

DOBÓR FUNKCJI PODOBIEŃSTWA W SYSTEMIE EKSPERTSKIM PROJEKTOWANIA AUTOMATYKI STATKÓW

W referacie zaprezentowano metodę obliczania podobieństwa statku projektowanego do statków już zbudowanych. W zależności od cech parametrów charakteryzujących statki w metodzie wykorzystuje się: badanie identyczności, funkcję symetrycznego podobieństwa i logikę rozmytą. Do realizacji metody zastosowano oprogramowanie bazy danych MS Access oraz system ekspercki Exsys Developer. Prezentowana metoda została zrealizowana w systemie ekspertowym wspomagania projektowania automatyki statków.

SELECTION OF SIMILARITY FUNCTIONS IN AN EXPERT SYSTEM FOR SHIP AUTOMATION DESIGN

The paper presents a method used to the similarity determination between a new ship and the ships from database. Subject to the types of the characteristic parameters of the ships the method uses different techniques - identity identification, symmetrical similarity function and fuzzy logic. MS Access database software and Exsys Developer expert system shell were used in calculation according the method. The method was implemented in an expert system for ship automation design.

1. WPROWADZENIE

W początkowej fazie projektowania automatyki siłowni statku (na etapie projektu ofertowego) projektant najczęściej korzysta z wcześniejszych rozwiązań dotyczących automatyki statku już zaprojektowanego lub zbudowanego. Wynika to ze stosunkowo krótkiego czasu na przygotowanie oferty, a ponadto z uproszczonej procedury projektowej. Z tego względu celowe i efektywne wydaje się zastosowanie do projektowania automatyki statku metody wyszukiwania statków podobnych przechowywanych w bazie danych.

W dziedzinie sztucznej inteligencji zasygnalizowane podejście rozważane jest w sposób sformalizowany w postaci metodologii zwanej wnioskowaniem na podstawie przypadków (ang. Case-Based Reasoning - CBR) [1, 6]. Obszar zastosowań tej metody jest szeroki i może obejmować np. diagnozowanie, klasyfikację, wspomaganie podejmowania decyzji, planowanie, projektowanie itp. Do tej pory powstało wiele badawczych i pilotowanych technik systemów CBR takich jak: system dla projektowania koncepcyjnego statku BASCON IV, opracowany przez Koreański Instytut Badawczy Okrętownictwa i Oceanotechniki [4] lub norweski system nadzoru wieży wiertniczej [5]. Oprócz gotowych systemów istnieją narzędzia wspomagające tworzenie aplikacji CBR [1].

Podstawowym problemem w zastosowaniach wnioskowania na podstawie przypadków jest zdefiniowanie metody określania podobieństwa przypadku rozwiązywanego i poszczególnych przypadków zrealizowanych. Wnioskowanie na podstawie przypadków nie wymaga szczegółowego modelu dziedzinowego, stąd implementację redukuje się do identyfikacji znaczących cech, które opisują przypadek. Cechy te mogą mieć różnorodny charakter: liczbowy, binarny, tekstowy, obiektowy i inny. Metody określania podobieństwa winny uwzględniać jak najwięcej cech oraz ich różnorodność i w wyniku dawać jednoznaczną miarę podobieństwa.

W zadaniu wspomaganie projektowania automatyki statku podobieństwo odniesiono do cech charakteryzujących siłownie statków zbudowanych. Zakłada się bowiem, że rozwiązania dotyczące automatyki są uwarunkowane pewnymi, wytypowanymi cechami siłowni statku. Ze względu na dużą liczbę uwzględnianych cech, podobieństwo statków określane jest w rozbięciu na pewne grupy cech.

W opracowanym algorytmie obliczania miary podobieństwa zastosowano trzy metody: sprawdzanie identyczności parametrów, wykorzystanie funkcji symetrycznego podobieństwa z dolną granicą oraz wnioskowanie w oparciu o logikę rozmytą. Ze względu na łatwość realizacji ostatnia z tych metod wykonywana jest w systemie ekspertowym Exsys Developer, a pozostałe dwie w bazie danych Access.

Zbiór rozpatrywanych cech (parametrów) statków został podzielony na podzbiory odnoszące się do: całego statku, napędu głównego, elektrowni oraz dwóch wybranych instalacji – zęzowej i paliwowej. Wyniki obliczeń podobieństw w zakresie tych podzbiorów określane są jako podobieństwa cząstkowe.

