

## WYKORZYSTANIE WNIOSKOWANIA ROZMYTEGO W PROCESIE DECYZYJNYM ZAKUPU CIĄGNIKA ROLNICZEGO

*Piotr Rybacki, Czesław Rzeźnik, Karol Durczak*  
*Instytut Inżynierii Biosystemów, Uniwersytet Przyrodniczy w Poznaniu*

**Streszczenie.** Decyzja związana z wyborem optymalnego ciągnika rolniczego uważana jest przez rolników za kluczową, mającą decydujący wpływ na efekt ekonomiczny gospodarstwa. Związane jest to z koniecznością dopasowania parametrów techniczno-eksploatacyjnych ciągnika do posiadanych maszyn. W pracy zaproponowano metodę wspomaganą decyzji wyboru ciągnika rolniczego wykorzystującą logikę rozmytą, która pozwala na uwzględnianie kryteriów mierzalnych i niemierzalnych. W oparciu o teorię zbiorów rozmytych zaproponowano procedurę rangowania tych kryteriów. Uzyskany wskaźnik decyzji  $D_c$  jednoznacznie hierarchizuje rozpatrywane warianty ciągników.

**Słowa kluczowe:** ciągnik rolniczy, proces decyzyjny, logika rozmyta, wnioskowanie rozmyte

### Wprowadzenie

Decyzja dotycząca zakupu ciągnika rolniczego, zaliczana jest do najbardziej obciążonych ryzykiem, w procesie odnowy parku maszyn gospodarstwa rolnego (Rybacki i in., 2011a; Rybacki i in., 2011b; Skudlarski, 2006). Związane jest to głównie z koniecznością dopasowania parametrów techniczno-eksploatacyjnych ciągnika do posiadanych już maszyn, areалу i kierunku prowadzonej produkcji rolnej. Zakup ciągnika wiąże zainwestowany kapitał na wiele lat jego użytkowania. Jak podaje Lorencowicz (2006; 2008) średni okres zwrotu kapitału 17,5 roku. Konsekwencją nieracjonalnej inwestycji w ciągnik rolniczy może być obniżenie wskaźników ekonomicznych gospodarstwa (Muzalewski, 2007; Skudlarski, 2006; Tomczyk, 2005; Tomczyk, 2008).

Prawidłowo dobrany ciągnik pozwala na optymalne jego wykorzystanie, zminimalizowanie kosztów eksploatacji oraz agregowanie z różnym typem maszyn i wykonanie prac w odpowiednim terminie agrotechnicznym.

Podejmujący decyzje o zakupie ciągnika rolniczego powinien wykorzystać wszystkie informacje pozyskane na etapach: oceny potrzeby zakupu, doboru ciągnika o określonych parametrach techniczno-eksploatacyjnych, wyboru określonego typu z całej gamy ciągników, które spełniają założone przez nabywcę wymagania (Skudlarski, 2006).

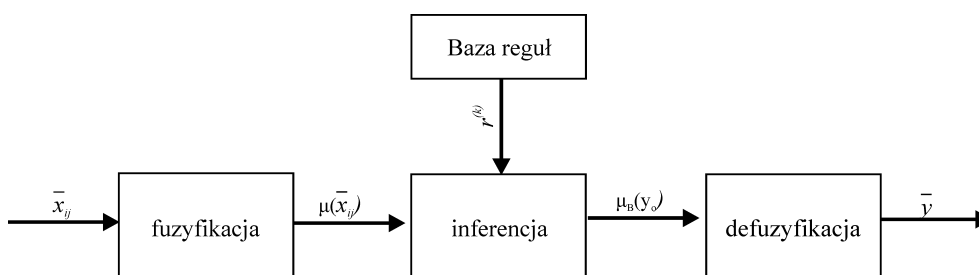
## Cel pracy

Celem pracy jest przedstawienie metody wspomaganie procesu decyzyjnego zakupu ciągnika rolniczego z wykorzystaniem logiki rozmytej. Argumentami uzasadniającymi wybór wnioskowania rozmytego, jako narzędzia badawczego dla rozwiązania problemu postawionego w pracy, jest możliwość jednoczesnego rozpatrywania cech mierzalnych i niemierzalnych.

