

Mariusz TOPOLSKI*

ROLA LOGIKI ROZMYTEJ I TEORII EWIDENCJI MATEMATYCZNEJ W SYSTEMACH LOGISTYCZNYCH

W części pierwszej zawarto wprowadzenie do teorii logiki rozmytej i teorii ewidencji matematycznej oraz pokazano nowatorskie podejście w dziedzinie logistyki. Wskazano wady i zalety modelu teorii logiki rozmytej i Dempstera-Shafera. Część druga zawiera algorytm analizy położenia transportu. Część trzecia zawiera przykładową metodę, za pomocą której można wdrożyć system GPS w życie. Rozdział trzeci zawiera wyniki badań. Część czwarta to podsumowanie całości referatu.

SŁOWA KLUCZOWE: logika rozmyta, teoria ewidencji matematycznej, GPS.

1. WSTĘP

W dziedzinie logistyki teorie logiki rozmytej oraz ewidencji matematycznej mogą być wykorzystywane np. do procesu planowania, organizowania, sterowania i kontroli przepływem dóbr i informacji od punktu nadania do punktu odbioru. Za pomocą metod logiki rozmytej można dokonać opisu nieprecyzyjnej rzeczywistości. Teoria ewidencji matematycznej, zwana inaczej teorią Dempstera-Shafera bądź teorią funkcji przekonania jest wykorzystywana do oceny rzeczywistości w sposób subiektywny. Jakże ważna jest koordynacja procesów: odnoszących się do czasu i przestrzeni. Istotna jest integracja ze sobą dwóch systemów: informacji i produkcji. W niniejszej pracy skupiono się na roli teorii logiki rozmytej oraz ewidencji matematycznej w strategii, działaniach operacyjnych (w zarządzaniu transportem między klientem a dostawcą usługi z wykorzystaniem systemu GPS).

GPS (Global Positioning System) jest systemem pozwalającym na szybkie i dokładne wyznaczanie współrzędnych określających pozycję anteny, odbiornika w globalnym systemie odniesienia. Ważnym atutem tego systemu jest to, że warunki atmosferyczne nie wywierają znaczącego wpływu na poprawność i dokładność rejestracji lokalizacji. Każdy satelita transmituje dane czasowe i nawigacyjne, co sprawia, że możemy wyznaczyć lokalizację dowolnego punktu na Ziemi z dokładnością do 5 metrów.

* Mgr inż. Mariusz TOPOLSKI, Politechnika Wrocławska, Wydział Elektroniki, Katedra Systemów i Sieci Komputerowych.

Odbiorniki GPS z reguły korzystają z małej płaskiej anteny, która umożliwia odbiór z całego obszaru sfery niebieskiej. System GPS w swoim działaniu korzysta z 24 amerykańskich satelitów wojskowych, które są umieszczone na 6 orbitach kołowych, na wysokości ok. 20.200 km.

Bardzo istotny w różnego rodzaju firmach transportowych jest czas dotarcia do klienta oraz minimalizacja kosztów transportu. Bywa tak, że ze względu na pewne nieścisłości, brak optymalizacji decyzji np. w dyspozytorni do klienta (odbiorcy usługi) wysyłane są pojazdy, znajdujące się dużo dalej niż te, które w rzeczywistości są gotowe do transportu z bliższej odległości od klienta. Pisząc o firmach transportowych, mamy na myśli przewóz osób oraz mienia (np. taksówki osobowe, taksówki towarowe, pojazdy dostawcze). Złe planowanie transportu jest przyczyną strat finansowych w tych firmach. Pozostaje zadać sobie pytanie, w jaki sposób można polepszyć usługi transportowe, redukując ingerencję czasami mylnego człowieka. W niniejszym referacie zaprezentowano sposób rozwiązania powyższego problemu, z wykorzystaniem technologii GPS.

Wnioskowanie oparte na dwuwartościowej logice Arystotelesa oraz klasycznie pojmowanych zbiorach, nie jest w stanie rozwiązać wielu sprzeczności i niejednoznaczności, jakie występują przy przetwarzaniu danych rzeczywistych.

Zaproponowana przez Zadeha w 1965 roku wielowartościowa logika - logika rozmyta (ang. Fuzzy logic) wraz z opartym na niej systemem wnioskowania okazała się niezwykle przydatna w zastosowaniach inżynierskich i znalazła sobie trwałe miejsce we współczesnych naukach technicznych. Systemy logiki rozmytej charakteryzują się dużą prostotą i elastycznością struktury przy jednoczesnym zachowaniu wysokiej skuteczności. Są one oparte na bazie reguł IF-THEN, a tworzenie reguł jest proste i naturalne. Przykładowa reguła rozmyta może wyglądać następująco: IF (x1 jest L1 AND x2 jest L2 AND ...AND xn jest Ln) THEN (y jest B).

Ze względu na swoją efektywność w przetwarzaniu danych rzeczywistych, wnioskowanie rozmyte wykorzystywane jest w różnego rodzaju systemach ekspertowych i decyzyjnych [3,5,8]. W pozycjach [1,6,8] można znaleźć podstawy teoretyczne logiki rozmytej.

Drugą teorią, która traktuje prawdopodobieństwo matematyczne w sposób subiektywny, jest teoria Dempstera-Shafera, zwana inaczej teorią ewidencji matematycznej czy też teorią funkcji przekonania. Możliwe obszary zastosowania powyższej teorii obejmują:

- integrację informacji pochodzących z różnych źródeł przy identyfikacji obiektu,
- modelowania wyszukiwania informacji w bazach danych, rozpoznawanie planu działania,
- zagadnienia diagnostyki technicznej w warunkach zawodności elementów pomiarowych,
- zastosowania medyczne.

Przytoczmy jeszcze kilka podstawowych pojęć z powyższej teorii [2,3,4,5,7,9,10,11].

θ - dyskretny niepusty skończony zbiór, przy czym dla pewnego naturalnego n

$$\theta = \theta_1 \times \theta_2 \times \theta_3 \times \dots \times \theta_n. \quad (1)$$

Zmienna A - przyjmuje wartości ze zbioru θ

Definicja 1. Przez funkcję masy w sensie teorii DS rozumie się funkcję $m: 2^{\theta} \rightarrow [0,1]$ spełniającą warunki:

$$\sum_{A \in 2^\theta} m(A) = 1, \quad (2)$$

$$m(\phi) = 0, \quad (3)$$

$$\forall_{A \in 2^\theta} m(A) \geq 0 \quad (4)$$

Dowodzono, że dla każdej funkcji przekonania Bel istnieje dokładnie jedna funkcja masy m taka, że $\text{Bel}(A) = \sum_{B \in A} m(B) = 1$, natomiast dla zbiorów większej liczności funkcję m(A) można traktować jako wyrównanie „ignorancji” podzbiorów danego zbioru.

