

PRZEDZIAŁOWE SYSTEMY ROZMYTE TYPU 2 W ZARZĄDZANIU EMISJĄ TLENKÓW AZOTU

Marcin Kacprowicz^{1,2}

¹Politechnika Łódzka, Wydział Fizyki Technicznej, Informatyki i Matematyki Stosowanej

²Państwowa Wyższa Szkoła Zawodowa we Włocławku, Instytut Nauk Społecznych i Technicznych

Streszczenie. Artykuł jest kontynuacją badań nad możliwościami zastosowań systemów rozmytych oraz systemów rozmytych wyższych rzędów do sterowania filtrami powietrza. Artykuł prezentuje również autorskie implikacje rozmyte i wykorzystanie ich w interwałowym sterowniku rozmytym typu 2. Zmiennie wejściowe, którymi są poziomy stężenia tlenków azotu, opisane są przy użyciu interwałowych zbiorów rozmytych typu 2. Przy użyciu reguł typu IF-THEN sterownik oblicza wartość nastaw filtra. Uzyskane wyniki są w bardzo wysokim stopniu zgodne z danymi przekazanymi przez eksperta.

Słowa kluczowe: sterownik rozmyty, logika rozmyta, interwałowe zbiory rozmyte, interwałowe zbiory rozmyte typu 2

AN INTERVAL TYPE-2 FUZZY SYSTEMS IN THE MANAGEMENT OF EMISSIONS OF NITROGEN OXIDES

Abstract. This article is a continuation of research on the possibilities of applications of fuzzy systems and fuzzy systems of higher order to control the air filters. The article presents the author's fuzzy implications and use of them in the interval type 2 fuzzy controller. Variable inputs which are the concentration's levels of nitrogen oxides described by linguistic variables, interval type 2 fuzzy sets using the rules of the type IF-THEN controller calculates the filter settings. The results are highly correlated to a data provided by the expert.

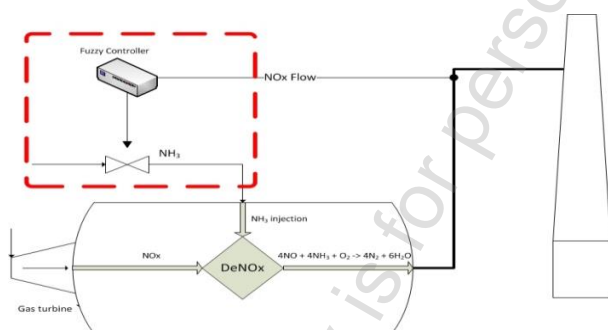
Keywords: fuzzy controller, fuzzy logic, interval fuzzy sets, interval fuzzy sets of type 2

1. Problem badawczy

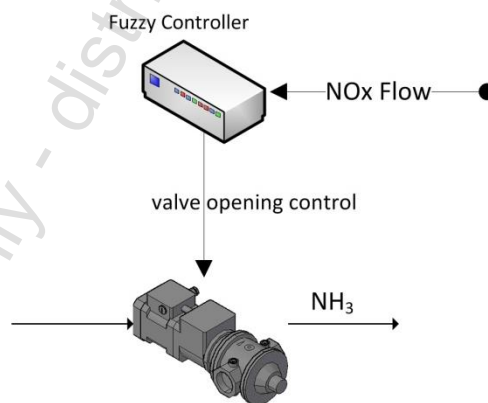
Proces Selektywnej Redukcji Katalitycznej (SCR) jest procesem nieliniowym i trudnym do zamodelowania. Polega on na dozowaniu odpowiedniej ilości amoniaku do stężenia tlenków azotu w celu wywołania reakcji redukcji. Z powodu problemów z modelowaniem ww. procesu autor zaproponował wykorzystanie systemów rozmytych w celu sterowania procesem. Niniejsza praca prezentuje autorskie implikacje rozmyte w zastosowaniu dla przedziałowego sterownika rozmytego typu 2. Publikacje [1, 3, 4, 8, 13, 19, 28] poruszają problematykę sterowania rozmytego.

1.1. Budowa systemu filtrującego i sygnały sterujące

System Selektywnej Redukcji Katalitycznej (SCR) jest oparty o reakcję chemiczną zachodzącą pomiędzy tlenkami azotu (NO_x), a amoniakiem (NH_3). Wynikiem tej reakcji jest czysta para wodna oraz woda. Cały proces odbywa się w specjalnej komorze, do której wprowadzane są gazy wylotowe zawierające tlenki azotu i w zależności od ich stężenia do komory wtryskiwany jest podgrzany amoniak w postaci gazowej [15].