## Metodyka badań

Pojęcie zbioru rozmytego (*fuzzy sets*) zostało wprowadzone przez amerykańskiego badacza L. A. Zadeha w 1965 roku, który chciał to narzędzie użyć do modelowania procesów złożonych. Teoria zbiorów rozmytych korzysta z logiki rozmytej (*fuzzy logic*), która stosowana jest do modelowania i sterowania systemem (Piegat, 1999; Zadeh, 1968; 1988).

Model rozmyty, proponowanej metody, składa się z trzech zasadniczych bloków: fuzyfikacji (rozmywania), inferencji (wnioskowania) oraz defuzyfikacji (wyostrzenia), tworzących wspólną strukturę (rys. 1).

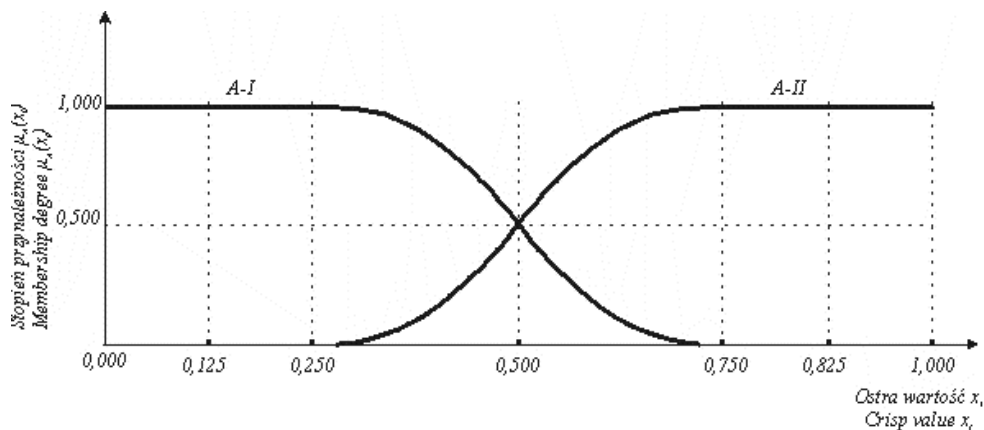


Rysunek 1. Struktura modelu rozmytego procesu decyzyjnego wyboru ciągnika rolniczego  
Figure 1. Fuzzy model structure of the decision-making process of selection of agricultural tractor

Blok fuzyfikacji realizuje operacje rozmywania wartości wejść do modelu, które mogą mieć charakter wartości ostrych (moc silnika ciągnika rolniczego, cena) lub zbiorów rozmytych (wyposażenie dodatkowe). W ramach bloku inferencji, określa się wynikową funkcję przynależności konkluzji bazy reguł, która stanowi podstawowy jego element. Ostatnim etapem jest sprowadzenie funkcji przynależności konkluzji do jednej ostrej wartości, która stanowić będzie wyjście z modelu i reakcję na wartości wejściowe. W proponowanej metodzie będzie to liczbowa wartość współczynnika preferencji procesu decyzyjnego wyboru optymalnego ciągnika rolniczego.

Na wejściu do systemu rozmytego wymagane jest zdefiniowanie kształtu funkcji przynależności, odwzorowującej obszar rozważań  $X$  na przedziale domkniętym  $[0;1]$ . Zbiór wejściowy  $A$ -i metody zawiera 2 terminy (rys. 2).

Każdy z termów wyraża lingwistyczną ocenę przyjętych kryteriów: zbiór  $A-I$  - ocena niska (wysoka cena, brak dobrze zorganizowanego serwisu, brak wyposażenia), zbiór  $A-II$  - ocena wysoka (cena optymalna, dobrze zorganizowany serwis, odpowiednie wyposażenie).