W teorii DS operuje się także pojęciem:

Definicja 2. Przez funkcję przekonania w sensie teorii DS rozumie się taką funkcję $\text{Bel}: 2^{\{\theta\}} \rightarrow [0, 1]$, że

$$\text{Bel}(A) = \sum_{B \in A} m(B) = 1 \quad (5)$$

gdzie m(B) jest funkcją masy w sensie teorii DS.

Definicja 3. Przez funkcję domniemania w sensie teorii DS rozumie się funkcję $\text{Pl}: 2^{\{\theta\}} \rightarrow [0, 1]$,

$$\text{Pl}(A) = \sum_{B: B \cap A \neq \emptyset} m(B) = 1 \quad (6)$$

Definicja 4. Rozpatrując dwa rozkłady m1 i m2, można dokonać ich połączenia, otrzymując nowy rozkład bazowy m według reguły

$$m(C) = \frac{\sum_{A \cap B = C} m1(A) \cdot m2(B)}{\sum_{A \cap B \neq \emptyset} m1(A) \cdot m2(B)} \quad (7)$$

Tabela 1. Różnice między modelem probabilistycznym a modelem Dempstera-Shafera
Table 1. Differences between probabilistic model and Dempster-Shafer model.

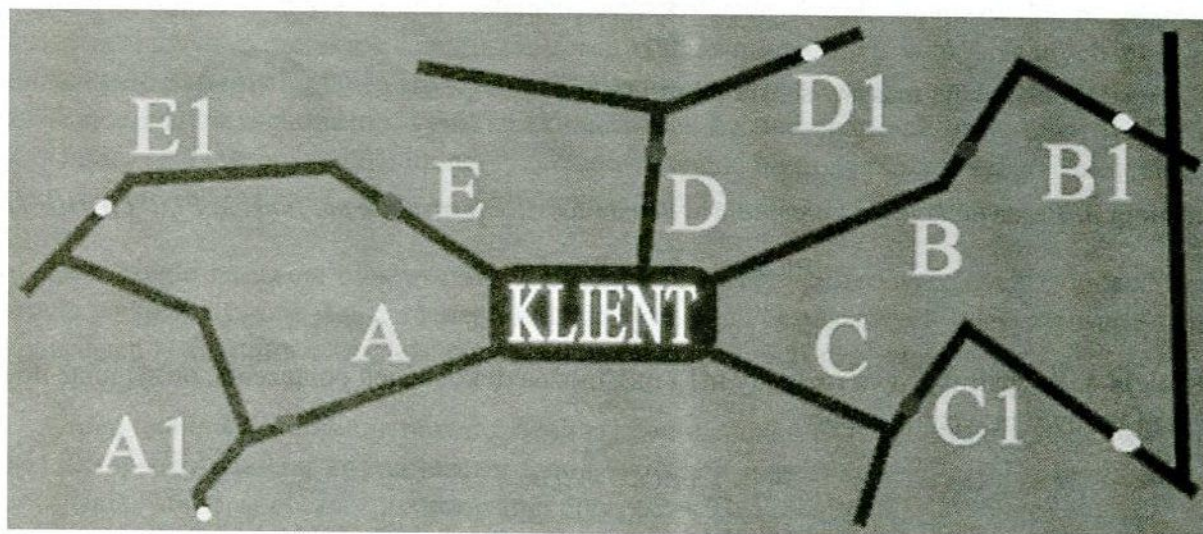
l.p.	MODEL PROBABILISTYCZNY	MODEL DEMPSTERA-SHAFERA
1	Nieskończona przestrzeń zdarzeń elementarnych.	Dyskretny skończony zbiór zdarzeń.
2	Stopnie przekonania są przypisywane indywidualnym odpowiedziom.	Stopnie przekonania są przypisywane indywidualnym odpowiedziom, jak i grupom odpowiedzi.
3	W teorii Bayesa jest wymagana całkowita specyfikacja modelu probabilistycznego.	Teoria DS jest metodą alternatywną, uznającą model częściowo wyspecyfikowany, w której nie uzupełnia się brakującej specyfikacji.
4	Wyznaczane są prawdopodobieństwa prawdziwości hipotez.	Wyznaczone są prawdopodobieństwa, z jakimi dane hipotezy można udowodnić.

Tabela 1 oprócz różnic pokazuje jednocześnie zalety modelu Dempsterowskiego. Bardzo ważną zaletą powyższego podejścia jest możliwość wnioskowania w warunkach, w których nie dysponujemy pełną wiedzą o obiekcie. Połączenie teorii Dempstera-Shafera z logiką rozmytą (wielowartościową) daje możliwość opisu zdarzenia czy współistniejących zdarzeń w sposób subiektywny, a zarazem efektywny. Wnioskowanie za pomocą takiego modelu można zastosować np. w sytuacji planowania transportu, co przedstawia rozdział 2.

2. WYKORZYSTANIE MODELU ŁĄCZĄCEGO LOGIKĘ ROZMYTĄ I TEORIĘ DEMPSTERA-SHAFERA DO STEROWANIA TRANSPORTEM

Przed przystąpieniem do poniższych rozważań zaznaczmy, że będą one obejmowały pewien obszar w otoczeniu klienta oraz znajdujące się na nim pojazdy transportu, co przedstawia rysunek 1.

Rys. 1. Przykładowa mapa.
Fig 1. Example a map.



Gdzie: A, B, C, D, E - punkty (wektory) stanowiące odległość wolnego pojazdu transportowego od klienta,

A1, B1, C1, D1, E1 - punkty (wektory) stanowiące odległość chwilowo zajętego pojazdu transportowego od klienta.

Powyższe wektory są wyznaczone za pomocą współrzędnych punktu w standardzie ogólnosiwiatowym systemu GPS. Ze względu na fakt, że ulice (wektory) nie są linią prostą, zatem długość można wyznaczyć za pomocą wektora:

$$A = [A^1, A^2, \dots, A^n] \quad (8)$$

którego składowe stanowią punkty (współrzędne) pomiarowe na zadanym odcinku $[A^1 \text{ do } A^n]$, którego długości są wyznaczone jako najmniejsza odległość od pojazdu do klienta. Współrzędne

wektorów A1, B1, C1, D1 są wyznaczane podobnie jak A, B, C, D, E. Aby dobrze opisać analizowaną rzeczywistość, wzięto pod uwagę zmienne kontekstowe stanowiące odległość (masę) pojazdów od oczekującego klienta, a które aktualnie kończą usługę transportową. Przyjmijmy, że ulice doprowadzające ruch kołowy (pojazdy wolne) do klienta będziemy nazywali zmiennymi podstawowymi. Zatem ogólnie przyjęto, że długości ulic doprowadzających ruch do danego klienta będziemy nazywać zmiennymi (cechami) podstawowymi, a dla pojazdów chwilowo zajętych, wartościami kontekstowymi. Odpowiednie dostrojenie sterowania pozwoli na optymalizację wyboru najbliższego pojazdu dla klienta.