Rys. 1. Ogólny schemat układu filtrującego Selektywnej Redukcji Katalitycznej (SCR)

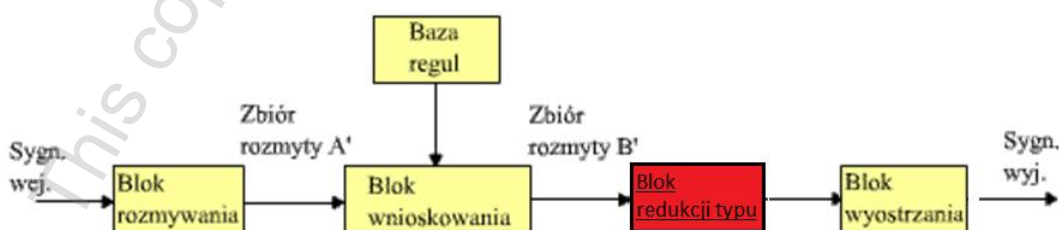


Rys. 2. Ogólny schemat układu filtrującego Selektywnej Redukcji Katalitycznej (SCR). Element kontrolowany przez sterownik rozmyty

1.2. Budowa przedziałowego sterownika rozmytego typu 2

Proces decyzyjny w sterowniku wyższego rzędu można opisać poprzez pięć bloków [16, 17, 22, 24, 29, 31].

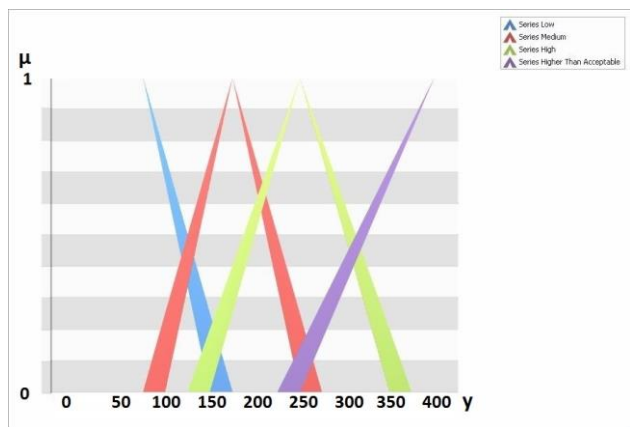
- 1) Blok rozmywania - następuje rozmycie liczbowej wartości danej wejściowej.
- 2) Baza reguł - słownik zawierający zbiór reguł typu IF-THEN
- 3) Blok wnioskowania - na podstawie bazy reguł oraz implikacji rozmytych wyciąga wnioski.
- 4) Blok redukcji typu - zredukowanie zbiorów wyższych rzędów do zbiorów typu 1.
- 5) Blok wyostrzania - na podstawie otrzymanych zbiorów rozmytych typu 1 oblicza wartość liczbową wyjścia sterownika.



Rys. 3. Schemat blokowy przedziałowego sterownika rozmytego typu 2

1.3. Dane wejściowe

Dane wejściowe dla systemu stanowią stężenia tlenu i dwutlenku azotu wyrażone w mg/Nm³. Wartości te zbierane są, co 2 sekundy i na ich podstawie podejmowana jest decyzja o stopniu otwarcia zaworu dozującego amoniak. Dane te są rozmywane w oparciu o przedziałowe zbiory rozmyte typu 2 reprezentujące wartości stężenia tlenków azotu za pomocą zmiennych lingwistycznych.



Rys. 4. Przedziałowe zbiory rozmyte typu 2 przedstawiające reprezentację lingwistyczną danych wejściowych stężeń NO oraz NO₂ (mg/Nm³)

1.4. Reguły IF-THEN

W celu przeprowadzenia operacji wnioskowania stworzonych zostało 16 reguł typu IF-THEN [18]:

IF (NO IS Low) AND (NO2 IS Low) THEN Valve opening percentage IS Low
IF (NO IS Low) AND (NO2 IS Medium) THEN Valve opening percentage IS Low
IF (NO IS Low) AND (NO2 IS High) THEN Valve opening percentage IS Medium
IF (NO IS Low) AND (NO2 IS Higher Than Acceptable) THEN Valve opening percentage IS High
IF (NO IS Medium) AND (NO2 IS Low) THEN Valve opening percentage IS Low
IF (NO IS Medium) AND (NO2 IS Medium) THEN Valve opening percentage IS Medium
IF (NO IS Medium) AND (NO2 IS High) THEN Valve opening percentage IS High
IF (NO IS Medium) AND (NO2 IS Higher Than Acceptable) THEN Valve opening percentage IS High
IF (NO IS High) AND (NO2 IS Low) THEN Valve opening percentage IS Medium
IF (NO IS High) AND (NO2 IS Medium) THEN Valve opening percentage IS High
IF (NO IS High) AND (NO2 IS High) THEN Valve opening percentage IS High
IF (NO IS High) AND (NO2 IS Higher Than Acceptable) THEN Valve opening percentage IS Very High
IF (NO IS Higher Than Acceptable) AND (NO2 IS Low) THEN Valve opening percentage IS High
IF (NO IS Higher Than Acceptable) AND (NO2 IS Medium) THEN Valve opening percentage IS Very High
IF (NO IS Higher Than Acceptable) AND (NO2 IS High) THEN Valve opening percentage IS Very High
IF (NO IS Higher Than Acceptable) AND (NO2 IS Higher Than Acceptable) THEN Valve opening percentage IS Very High

1.5. Redukcja typu i dane wyjściowe

Wartością wyjściową sterownika jest stopień otwarcia zaworu dozującego amoniak do komory reakcyjnej. Aby uzyskać wartość ostrą (liczbową) musimy po przeprowadzeniu wnioskowania przeprowadzić redukcję typu, aby z przedziałowego zbioru typu drugiego otrzymać zbiór typu pierwszego.

Redukcji typu dokonano z wykorzystaniem rozwiązań znanych z literatury [14, 20, 21, 30].

Wyostrenie dokonywane jest za pomocą przy pomocy Metody Wysokości:

$$y^* = \frac{\sum_{i=1}^m y_i \mu_{C_i^*}}{\sum_{i=1}^m \mu_{C_i^*}} \quad (1)$$

gdzie y^* jest rzeczywistym wyjściem sterownika, $\mu_{C_i^*}$ jest wartością aktywacji i-tej reguły rozmytej, a y_i jest elementem Y o największym stopniu aktywacji.

2. Implikacje Rozmyte - Inżynierskie

Proces wnioskowania w sterowniku rozmytym opiera się na ogólnej zasadzie *modus ponens*:

$$B' = A' \circ (A \rightarrow B) \quad (2)$$

gdzie A, A' są zbiorami rozmytymi w X , a B, B' - w Y . W typowym sterowniku rozmytym typu Mamdaniego, implikacja rozmyta oparta jest o T-normy:

$$\mu_{A \rightarrow B}(x, y) = T(\mu_A(x), \mu_B(y)) \quad (3)$$

Jednak takie podejście nie gwarantuje, że "implikacja" jest rozszerzeniem implikacji w rozumieniu klasycznej logiki. Mendel nazywa te implikacje "Implikacjami Inżynierskimi" w celu odróżnienia ich od implikacji w tradycyjnym rozumieniu [20].

Tabela 1. "Implikacje" Minimum i Iloczyn kontra klasyczna implikacja

$\mu_A(x)$	$\mu_B(y)$	$\text{Min}\{\mu_A(x), \mu_B(y)\}$	$\mu_A(x)\mu_B(y)$	Klasyczna implikacja
0	0	0	0	1
0	1	0	0	1
1	0	0	0	0
1	1	1	1	1

Z drugiej strony autorzy [7] zaprezentowali zbiór reguł, jakie muszą zostać spełnione przez funkcję, aby była kompatybilna z implikacją klasyczną. Warunki, jakie muszą zostać wypełnione, żeby operator $I : [0,1]^2 \rightarrow [0,1]$ był kompatybilny z implikacją klasyczną są następujące:

$$\forall a, b, c \in [0,1]$$

$$1. a \leq c \rightarrow I(a, b) \geq I(c, b)$$

$$2. b \leq c \rightarrow I(a, b) \leq I(a, c)$$

$$3. I(0, a) = 1$$

$$4. I(a, 1) = 1$$

$$5. I(1, 0) = 0$$

Najbardziej znane implikacje rozmyte zaprezentowane są w tabeli 2.