Rysunek 2. Funkcje przynależności zbioru wejściowego  $A-i$  modelu rozmytego  
Figure 2. Membership function of input set  $A-i$  of fuzzy model

W modelu rozmytym projektowanej metody ustalone zbiory wejściowe  $A-i$  zmodyfikowano, wykorzystując wartości wag kryteriów, wyznaczonych przez badanych rolników  $W_{K_i}$ . Modyfikacja zbiorów wejściowych polega na ich przesunięciu w kierunku osi wartości funkcji przynależności  $\mu_{A_i}(x_i)$ , o wartości  $Z_i$  wyznaczonej z równania 1:

$$Z_{K_i} = \frac{W_{K_i}}{n}, \quad (1)$$

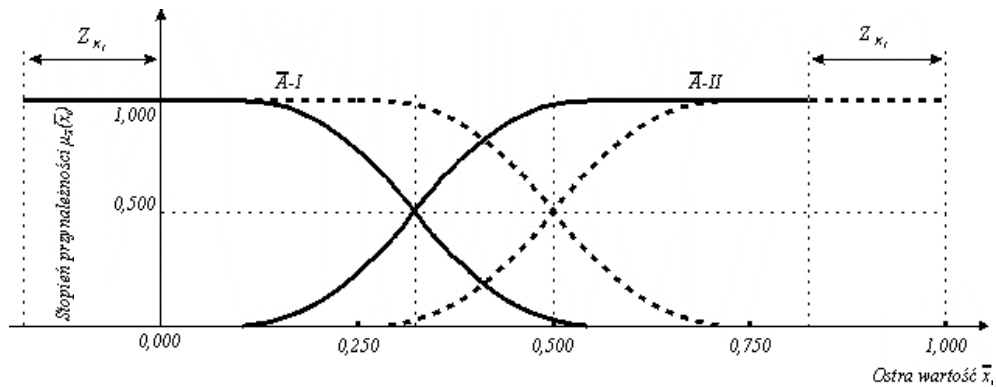
gdzie:

$n$  – liczba termów zbioru wejściowego modelu rozmytego

Przesunięcie wejściowych zbiorów  $A-i$  pozwala na uwzględnienie hierarchizacji kryteriów wyboru ciągnika rolniczego oraz wyznaczenie nowych zbiorów wejściowych  $\bar{A}-i$ . Wartości ostre  $\bar{x}_i$ , dla kryteriów o większej wadze uzyskują wówczas większy stopień przynależności w module fuzyfikacji modelu rozmytego (rys. 3).

Bazę reguł, nazywaną także modelem lingwistycznym, interpretuje się jako zbiór związków przyczynowo-skutkowych, istniejących pomiędzy zbiorami wejściowymi  $\bar{A}-i$  oraz zbiorami wyjściowymi  $B_i$ , które w dalszym ciągu są zbiorami rozmytymi. Każda reguła składa się z części *IF* (poprzednik), który jest zbiorem warunków, (przesłanek) oraz z części *THEN* (następnik), zawierającej konkluzję. Stwierdzenie spełnienia poszczególnych reguł doprowadza do obliczenia stopnia aktywizacji konkluzji tych reguł w postaci

funkcji przynależności  $\mu_{B_i}(y)$ . Złożenie tych funkcji pozwala znaleźć wynikową funkcję przynależności konkluzji bazy reguł. Ze względu na dużą liczbę kombinacji reguł ustalona jest baza zawierająca najbardziej charakterystyczne przesłanki i konkluzje dla analizowanego wariantu. Pomijane są natomiast reguły skrajne.