2.1. BUDOWA SYSTEMU STEROWANIA TRANSPORTEM KOŁOWYM ZA POMOCĄ MODELU ŁĄCZĄCEGO LOGIKĘ ROZMYTĄ I TEORIĘ DEMPSTERA-SHAFERA

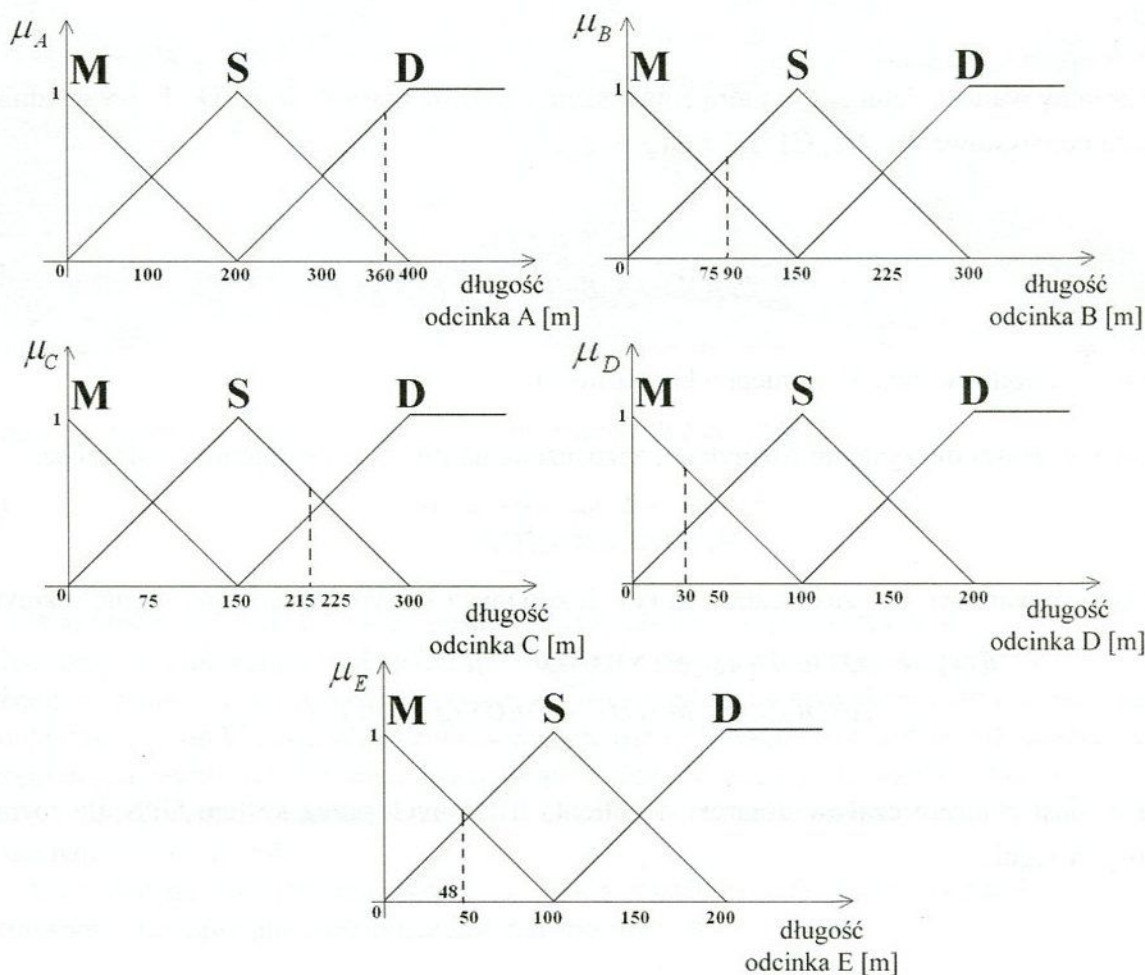
Krok 1.

W pierwszej kolejności projektujemy odpowiednie funkcje przynależności dla modelu rozmytego - rys. 2.

Długości odcinków A, B, C, D i E są wyznaczane jako wektory (8). W poniższym przypadku każda cecha ma przyporządkowane po trzy zmienne lingwistyczne.

Rys. 2. Przykładowe funkcje przynależności.

Fig. 2. The instances of pertained functions.



W celu dokładnego sprawdzenia algorytmu, dobrano krótkie odległości pojazdów transportowych od klienta. Jeżeli algorytm dla tak małych odległości da wysoką skuteczność, to tym bardziej w warunkach rzeczywistych skuteczność będzie bardzo wysoka.

Na rysunku 2 przyjęto oznaczenia M(mały), S(średni) i D(duży) odcinek, w którym znajdują się pojazdy mogące udać się do klienta. Dla zmiennych kontekstowych A1, B1, C1, D1 i E1 oraz podstawowych będą wyznaczane funkcje masy oraz funkcje przekonania w czasie rzeczywistym zgodnie z teorią ewidencji matematycznej. Mając 5 ulic doprowadzających ruch pojazdów do klienta nasz system będzie zawierał $5^3=125$ reguł rozmytych. Przykładowa reguła rozmyta została zapisana w rozdziale 1. W czasie t rzeczywistym, po dostarczeniu zlecenia od klienta wykonujemy pomiar odległości pojazdów od klienta.

Krok 2.

Funkcje masy wyznaczamy:

$$DI = A + B + C + D + E + A1 + B1 + C1 + D1 + E1 \quad (9)$$

zatem dla zmiennych podstawowych oraz dla kontekstowych:

$$m(X) = \frac{X}{DI}, \quad m(Y) = \frac{Y}{DI} \quad (10)$$

z powyższego wynika oczywiście zależność, że suma wszystkich mas z (10) jest równa jeden.

Funkcje przekonania zdefiniujemy zgodnie z definicją 2.

Krok 3.

