła zielonego uzyskanego przy użyciu systemu rozmytego MAM jest o 6 sekund krótsza od średniej wartości czasu trwania światła zielonego uzyskanego przy użyciu systemu rozmytego TSK. Dla drogi północ-południe średnia wartość czasu trwania światła zielonego uzyskanego przy użyciu systemu rozmytego MAM jest o 7 sekund krótsza od średniej wartości czasu trwania światła zielonego uzyskanego przy użyciu systemu rozmytego TSK.

Analizując uzyskane dane można zauważyć, iż w przypadku sterownika sygnalizacji świetlnej zbudowanego w oparciu o założenia Mamdani'ego uśredniona wartość czasu aktywności światła zielonego oscyluje w granicy wartości zmiennej lingwistycznej DŁUGI natomiast dla systemu TSK wartość ta zbliżona jest do wartości BARDZO DŁUGI (patrz rysunek 4).

### Podsumowanie

Całościowa analiza danych uzyskanych podczas eksperymentu potwierdza, że sterownik sygnalizacji świetlnej wykonany w oparciu o założenia Mamdani'ego (MAM) lepiej radzi sobie w procesie sterowania sygnalizacją świetlną na badanym skrzyżowaniu drogowym. Przy częstszej zmianie kierunku ruchów pojazdów system ten charakteryzuje się krótszym czasem, który potrzebny jest do zakończenia procesów symulacji (do całkowitego rozładowania ruchu pojazdów na badanym skrzyżowaniu według przyjętego scenariusza symulacji). Dodatkowo, otrzymane przy użyciu systemu MAM niższe wartości (w stosunku do systemu rozmytego TSK) określające liczbę pojazdów oraz ich łączny ciężar mają pozytywny wpływ na stan infrastruktury drogowej oraz stan środowiska naturalnego.

**Autorzy:** mgr inż. Bartosz Poletajew, dr hab. inż. Adam Słowik, Politechnika Koszalińska, Wydział Elektroniki i Informatyki, Katedra Inżynierii Komputerowej, ul. Śniadeckich 2, 75-453 Koszalin, E-mail: aslowik@ie.tu.koszalin.pl

### LITERATURA

- [1] Cox E., The fuzzy systems handbook, second edition: a practitioner's guide to building, using, and maintaining fuzzy systems, *Academic Press*, London, UK, (1999)
- [2] Białko M., Sztuczna inteligencja i elementy hybrydowych systemów ekspertowych, *Wydawnictwo uczelniane Politechniki Koszalińskiej*, Koszalin, (2005)
- [3] Rutkowski L., Metody i techniki sztucznej inteligencji, *PWN*, Warszawa, (2011)
- [4] Klir G.J., Yuan B., Fuzzy sets and fuzzy logic: theory and applications, *Prentice Hall*, (1995)
- [5] Pedrycz W., Gomide F., Fuzzy systems engineering: toward human-centric computing, *Wiley-IEEE Press*, USA, (2007)
- [6] Zadeh L.A., Fuzzy sets, *Information and Control*, vol. 8 (1965), 338-353
- [7] Poletajew B., Słowik A., An application of fuzzy logic to traffic lights control and simulation in real time, *Lecture Notes in Artificial Intelligence*, vol. 9692 (2016), 266-275
- [8] Yager R., Filev D., Podstawy modelowania i sterowania rozmytego, *WNT*, Warszawa, (1995)
- [9] Słowik A., Fuzzy control of trade-off between exploration and exploitation properties of evolutionary algorithms, *Lecture Notes in Artificial Intelligence*, vol. 6678 (2011), 59-66
- [10] Sumiati S., Sigit T.H., Kapuji A., Mamdani fuzzy inference system application setting for traffic lights, *International Journal of Application or Innovation in Engineering and Management*, vol. 3 (2014), Issue 10, 56-62
- [11] Jiang Y., Deng Z., Chung F.-L., Wang G., Qian P., Choi K.-S., Wang S., Recognition of epileptic EEG signals using a novel multiview TSK fuzzy system, *IEEE Transactions on Fuzzy Systems*, vol. 25 (2017), n.1, 3-20
- [12] Popławski M., Białko M., Implementation of fuzzy logic controller in FPGA circuit for guiding electric wheelchair, *Lecture Notes in Artificial Intelligence*, vol. 7268 (2012), 216-222
- [13] Verma O.P., Parihar A.S., An optimal fuzzy system for edge detection in color images using bacterial foraging algorithm, *IEEE Transactions on Fuzzy Systems*, vol. 25 (2017), n. 1, 114-127
- [14] Fathinezhad F., Derhami V., Rezaeian M., Supervised fuzzy reinforcement learning for robot navigation, *Applied Soft Computing*, vol. 40 (2016), 33-41
- [15] Fernández J., Cortes P., Guadix J., Munuzuri J., Dynamic fuzzy logic elevator group control system for energy optimization, *International Journal Of Information Technology & Decision Making*, vol. 12 (2013), n. 3, 591-617
- [16] Rotshtein A.P., Posner M., Rakityanskaya A.B., Football predictions based on a fuzzy model with genetic and neural tuning, *Cybernetics and System Analysis*, vol. 41 (2005), Issue 4, 619-630
- [17] Poletajew B., Słowik A., Using a hierarchical fuzzy system for traffic lights control process, *Lecture Notes in Artificial Intelligence*, vol. 10245 (2017), 292-301
- [18] Renkas K., Niewiadomski A., Hierarchical fuzzy logic systems and controlling vehicles in computer games, *Journal of Applied Computer Science*, vol. 22 (2014), n. 1, 201-212
- [19] Renkas K., Niewiadomski A., Learning rules for hierarchical fuzzy logic systems using Wu & Mendel IF-THEN rules quality measures, *Lecture Notes in Artificial Intelligence*, vol. 9692 (2016), 299-310