Rysunek 3. Zmodyfikowane funkcje przynależności zbioru wejściowego  $\bar{A}$ -i modelu rozmytego

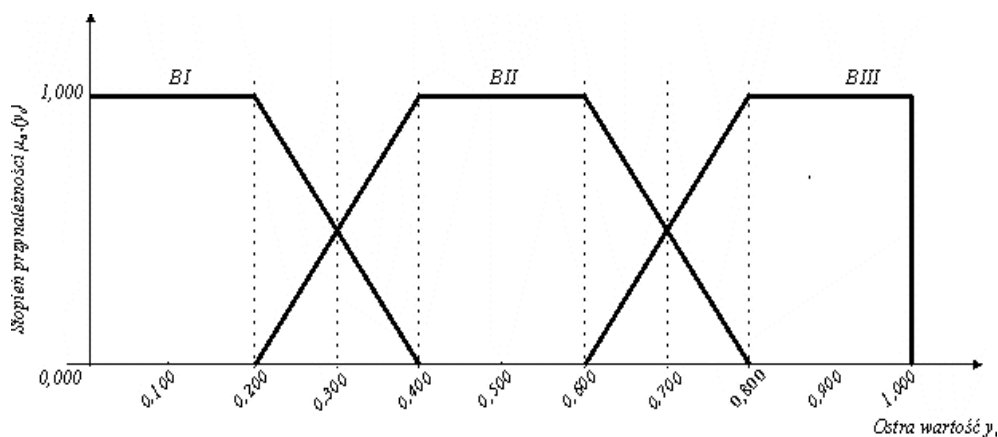
Figure 3. Modified membership functions of input set  $\bar{A}$ -i of fuzzy model

Trzecim etapem modelowania rozmytego jest defuzyfikacja, która obejmuje proces sprowadzenia zbioru rozmytego  $B^*(y)$ , stanowiącego wyjście z bloku inferencji do jednej wartości ostrej  $\bar{y}$ , będącej jednocześnie liczbową wartością preferencji procesu decyzyjnego. Wartość ta jest wyjściem z całego modelu rozmytego.

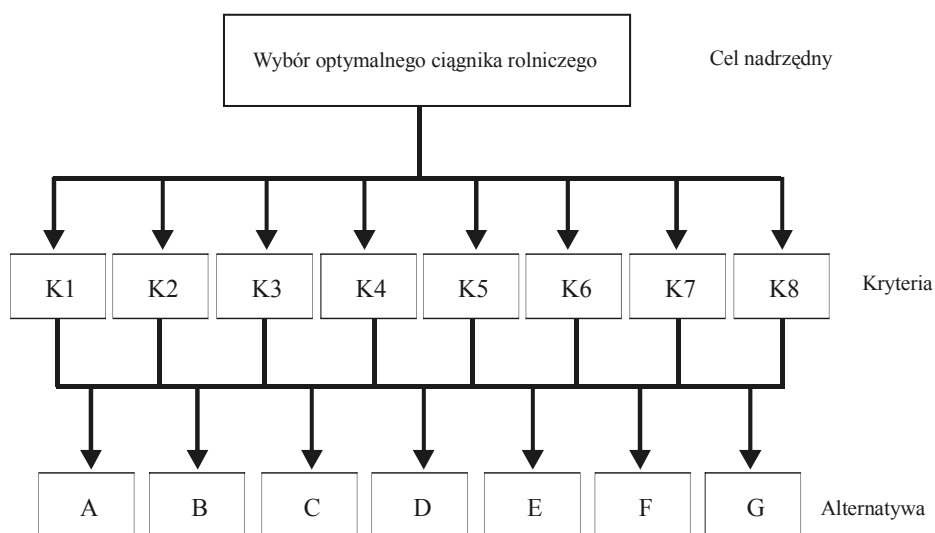
Zbiór wyjściowy  $B(y)$  modelu rozmytego procesu decyzyjnego wyboru ciągnika rolniczego zawiera 3 terminy (rys. 4). Każdy z nich wyraża końcową ocenę, którą charakteryzują wielkości lingwistyczne: zbiór  $BI$  – oferta nieatrakcyjna, zbiór  $BII$  – oferta optymalna, zbiór  $BIII$  – oferta bardzo atrakcyjna.