Wyznaczamy wartość delta Δ_L , o którą zmniejszymy wartość masy A, B, C, D i E, uwzględniając zmienne kontekstowe A1, B1, C1, D1 i E1.

$$\Delta_L = \frac{\sum Bel(XY)}{\sum Bel(X) + \sum Bel(Y) + \sum Bel(XY)} \quad (11)$$

gdzie:

X - zmienna podstawowa, Y - zmienna kontekstowa

Końcowe wartości dla systemu rozmytego, zaznaczone na rys. 2 otrzymujemy z zależności

$$x_L = m_L - \Delta_L m_L = (1 - \Delta_L) m_L \quad (12)$$

Przykładowe wartości x_L zaznaczono na rys. 2, zgodnie z którym uzyskujemy regułę rozmytą:

$$\begin{aligned} &IF(x_A \text{ jest } D) AND(x_B \text{ jest } S) AND(x_C \text{ jest } S) AND(x_D \text{ jest } M) \\ &AND(x_E \text{ jest } M) THEN(DECYZJA \text{ jest } T_L) \end{aligned} \quad (13)$$

gdzie T_L jest zbiorem czasów dotarcia do klienta ustalonych przez system GPS dla różnych możliwych reguł.

3. BADANIA SYMULACYJNE

W celu sprawdzenia skuteczności algorytmu wykonano symulację komputerową. Na rysunku 3 pokazano chwilową sytuację w symulacji, a na rysunku 4 pokazano analizę rozmytą do tej sytuacji.

Rys. 3. Wygląd interfejsu użytkownika.
Fig. 3 Appearance of the user's interface.

SYMULACJA ROZMYTO-DEMPSTEROWSKIEGO SYSTEMU STEROWANIA TRANSPORTEM.

Automatyczne sterowanie

Odległość pojazdu A 360 m	Czas dojazdu do klienta pojazdu A 2 minuty, 26 sekund	☐ Pojazd nie skierowany do klienta
Odległość pojazdu B 90 m	Czas dojazdu do klienta pojazdu B 1 minuta, 10 sekund	☐ Pojazd nie skierowany do klienta
Odległość pojazdu C 215 m	Czas dojazdu do klienta pojazdu C 1 minuta, 49 sekund	☐ Pojazd nie skierowany do klienta
Odległość pojazdu D 30 m	Czas dojazdu do klienta pojazdu D 0 minut, 30 sekund	☒ Pojazd skierowany do klienta
Odległość pojazdu E 48 m	Czas dojazdu do klienta pojazdu E 1 minuta, 2 sekundy	☐ Pojazd nie skierowany do klienta
Odległość pojazdu A1 420 m	Czas dojazdu do klienta pojazdu A1 3 minuty, 5 sekund	☐ Pojazd nie skierowany do klienta
Odległość pojazdu B1 130 m	Czas dojazdu do klienta pojazdu B1 2 minuty, 48 sekund	☐ Pojazd nie skierowany do klienta
Odległość pojazdu C1 435 m	Czas dojazdu do klienta pojazdu C1 5 minut, 34 sekundy	☐ Pojazd nie skierowany do klienta
Odległość pojazdu D1 70 m	Czas dojazdu do klienta pojazdu D1 2 minuty, 38 sekund	☐ Pojazd nie skierowany do klienta
Odległość pojazdu E1 142 m	Czas dojazdu do klienta pojazdu E1 3 minuty, 19 sekund	☐ Pojazd nie skierowany do klienta

Generuj
Wczytaj układ

Wyniki symulacji

Ilość zleceń od klientów - 50
Skuteczność - 100%
Ilość zleceń od klientów - 200
Skuteczność - 100%
Ilość zleceń od klientów - 350
Skuteczność - 100%
Ilość zleceń od klientów - 500
Skuteczność - 100%
Ilość zleceń od klientów - 1000
Skuteczność - 99.9%

Sumaryczna skuteczność algorytmu

0 %  99.9 %

KONIEC SYMULACJI

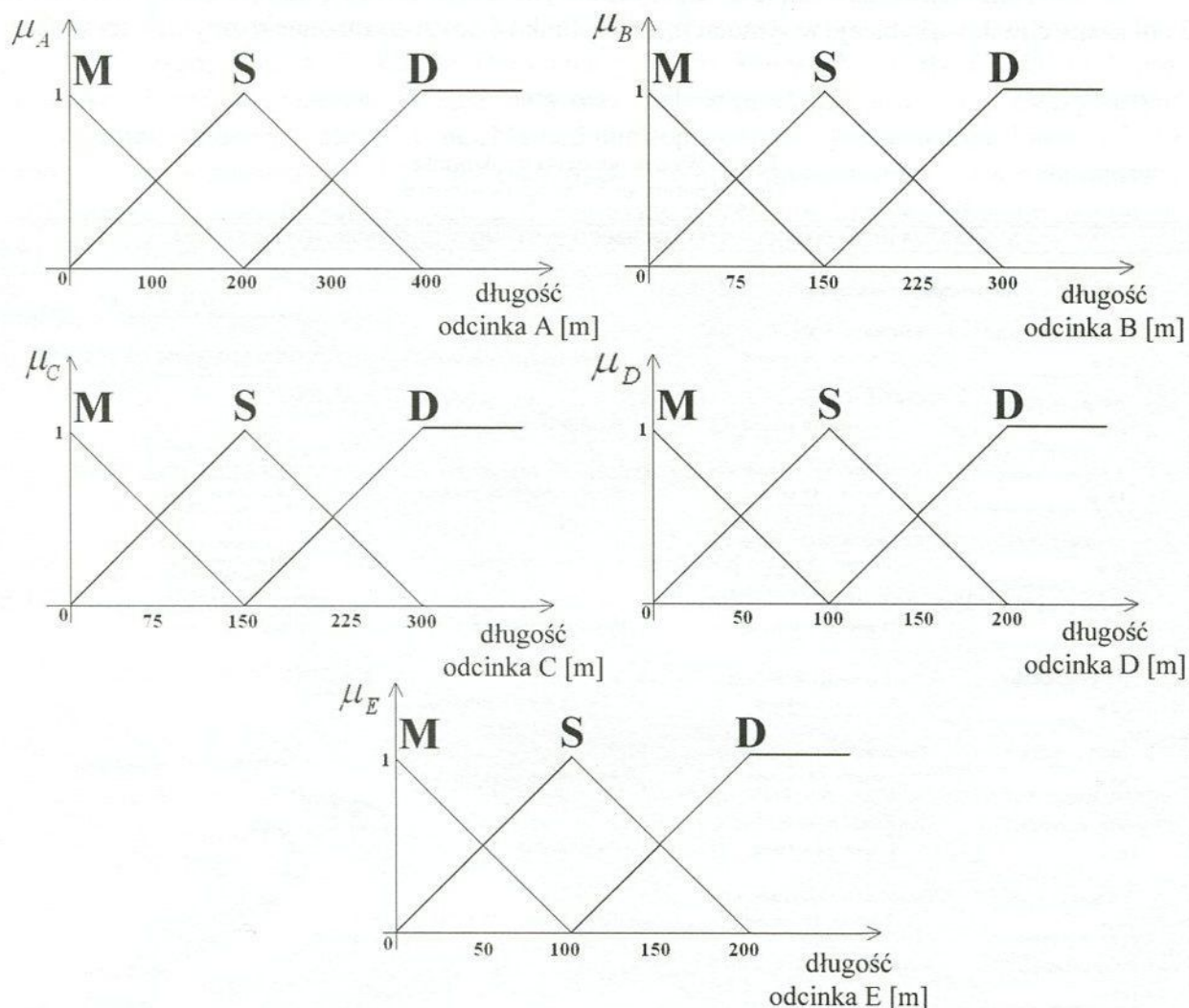
Wyniki badań symulacyjnych zestawiono na rysunkach 5,6,7,8,9,10,11,12.