Tabela 2. "Implikacje" Minimum i Iloczyn kontra klasyczna implikacja

	Nazwa	Implikacja
1	Kleene-Dienes	$\max\{1-a, b\}$
2	Łukasiewicz	$\min\{1, 1-a+b\}$
3	Gödel	1, if $a \leq b$, else b
4	Zadeh	$\max\{\min\{a, b\}, 1-a\}$
5	Dubois-Prade	1-a, if b=0 b, if a=1, else 1

Należy wspomnieć, że nie wszystkie implikacje z tabeli 2 spełniają wszystkie warunki 1-5. Przykładem takiej implikacji jest implikacja Zadeha, która nie spełnia warunków 1 i 2. Propozycje innych implikacji dla systemów rozmytych zaprezentowane zostały również w innych pracach [2, 6, 9, 10, 11, 23].

Ponieważ celem jest osiągnięcie możliwie najwyższej zgodności dedykowanych systemów logiki rozmytej z oceną eksperta, autor zaproponował nowe implikacje oraz ich rozszerzenia dla przedziałowych zbiorów rozmytych typu 2 [5, 23, 26, 27, 25].

2.1. Implikacje autorskie

Wersję podstawową nowych implikacji rozmytych przedstawiają wzory:

$$I_{K1}(a,b) = \frac{\sqrt{ab}}{a+b} \quad (4)$$

$$I_{K2}(a,b) = \min\left\{1, \frac{\sin(\min(a,b))}{\cos(\min(a,b))}\right\} \quad (5)$$

$$I_{K3}(a,b) = \frac{ab}{a+b} \quad (6)$$

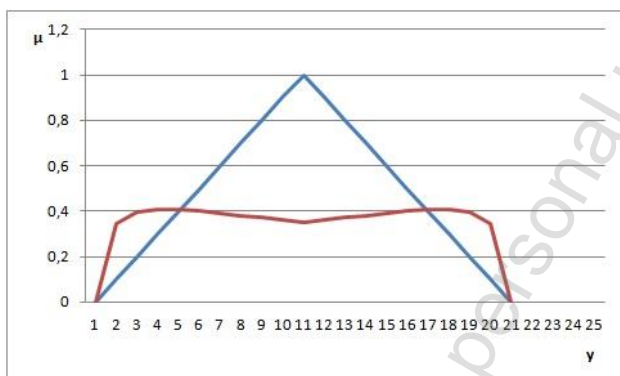
gdzie $(a,b) \in [0,1]$.

Wersja rozszerzona do postaci implikacji rozmytych typu 2 przedstawiona jest we wzorach (7)-(9). Autorskie implikacje zostały zastosowane dla pierwszorzędного stopnia przynależności. Dla drugorzędного stopnia przynależności zastosowana została T-norma min.

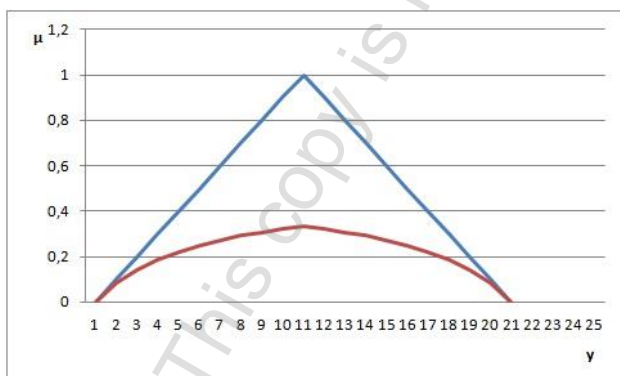
$$\tilde{I}_{K1} : \mu_{A \rightarrow B}(x,y) = \int_{u \in J_x} \int_{v \in J_y} \min\{f(x), g(y)\} / \frac{\sqrt{uv}}{u+v} \quad (7)$$

$$\tilde{I}_{K2} : \mu_{A \rightarrow B}(x,y) = \int_{u \in J_x} \int_{v \in J_y} \min\{f(x), g(y)\} / \min\left\{1, \frac{\sin(\min(u,v))}{\cos(\min(u,v))}\right\} \quad (8)$$

$$\tilde{I}_{K3} : \mu_{A \rightarrow B}(x,y) = \int_{u \in J_x} \int_{v \in J_y} \min\{f(x), g(y)\} / \frac{uv}{u+v} \quad (9)$$