W proponowanej metodzie wspomaganie procesu decyzyjnego zastosowano metodę pierwszego maksimum ( $FOM$ ), która za ostrego reprezentanta  $\bar{y}_{FOM}$  rozmytego zbioru konkluzji wynikowej przyjmuje najmniejszą wartość  $y_i$  odpowiadającą maksymalnemu stopniowi przynależności  $\mu_B^*(y_i)$ .

Problem doboru odpowiedniego ciągnika rolniczego przedstawiono na rysunku 5. Zasadniczym celem (celem nadrzędnym) był wybór optymalnego rozwiązania, odnośnie konstrukcji i wyposażenia ciągnika rolniczego, uwzględniającego założone kryteria.



Rysunek 4. Funkcje przynależności zbioru wyjściowego  $B(y_i)$   
 Figure 4. Membership functions of output set  $B(y_i)$



Rysunek 5. Struktura hierarchiczna procesu decyzyjnego wyboru ciągnika rolniczego  
 Figure 5. The hierarchical structure of decision-making process of selection of agricultural tractor

Dla zrealizowania celu pracy badaniami objęto grupę 16 rolników, którzy zakupili, podjęli decyzję o zakupie lub rozważają zakup ciągnika o mocy 120-130 KM. Do badań wybrano siedem modeli ciągników rolniczych, czołowych producentów, oferujących swoje produkty w założonym przedziale mocy, które oznaczono od A do G (A – Deutz Fahr Agrotron 430; B – FENDT 313 Vario SCR; C – Case Maxxum Power; D – Claas ARION 430-410; E – John Deere 6430; F – New Holland T6.120; G – Steyr Profi 4110).

Podejmujący decyzje o zakupie ciągnika rolniczego kierują się następującymi kryteriami głównymi: cena (*K1*), dostępność punktów serwisowych (*K2*), liczba biegów i rodzaj skrzyni przekładniowej (*K3*), rodzaj układu paliwowego (mechaniczny, Common Rail) (*K4*), parametry układu hydraulicznego (wydatek pompy, system regulacji i kontroli) (*K5*), parametry podnośnika (przedni/tylny, udźwig, zewnętrzna obsługa, hydrauliczne jarzma, hydrauliczne stabilizatory boczne) (*K6*), parametry WOM (przedni/tylny, uruchamianie mechaniczne/hydrauliczne, obroty zależne/niezależne) (*K7*), wyposażenie dodatkowe (klimatyzacja, ogrzewanie, amortyzacja fotela kierowcy, otwierana szyba przednia i tylna, liczba reflektorów roboczych) (*K8*).

## Wyniki badań

Rolnicy przydzielili określoną liczbę punktów (w przedziale od 0 do 10), badanym ciągnikom, uwzględniając przyjęte kryteria oraz dokonali rangowania (dzieląc 100 punktów) przyjętych kryteriów głównych. Liczbę przydzielonych punktów przedstawiono w tabeli 1.

Tabela 1

*Ocena punktowa ciągników rolniczych i hierarchizacja kryteriów*

Table 1

*Point assessment of agricultural tractors and criteria hierarchization*

Sumaryczna ocena punktowa ciągników rolniczych (0-10 punktów)	K1	K2	K3	K4	K5	K6	K7	K8
A	120	111	118	108	118	125	114	111
B	125	102	116	117	123	115	127	116
C	102	96	111	121	122	127	125	127
D	83	97	108	112	119	122	124	122
E	68	102	116	136	133	119	123	115
F	149	133	102	118	132	136	118	137
G	74	88	122	116	119	111	117	115
Ocena wag przyjętych kryteriów (0-100 punktów)								
Średnia punktów	17,6	16,5	12,7	12,2	11,7	11,2	9,1	9,0

Największą średnią liczbę punktów badani rolnicy przyznali kryterium *K1*, czyli cenie ciągnika (17,6 punktów), a najniżej (9,0 punktów) ocenili kryterium *K8*, tj. wyposażenie dodatkowe ciągnika.