4. PODSUMOWANIE

W środowisku Visual C++ 6.0 napisano system bazujący na powyższym algorytmie. Wykonano analizę, dzieląc przestrzeń wejściową, jak pokazano na rysunku 2. Ustalono eksperymentalnie punkty (zmienne podstawowe, jak na rysunku 4) oraz zmienne kontekstowe o zadanych długościach, bazując na odległościach od klienta. Wykonano symulacje różnych położen pojazdów i dokonano analizy otrzymanych wyników. Po zastosowaniu powyższego algorytmu zaobserwowano wysoką skuteczność algorytmu. Okazuje się, że model taki na 1000 zleceń raz tylko wybrał pojazd znajdujący się nie najbliżej od klienta.

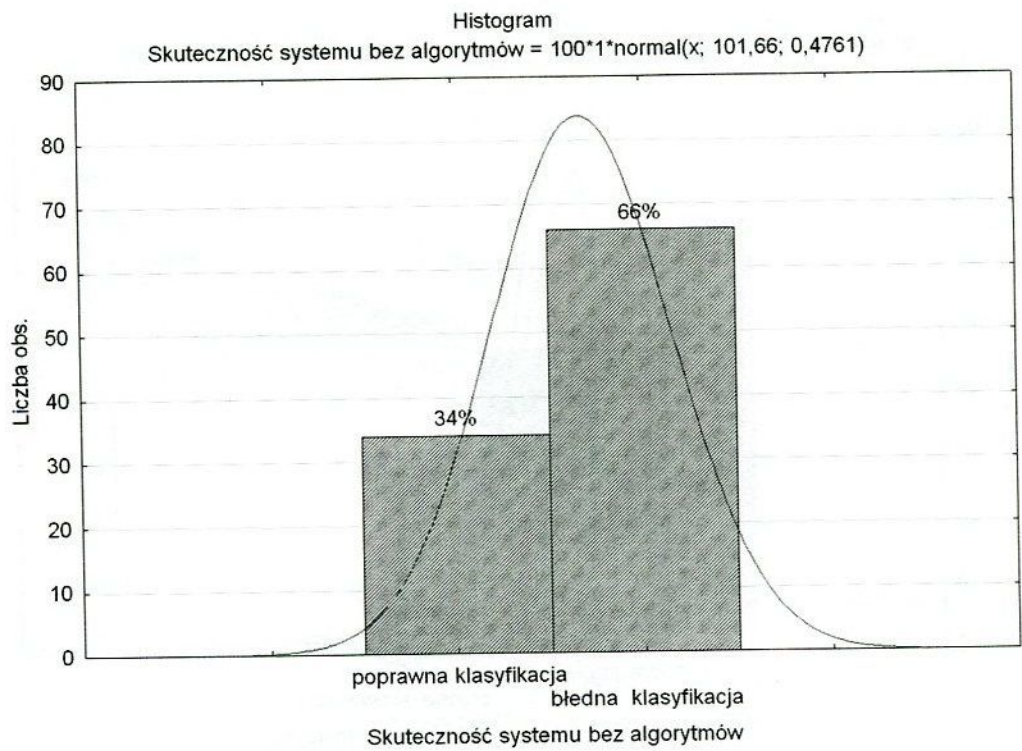
Jak widać, po zastosowaniu algorytmu MARX znacznie redukuje się czas oczekiwania klienta na transport oraz upływnia ruch pojazdów transportowych.

Rys. 4. Przykładowe funkcje przynależności.
Fig 4. The instances of pertained functions.