Rys. 5. Przykładowy zbiór rozmyty zaprezentowany kolorem niebieskim oraz wyniki implikacji tego zbioru przy pomocy implikacji (7) zaprezentowany kolorem czerwonym



Rys. 6. Przykładowy zbiór rozmyty zaprezentowany kolorem niebieskim oraz wyniki implikacji tego zbioru przy pomocy implikacji (7) zaprezentowany kolorem czerwonym

Naruszenie niektórych z warunków 1-5 wymienionych na tej stronie dla implikacji rozmytych przez zaproponowane implikacje uzasadnione jest licznymi przykładami w literaturze, łącznie z faktem nazwania implikacji niespełniających tych warunków, jako "implikacje inżynierskie" [20]. Eksperyment przeprowadzony jednoznacznie pokazuje, że zaproponowane implikacje w systemach logiki rozmytej pozwalają na osiągnięcie lepszych wyników niż tradycyjne implikacje, lub implikacje rozmyte, które w pełni pokrywają warunki 1-5.

Przykłady wnioskowania przy użyciu implikacji rozmytych ze wzorów (4) i (6) przedstawiają rysunki 5 i 6.

3. Eksperyment

Eksperyment został przeprowadzony na sześciu zestawach próbek. Trzy zestawy opiewały na 10 000 próbek i trzy zestawy po 100 000 próbek.

Uzyskane wyniki zostały porównane z propozycjami eksperta. Dla każdej próby stworzono dwa wektory: E - wektor zawierający wyniki zaproponowane przez eksperta, C - wektor zawierający wyniki obliczone przez sterownik. Obydwa wektory są o tej samej długości $n \in \mathbb{N}$. Wektory zostały porównane przy użyciu dwóch metod. Pierwszą metodą było min-max, a drugą współczynnik korelacji Pearsona (PCC).

$$\text{min-max}(E,C) = \frac{\sum_{i=1}^n \min\{e_i, c_i\}}{\sum_{i=1}^n \max\{e_i, c_i\}} \quad (10)$$

gdzie $E = \{e_1, e_2, \dots, e_n\}, C = \{c_1, c_2, \dots, c_n\}$.

Wartość min-max (E, C) reprezentuje podobieństwo wektorów E i C. Największa możliwa wartość min-max(E, C) wynosi 1 i oznacza, że wektory są identyczne, co w przypadku zaprezentowanego eksperymentu oznacza, że wartości obliczone przez sterownik są identyczne z zaproponowanymi przez eksperta.

$$r_{(E,C)} = \frac{\sum_{i=1}^n (e_i - \bar{e})(c_i - \bar{c})}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (e_i - \bar{e})^2} \sqrt{\sum_{i=1}^n (c_i - \bar{c})^2}} \quad (11)$$

gdzie $E = \{e_1, e_2, \dots, e_n\}, C = \{c_1, c_2, \dots, c_n\}, r \in [-1,1], \bar{e} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n e_i, \bar{c} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n c_i$.

Wartość PCC przedstawia korelację pomiędzy wektorem E i C. Wartość -1 oznacza całkowicie negatywną korelację, 0 oznacza brak korelacji, a 1 oznacza całkowicie pozytywną korelację.

Tabela 2. Wyniki porównania metodą podobieństwa min-max (E, C) oraz współczynnika korelacji Pearsona wartości wyjścia obliczonego przez sterownik rozmyty do wartości zaproponowanych przez eksperta

	min-max(E, C)	PCC	Opis
1	0,7633	0,7423	Sterownik rozmyty z wnioskowaniem Mamdani
2	0,7735	0,7490	Sterownik rozmyty z wnioskowaniem K_1 (7)
3	0,7635	0,7398	Sterownik rozmyty z wnioskowaniem K_2 (8)
4	0,7703	0,7465	Sterownik rozmyty z wnioskowaniem K_2 (9)

Jak można zaobserwować w tabeli 2, zaproponowane autorskie implikacje, a w szczególności implikacja K_1 pozwalają na uzyskanie lepszych wyników niż sterownik rozmyty wykorzystujący wnioskowanie Mamdaniego. Różnice na poziomie 0,005 przy wykorzystaniu metody min-max(E,C) należy interpretować jako 40 ton szkodliwych substancji wyemitowanych do atmosfery. Różnica pomiędzy sterownikiem rozmytym wykorzystującym implikację rozmytą K_1 , a sterownikiem rozmytym wykorzystującym wnioskowanie Mamdaniego wynosi $0,7735 - 0,7633 = 0,0102$ co jest równoważnością blisko 82 ton NO_2 wyemitowanego do atmosfery w skali roku.