Wyniki obliczeń w postaci indeksów preferencji kryteriów procesu decyzyjnego wyboru ciągnika rolniczego przedstawiono w tabeli 2. Wyznaczono je z iloczynu uzyskanej i maksymalnej liczby punktów. Każdy analizowany ciągnik posiada tyle indeksów preferencji, ile kryteriów przyjęto do jego oceny.

Stopnie przynależności ostrych wejść do zbioru rozmytego modelu procesu decyzyjnego przedstawiono w tabeli 3.

Tabela 2

*Indeksy preferencji dla analizowanych ciągników rolniczych*

Table 2

*Preference indices for the analyzed agricultural tractors*

Indeksy preferencji	K1	K2	K3	K4	K5	K6	K7	K8
A	0,750	0,694	0,738	0,675	0,738	0,781	0,713	0,694
B	0,781	0,638	0,725	0,731	0,769	0,719	0,794	0,725
C	0,738	0,600	0,694	0,756	0,763	0,749	0,781	0,794
D	0,519	0,606	0,675	0,700	0,744	0,763	0,794	0,763
E	0,425	0,638	0,725	0,850	0,831	0,744	0,769	0,719
F	0,931	0,831	0,638	0,738	0,825	0,850	0,738	0,856
G	0,463	0,550	0,763	0,725	0,744	0,694	0,731	0,719
Wagi przyjętych kryteriów								
Waga kryterium ( $w_{K_i}$ )	0,176	0,165	0,127	0,122	0,117	0,112	0,091	0,090
Wartość przesunięcia $Z_{K_i}$	0,088	0,083	0,064	0,061	0,059	0,056	0,046	0,045