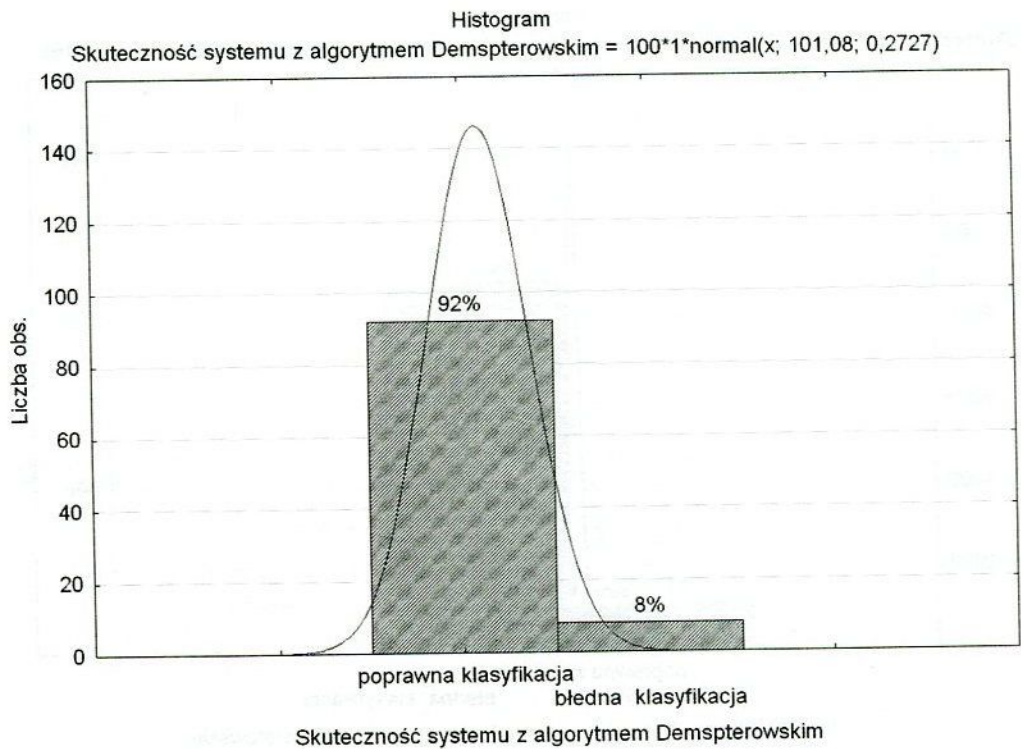


System MARX połączony z systemem GPS można zastosować do warunków rzeczywistych, dostrajając parametry systemu, np. stosując do optymalizacji algorytmy genetyczne bądź sieć neuronową. Dzięki systemowi, firmy przewoźne mogą zaoszczędzić znaczną część środków finansowych związanych z dodatkową amortyzacją pojazdów oraz paliwem spalonym przez te pojazdy. Główna aplikacja znajduje się w dyspozytorni. Stamtąd następuje skierowanie pojazdów do miejsca przeznaczenia. Dyspozytor ponadto może dokładnie podać czas, za jaki środek transportu znajdzie się u klienta. Na rysunkach [5-12] widać, że tradycyjna metoda sterowania transportem przez dystrybutora jest w porównaniu z algorytmami rozmytymi i Dempstera-Shafera mało efektywna. Najwyższą skuteczność uzyskaliśmy dla modelu łączącego teorię logiki rozmytej z teorią ewidencji matematycznej. W tej ostatniej na 1000 zleceń w 999 przypadkach wybraliśmy za pomocą systemu GPS środek transportu znajdujący się najbliżej od klienta.

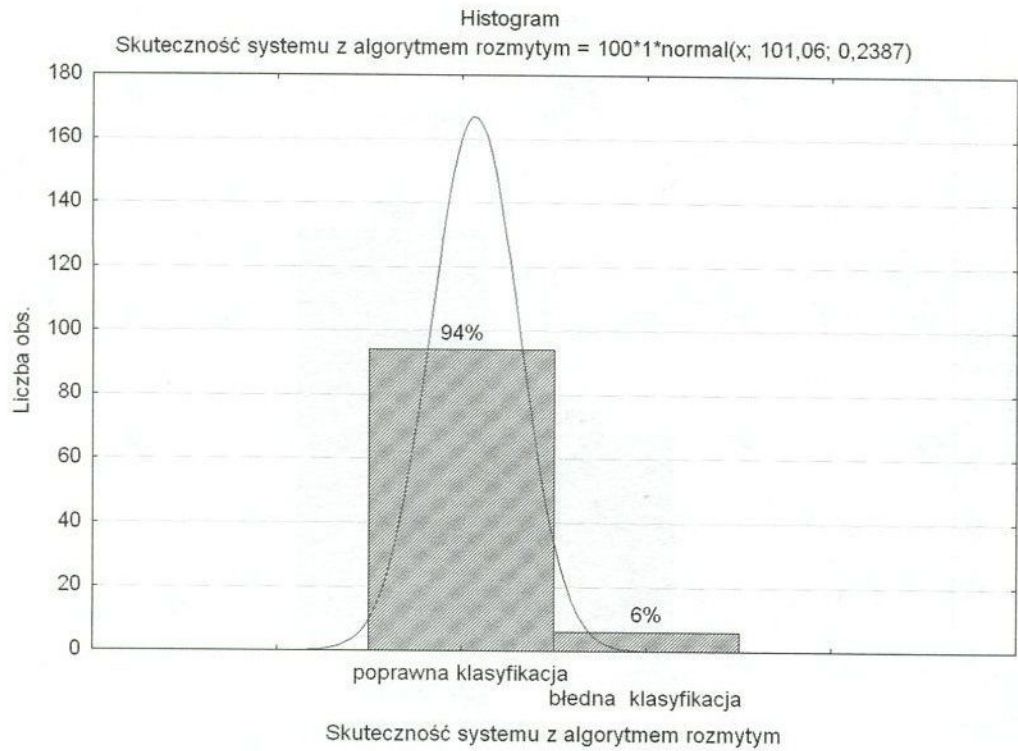
Rys. 5. Wyniki badań.
Fig 5.Results of investigations.



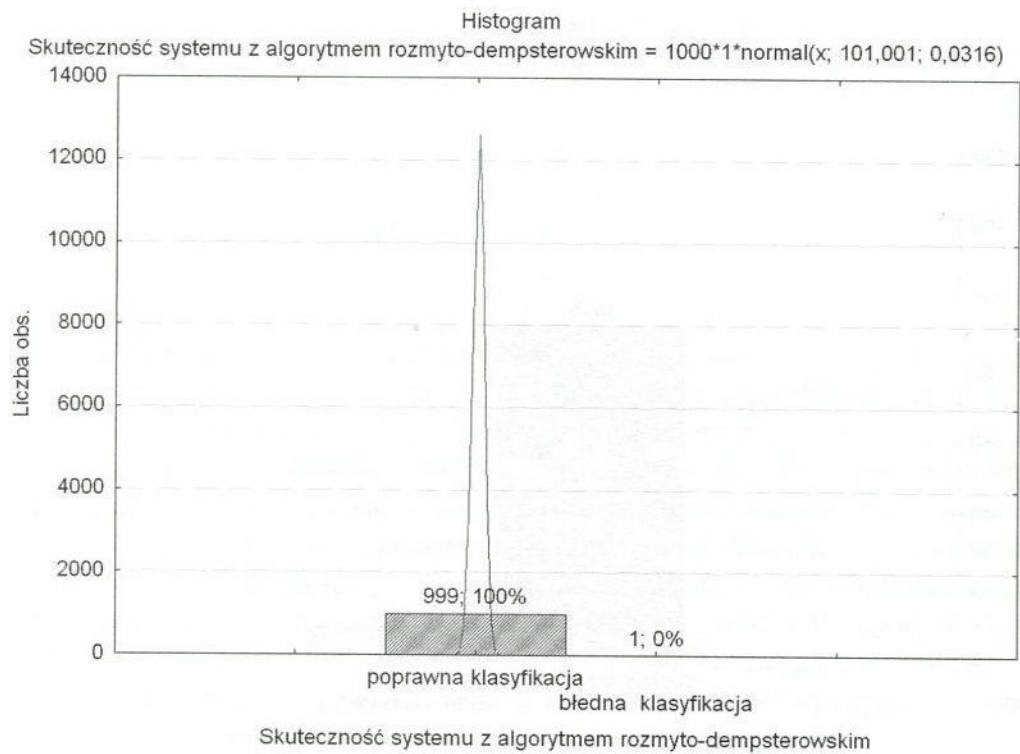
Rys. 6. Wyniki badań.
Fig 6. Results of investigations.