4. Podsumowanie

Artykuł opisuje nowe zastosowania logiki rozmytej do systemów kontrolujących Selektyną Redukcję Katalityczną w przemyśle. Celem jest wspieranie decyzji podejmowanych przez człowieka z wykorzystaniem dedykowanych sterowników rozmytych. Jest to kontynuacja pracy, prezentującej dedykowany system rozmyty typu 1 do zarządzania danymi o zanieczyszczeniu powietrza [13]. Idea stosowania systemów logiki rozmytej do sterowania filtrem powietrza została rozszerzona o nowe rozmyte implikacje. Przetestowane zostały nowe implikacje rozmyte. Wyniki porównano (proponowane parametry regulacji przez eksperta) z danymi podanymi przez eksperta w celu określenia skuteczności systemu, są one lepsze niż w przypadku systemu logiki rozmytej z tradycyjnymi metodami wnioskowania, patrz tabela 2. W najbliższej przyszłości planowane są eksperymenty związane z zastosowaniem autorskich metod uczenia reguł rozmytych oraz ich wyboru dla przedziałowych sterowników rozmytych typu 2. Wszystkie testy i wyniki pokazują, że nowe rodzaje implikacji umożliwiają lepsze modelowanie percepcji "rzeczywistości" przez ludzi. Dodatkowo pokazują możliwości i kierunki poszukiwania nowych alternatywnych sposobów opisu rzeczywistości. Jak można zauważyć, implikacje inżynierskie, choć logicznie błędne, działają bardziej efektywnie i reprezentują rzeczywistość bardziej dokładnie. Wnioski te pozwalają na wyciągnięcie ostatecznego wniosku, że dalsze badania nad stosowaniem systemów logiki rozmytej do zarządzania emisją tlenków azotu jest słuszne i warte badania.

Literatura

- [1] Arshdeep Kaur A.K.: Comparison of Mamdani-Type and Sugeno-Type Fuzzy Inference Systems for Air Conditioning System International Journal of Soft Computing and Engineering, 2, 2012, 323-325.
- [2] Cheng Y.-T., Chung M.-T.: A New Measurement Method on Correlation Coefficient for Attribute Fuzzy Interval Data and Its Applications International Journal of Intelligent technologies and applied statistics, Vol. 7, 2014, no. 1, 27-36.
- [3] Christian R.A., Lad R.K., Deshpande A.W., Desai N.G.: Fuzzy MCDM approach for addressing composite index of water and air pollution potential of industries International Journal of Digital Content Technology and its Applications, 1, 2008, 4-71.
- [4] Cirstea M.N.: Neural and fuzzy logic control of drives and power systems Newnes, 2002.
- [5] Mamdani E.H., Assilian S.: An experiment in linguistic synthesis with a fuzzy logic controller International Journal of Man-Machine Studies, 7, 1975, 1-13.
- [6] Fodor J.C.: Contrapositive symmetry of fuzzy implications Fuzzy Sets and Systems, 1995.
- [7] Fodor J.C.: On fuzzy implication Fuzzy Sets and Systems, 42, 1991, 293-300.
- [8] Habdank-Wojewódzki S.: Zaawansowany regulator rozmyty w zastosowaniach do ruchu drogowego, winntbg.agh.edu.pl/rozprawy/9931/full9931.pdf, Krakow, 2009.
- [9] Hao Ying, Yongsheng Ding, Shaokuan Li, Shihuang Shao: Comparison of Necessary Conditions for Typical Takagi-Sugeno and Mamdani Fuzzy Systems as Universal Approximators IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics, 29, 1999, 508-514.