Tabela 3

*Wartości wejściowych funkcji przynależności modelu rozmytego*

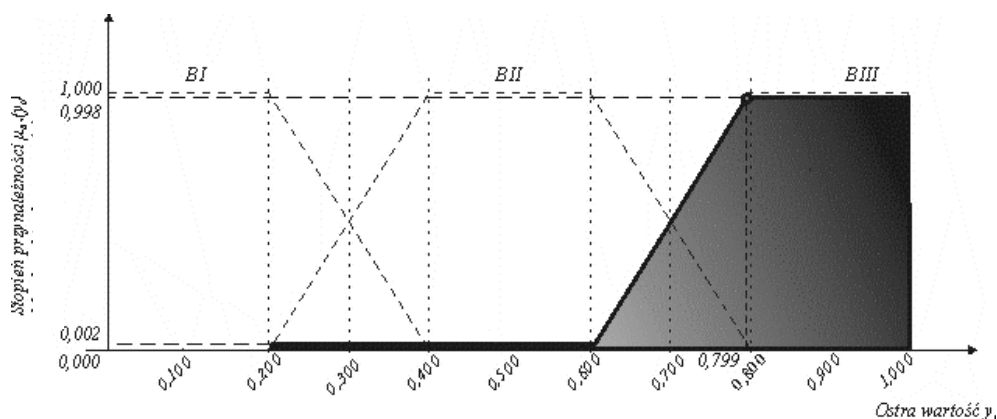
Table 3

*Values of membership input functions of the fuzzy model*

Wejściowa funkcja przynależności	K1	K2	K3	K4	K5	K6	K7	K8
A	0,750 $\frac{0,000}{1,000}$	0,694 $\frac{0,000}{1,000}$	0,738 $\frac{0,000}{1,000}$	0,675 $\frac{0,002}{0,998}$	0,738 $\frac{0,000}{1,000}$	0,781 $\frac{0,000}{1,000}$	0,713 $\frac{0,000}{1,000}$	0,694 $\frac{0,001}{0,999}$
B	0,781 $\frac{0,000}{1,000}$	0,638 $\frac{0,007}{0,993}$	0,725 $\frac{0,000}{1,000}$	0,731 $\frac{0,000}{1,000}$	0,769 $\frac{0,000}{1,000}$	0,719 $\frac{0,000}{1,000}$	0,794 $\frac{0,000}{1,000}$	0,725 $\frac{0,000}{1,000}$
C	0,738 $\frac{0,000}{1,000}$	0,600 $\frac{0,036}{0,964}$	0,694 $\frac{0,000}{1,000}$	0,756 $\frac{0,000}{1,000}$	0,763 $\frac{0,000}{1,000}$	0,749 $\frac{0,000}{1,000}$	0,781 $\frac{0,000}{1,000}$	0,794 $\frac{0,000}{1,000}$
D	0,519 $\frac{0,164}{0,836}$	0,606 $\frac{0,030}{0,970}$	0,675 $\frac{0,001}{0,999}$	0,700 $\frac{0,000}{1,000}$	0,744 $\frac{0,000}{1,000}$	0,763 $\frac{0,000}{1,000}$	0,794 $\frac{0,000}{1,000}$	0,763 $\frac{0,000}{1,000}$
E	0,425 $\frac{0,441}{0,559}$	0,638 $\frac{0,007}{0,993}$	0,725 $\frac{0,000}{1,000}$	0,850 $\frac{0,000}{1,000}$	0,831 $\frac{0,000}{1,000}$	0,744 $\frac{0,000}{1,000}$	0,769 $\frac{0,000}{1,000}$	0,719 $\frac{0,000}{1,000}$
F	0,931 $\frac{0,000}{1,000}$	0,831 $\frac{0,000}{1,000}$	0,638 $\frac{0,018}{0,982}$	0,738 $\frac{0,000}{1,000}$	0,825 $\frac{0,000}{1,000}$	0,850 $\frac{0,000}{1,000}$	0,738 $\frac{0,000}{1,000}$	0,856 $\frac{0,000}{1,000}$
G	0,463 $\frac{0,317}{0,683}$	0,550 $\frac{0,110}{0,890}$	0,763 $\frac{0,000}{1,000}$	0,725 $\frac{0,000}{1,000}$	0,744 $\frac{0,000}{1,000}$	0,694 $\frac{0,000}{1,000}$	0,731 $\frac{0,000}{1,000}$	0,719 $\frac{0,000}{1,000}$

Największą liczbę zaktywizowanych reguł zaobserwowano dla ciągnika D (16 reguł), najmniejsze liczby dla ciągników B, C, F (3 reguły).

Dla ciągnika A wskaźnik preferencji uzyskał wartość 0,799 (rys. 6).



Rysunek 6. Akumulacyjne funkcje przynależności zbioru wyjściowego  $B^*(y)$

Figure 6. Accumulation membership functions of output set  $B^*(y)$

W tabeli 4 przedstawiono wyniki obliczeń wskaźnika  $D_c$  procesu decyzyjnego dla analizowanych ciągników.

Tabela 4

Wartości wskaźnika  $D_c$  procesu decyzyjnego wyboru ciągnika rolniczego

Table 4

Values of  $D_c$  index of decision-making process of selection of an agricultural tractor

Ciągnik	A	B	C	D	E	F	G
Wskaźnik $D_c$	0,799	0,798	0,793	0,767	0,712	0,796	0,773

## Wnioski

Przeprowadzone badania oraz analiza wyników pozwala na sformułowanie następujących wniosków:

1. Z przeprowadzonej analizy wynika, że takie kryteria jak: cena ciągnika i dostępność punktów serwisowych są najważniejsze, przy podejmowaniu decyzji o zakupie ciągnika rolniczego. Rolnicy mniejszą uwagę natomiast przywiązują do wyposażenia dodatkowego (klimatyzacja, ogrzewanie, amortyzacja fotela kierowcy, otwierana szyba przednia i tylna, liczba reflektorów roboczych).
2. Modyfikacja wejściowych zbiorów modelu rozmytego pozwala uwzględnić hierarchizację kryteriów wyboru optymalnego ciągnika rolniczego, gdyż wartości ostre  $\bar{x}_i$ , dla kryteriów o większej wadze uzyskują większy stopień przynależności w module fuzyfikacji.
3. Zastosowana w pracy teoria zbiorów rozmytych pozwala na precyzyjną, bo opartą na liczbowym wskaźniku, hierarchizację rozpatrywanych wariantów ciągnika rolniczego i może być stosowana do wspomagania procesu decyzyjnego jego zakupu.