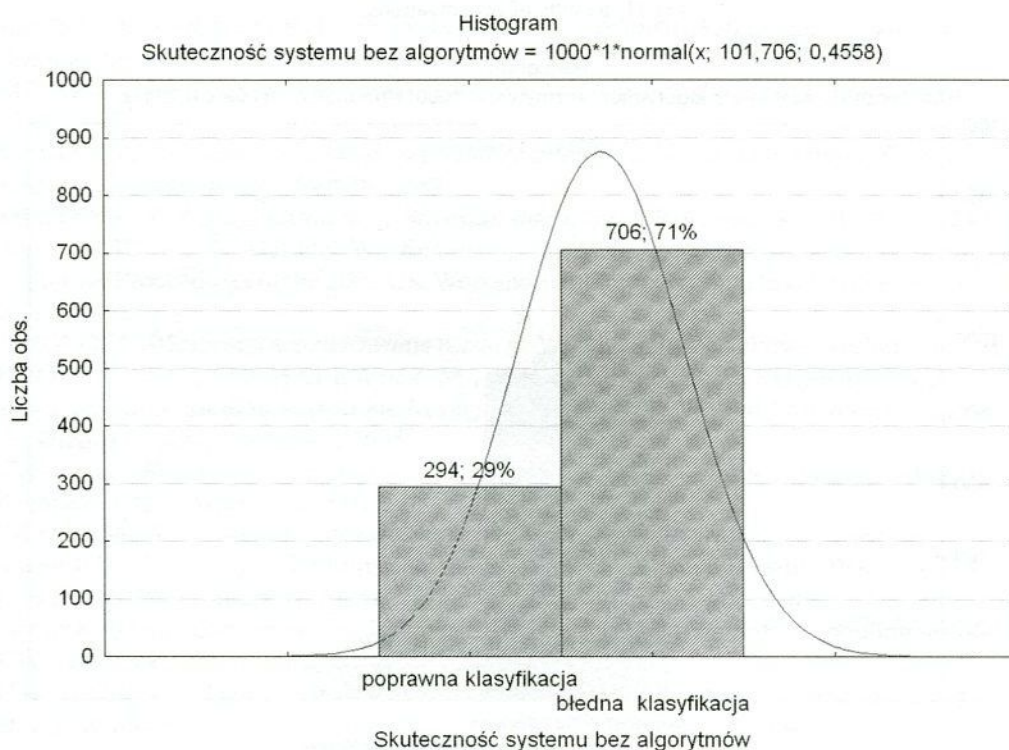
Rys. 7. Wyniki badań.
Fig 7. Results of investigations.



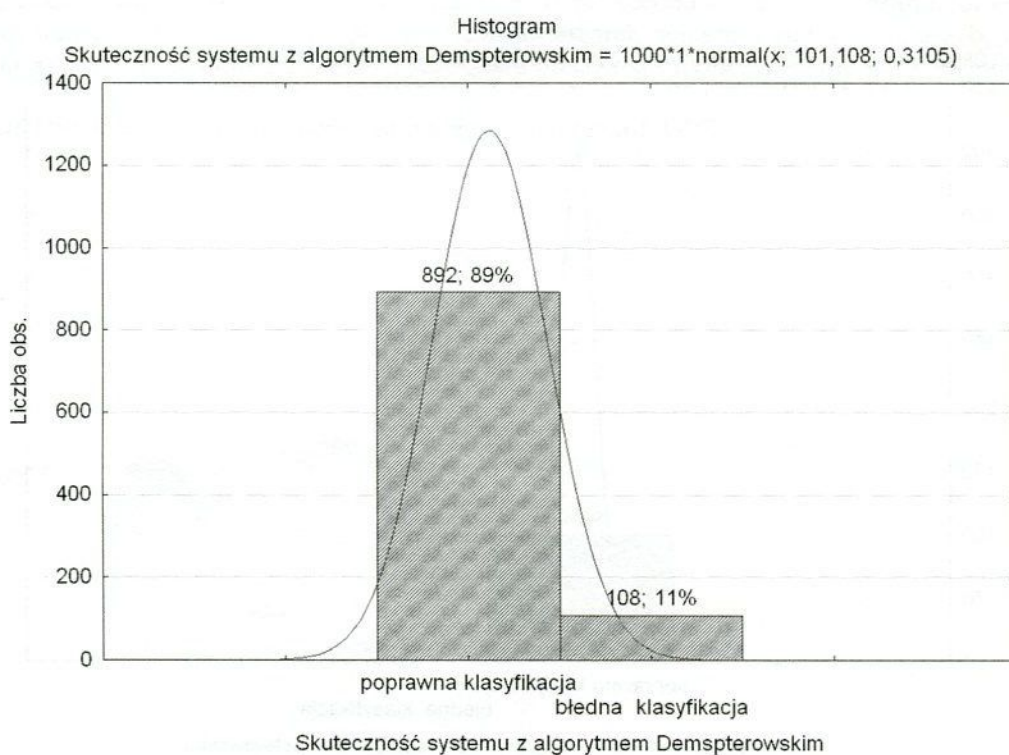
Rys. 8. Wyniki badań.
Fig 8. Results of investigations.



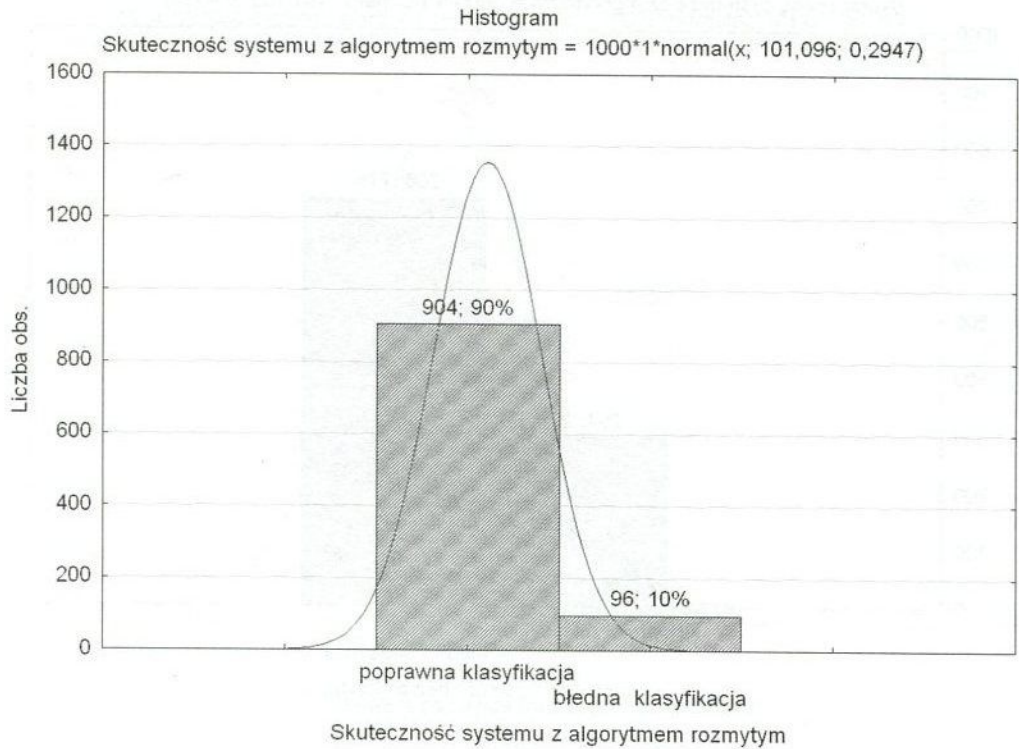
Rys. 9. Wyniki badań.
Fig. 9. Results of investigations.