- [10] Hao Ying, Yongsheng Ding, Shaokuan Li, Shihuang Shao: Typical Takagi-Sugeno and Mamdani fuzzy systems as universal approximators: necessary conditions and comparison IEEE Conference Publications, 1, 1998, 824-828.
- [11] Harald König L.L.: An Advanced Inference Strategy for Fuzzy Control Based on a New Fuzzy Implication Function Fuzzy Systems, 2, 1996, 1296-1302.
- [12] Jantzen J.: Foundations of Fuzzy Control John Wiley & Sons Ltd., England, 2007.
- [13] Kacprowicz M., Niewiadomski A., Cader A., Yatsymirskyy M., Przybyszewski K. (Eds.): Managing Data on Air Pollution Using Fuzzy Controller Computer Methods in Practice, Exit Publishing House, Warsaw, Poland, 2012, 46-57.
- [14] Karnik N.N., Mendel J.M.: Centroid of a type-2 fuzzy set Information Sciences, 132, 2001, 195-220.
- [15] Kuroppka J.: Badania redukcji tlenków azotu amoniakiem na katalizatorach ziarnistych, Ochrona Środowiska, 2(53), 1994, 15-18.
- [16] Leski J.: Systemy Neuronowo-Rozmyte, Scientific and Technical Publishing, Warsaw, 2008.
- [17] Liang Q, Mendel J.M.: Interval Type-2 Fuzzy Logic Systems: Theory and Design IEEE Transactions on Fuzzy Systems, 8, 2000, 535-550.
- [18] Wang L.-X., Mendel J.M.: Generating Fuzzy Rules by Learning from Examples IEEE Transactions on Fuzzy Systems, 22, 1992, 1414-1427.
- [19] Majumder D., Dwijesh K.: Fuzzy logic and its application in technology and management Narosa, 2007.
- [20] Mendel J.M.: Uncertain Rule-Based Fuzzy Logic Systems: Introduction and New Directions Prentice Hall, 2001.
- [21] Niewiadomski A.: Methods for the Linguistic Summarization of Data: Applications of Fuzzy Sets and Their Extensions Academic Publishing House, Warsaw, 2008.
- [22] Rutkowska D.: Neuro-Fuzzy Architectures and Hybrid Learning Physica-Verlag, A Springer-Verlag Company, Heidelberg, New York, 2002.
- [23] Rutkowska D., Pilinski M., Rutkowski L.: Sieci neuronowe, algorytmy genetyczne i systemy rozmyte, PWN, Warszawa-Lódź, 1997.
- [24] Rutkowski L.: Metody i techniki sztucznej inteligencji, PWN, Warszawa, 2009.
- [25] Starczewski J.T., Montseny E., Sobrevilla P. (Eds.): Extended Triangular Norms on Gaussian Fuzzy Sets. EUSFLAT Conf., Universidad Politécnica de Catalunya, 2005, 872-877.
- [26] Starczewski J.T.: On Defuzzification of Interval Type-2 Fuzzy Sets Proceedings of the 9th International Conference on Artificial Intelligence and Soft Computing, Springer-Verlag, 2008, 333-340.
- [27] Starczewski J.T.: A Triangular Type-2 Fuzzy Logic System IEEE International Conference on Fuzzy Systems, IEEE International Conference on Fuzzy Systems, 2006, 1460-1467.
- [28] Tomsovic K.: Fuzzy Systems Applications to Power Systems 2000.
- [29] Wierzbichon S.T.: Elementy teorii zbiorów rozmytych, www.ipipan.waw.pl/~stw/esi/sterowniki.pdf, 2009.
- [30] Wu H., Jerry M.: Mendel Uncertainty Bounds and Their Use in the Design of Interval Type-2 Fuzzy Logic Systems IEEE Transactions on Fuzzy Systems, 2002, 10, 622-639.
- [31] Zadeh L.A.: The concept of a linguistic variable and its application to approximate reasoning Inform, 8, 1975, 199-249.

Mgr inż. Marcin Kacprowicz
e-mail: marcin.kacprowicz@gmail.com



Uzyskał stopień mgr inż. na Wydziale Elektrotechniki, Elektroniki, Informatyki i Automatyki Politechniki Łódzkiej w 2006. Od 2012 doktorant na Wydziale Fizyki Technicznej, Informatyki i Matematyki Stosowanej Politechniki Łódzkiej. Autor i współautor kilku artykułów oraz rozdziałów w książkach o tematyce sterowania rozmytego. W kręgu zainteresowań naukowych znajdują się metody sztucznej inteligencji, systemy logiki rozmytej. Długoletni praktyk zajmujący się aplikacjami dla przemysłu chemicznego.

otrzymano/received: 12.11.2014

przyjęto do druku/accepted: 04.12.2014

22 MAJA 2015 R.
16⁰⁰-24⁰⁰

WARSZAWA 202
AL. JERUZOLIMSKIE
WWW.NOCROBOTOW.PL

NAC
robotów piap
2015
MISJA. BEZPIECZENSTWO

WSTĘP WOLNY