## Literatura

- Lorencowicz, E. (2006). Inwestycje w środki techniczne w gospodarstwach rodzinnych. *Inżynieria Rolnicza*, 6(81). 35-40.
- Lorencowicz, E. (2008). Zmiany w wyposażeniu technicznym wybranych gospodarstw rolnych po przystąpieniu Polski do Unii Europejskiej. *Inżynieria Rolnicza*, 5(103). 73-79.
- Muzalewski, A. (2007). Model optymalizacji wyboru pomiędzy zakupem maszyny a najmem usługi. *Inżynieria Rolnicza*, 2(90). 197-203.
- Piegat, A. (1999). *Modelowanie i sterowanie rozmyte*. Akademicka Oficyna Wydawnicza EXIT. Warszawa. ISBN 83-87674-14-1
- Rybacki, P.; Rzeźnik, C.; Durczak, K. (2011). *Wyniki badań dynamiki odnowy parku maszynowego w rolnictwie*. Technika Rolnicza Ogrodnicza Leśna. Wydawnictwo Przemysłowego Instytutu Maszyn Rolniczych, Poznań. 1/2011, 20-21. ISSN 1732-1719
- Rybacki, P.; Rzeźnik, C.; Durczak, K. (2011). Wyniki badań odnowy parku maszyn gospodarstw rolnych w aspekcie ich jakości. *Journal of Research and Applications in Agricultural Engineering*, 56(1). 121-123
- Skudlarski, J. (2006). Optymalizacja decyzji zakupu maszyn rolniczych na przykładzie ciągników rolniczych. *Inżynieria Rolnicza*, 4, 173-180.
- Tomczyk, W. (2005). *Uwarunkowania racjonalnego procesu użytkowania maszyn i urządzeń rolniczych*. *Inżynieria Rolnicza*, 7(67). 359-366.
- Tomczyk, W. (2008). Aspekty ekonomiczne ekologicznych procesów odnowy i eksploatacji maszyn i urządzeń. *Inżynieria Rolnicza*, 9(107). 305-310.
- Zadeh, L. A. (1965). *Fuzzy sets*. *Information and Control*. 8(3). 338-353.
- Zadeh, L.A. (1988). *Fuzzy Logic*. *Computer*. Vol. 1, No. 4, 83-93.

## THE USE OF FUZZY INFERENCE IN THE DECISION-MAKING PROCESS OF PURCHASE OF AN AGRICULTURAL TRACTOR

**Abstract.** A decision related to the selection of the optimum agricultural tractor is considered by farmers as crucial, having a decisive influence on the economic effect of the farm. This is due to the need to adjust the technical and operating parameters of the tractor to the possessed machines. The paper proposes a method to support the decision of selecting an agricultural tractor that uses fuzzy logic, which allows taking into account the measurable and immeasurable criteria. Based on the theory of fuzzy sets, a procedure of ranking these criteria was suggested. The obtained ratio  $D_c$  decision clearly hierarchizes the considered alternative tractors.

**Key words:** agricultural tractor, decision-making, fuzzy logic, fuzzy inference

### Adres do korespondencji:

Piotr Rybacki; e-mail: prybacki@up.poznan.pl  
Instytut Inżynierii Biosystemów  
Uniwersytet Przyrodniczy w Poznaniu  
ul. Wojska Polskiego 50  
60-637 Poznań