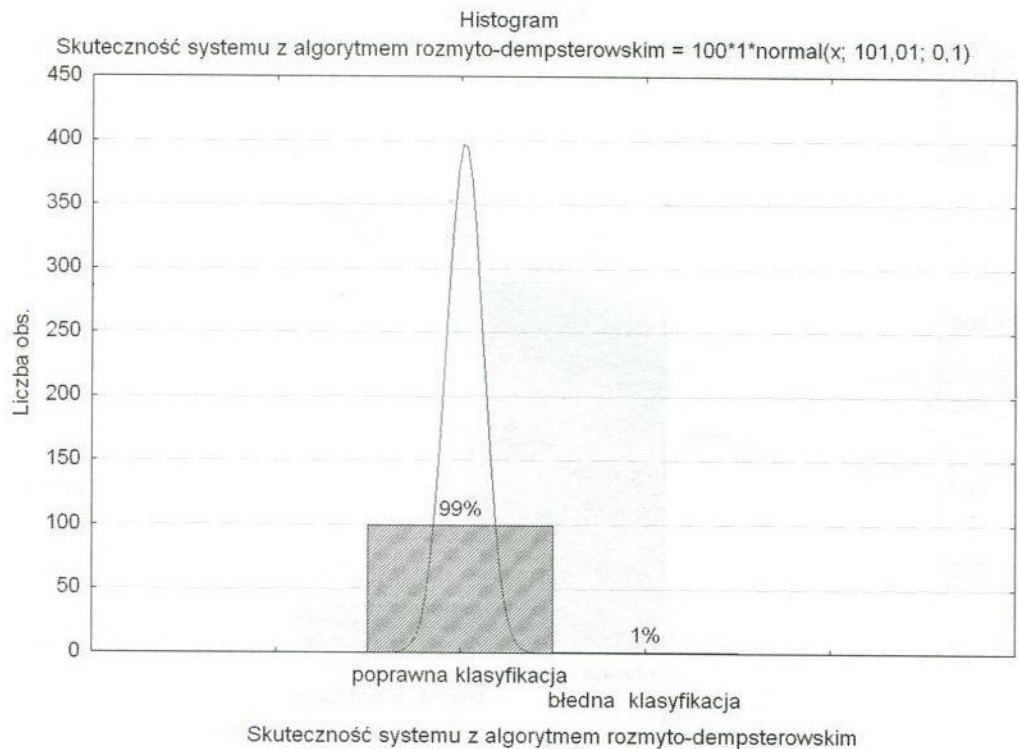
Rys.10. Wyniki badań.
Fig. 10. Results of investigations.



Rys. 11. Wyniki badań.
Fig 11. Results of investigations.



Rys.12. Wyniki badań.
Fig 12. Results of investigations.



5. LITERATURA

- [1] BARDOSSY A., DUCKSTEIN L., *Fuzzy Rule-based Modeling with Applications to Geophysical, Biological and Engineering Systems*, CRC Press Boca Raton, 1994.
- [2] DEMPSTER A. P., *Upper and lower probability induced by a multivalued mapping*, Ann Math. Stat., 38, 325-339, 1967
- [3] DEMPSTER A. P., *Upper and lower probability interference based on a sample from a finite univariate population*, Biometrika, 54, 515-528, 1967.
- [4] DEMPSTER A. P. *A generalization of Bayesian inference*, J. Roy. Stat. Soc. B 30, 205-247 1968
- [5] HONG X., LIU W., SCANLON W., *Enhancing model-based diagnosis with belief functions for fault management*, Proceedings of the 2003 UK Workshop on Computational Intelligence, 63-67. 1-3 September, Bristol, UK, 2003.
- [6] KACPRZYK J., *Wieloetapowe sterowanie rozmyte*, Wydawnictwa Naukowo-Techniczne, Warszawa 2001.
- [7] KŁOPOTEK M.A., MICHAŁEWICZ M., WIERZCHOŃ S.T., *Ekspertowo-statystyczny system wspomagania procesu diagnostyki medycznej*, w: TRACZYK W. [red.] *Problemy sztucznej inteligencji*, s.115, Wiedza i Życie, Warszawa, 1995.
- [8] ŁACHWA A., *Rozmyty świat zbiorów, liczb, relacji, faktów, reguł i decyzji*, Akademicka Oficyna Wydawnicza EXIT, Warszawa 2001
- [9] WIERZCHOŃ S.T., *Metody reprezentacji i przetwarzania informacji niepewnej w ramach teorii Dempstera-Shafera*, Instytut Podstaw Informatyki Polskiej Akademii Nauk, Warszawa 1996.
- [10] ZHU H., BASIR O., *Adaptive Fuzzy Evidential Reasoning with Information Theoretic Discounting for Robust Brain Tissue Classification*, 5th International Symposium on Soft Computing for Industry (WAC-ISSCI), SEVILLE, Spain, June 28 - July 1, 2004.
- [11] ZHU H., BASIR O., *Connectionist based Dempster-Shafer evidential reasoning for data fusion*, Int. Joint Conf. on Neural Networks (IJCNN2004), July 26 - 29, Budapest, 2004.

THE ROLE OF FUZZY LOGIC AND THE THEORY OF MATHEMATICAL RECORD IN LOGISTIC SYSTEMS

ABSTRACT. In the first section of the paper fuzzy logic theory and mathematical record theory are introduced and innovative approaches to logistic science are presented. Disadvantages and advantages of fuzzy logic and Dempster-Shafer theory are discussed. In the second section an algorithm for analysing the position of transportation is used. In the third section research outcomes and an example of a method to implement a Global Positioning System in reality are presented. In the last sections some conclusions are drawn.

KEY WORDS: The fuzzy logic, theory of mathematical record, GPS.