Zarówno w obliczeniach podobieństw cząstkowych, jak również w obliczeniach podobieństwa sumarycznego wprowadzono współczynniki wagowe, umożliwiające różnicowanie ważności poszczególnych parametrów oraz wyników podobieństw cząstkowych.

2. METODY OBLICZANIA MIARY PODOBIEŃSTWA STATKÓW

W zadaniu wspomaganie projektowania automatyki siłowni statku podobieństwo odnosi się do cech charakteryzujących siłownie statków zbudowanych. Z uwagi na dużą liczbę uwzględnianych cech, podobieństwo statków określane jest w rozbięciu na następujące grupy:

dane ogólne statku: typ statku, wyporność, liczba kontenerów chłodzonych, liczba przewożonych samochodów, towarzystwo klasyfikacyjne, klasa automatyki;

napęd główny: liczba silników głównych (SG), typ SG, moc SG, prędkość obrotowa SG, liczba i rodzaj śrub napędowych, liczba przekładni;

elektrownia: liczba głównych zespołów prądotwórczych (ZP1), typ ZP1, moc ZP1, prędkość obrotowa ZP1, liczba pomocniczych zespołów prądotwórczych (ZP2), typ ZP2, moc ZP2, prędkość obrotowa ZP2, typ prądnicy wałowej;

instalacja paliwa: liczba zaworów paliwa, liczba pomp paliwa, liczba wirówek, liczba filtrów;

instalacja zęzowa: liczba zaworów zęzowych, liczba pomp zęzowych.

Do porównywania i wyszukiwania statków podobnych opracowany został algorytm wnioskowania na podstawie przypadków z zastosowaniem logiki rozmytej.

Przyjęta metodologia obliczania stopnia podobieństwa wymaga:

- badania identyczności parametrów z uwzględnieniem ich wag (test identyczności),
- użycia funkcji symetrycznego podobieństwa z dolną granicą dla parametrów liczbowych,

• zastosowania logiki rozmytej w odniesieniu do wybranych parametrów liczbowych.

Test identyczności odniesiony do określonego parametru daje w wyniku wartość 0 lub 1 zgodnie z następującą zależnością:

$$S(p_2) = \begin{cases} 1, & \text{dla } p_2 = p_1 \\ 0, & \text{dla } p_2 \neq p_1 \end{cases} \quad (1)$$

gdzie:

p_1 - zadana wartość parametru statku projektowanego,

p_2 - wartość parametru statku z bazy danych.

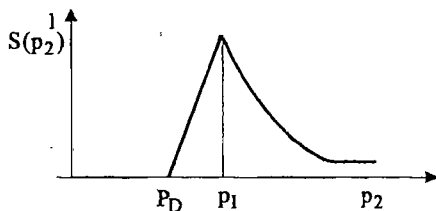
Test identyczności stosowany jest w odniesieniu do parametrów tekstowych takich jak: typ statku, towarzystwo klasyfikacyjne, klasa automatyki, typ SG, rodzaj śrub, typ ZP1, i typ ZP2, typ prądnicy wałowej oraz niektórych parametrów liczbowych jak np. liczba śrub, liczba przekładni oraz liczba ZP2.

Symetryczne podobieństwo z dolną granicą odnosi się także do jednego parametru i zdefiniowane jest zależnością [9]:

$$S(p_2) = 1 - \frac{|p_1 - p_2|}{\max(p_1, p_2) - P_D} \quad (2)$$

gdzie P_D - dolna granica wartości parametru.

Wykres ten funkcji przedstawiono na rysunku 1.



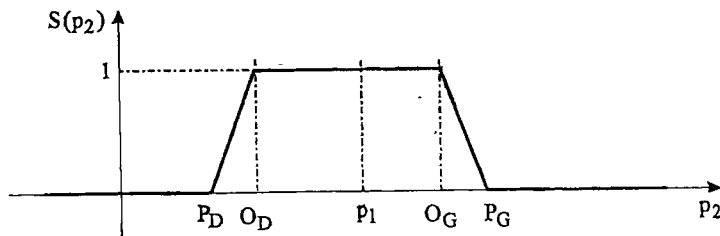
Rys. 1. Funkcja symetrycznego podobieństwa z dolną granicą

Jak łatwo zauważyć metoda ta daje w wyniku wartości z przedziału $[0, 1]$ (dla $p_2 \geq P_D$).

Symetryczne podobieństwo z dolną granicą stosowane jest w odniesieniu do parametrów liczbowych takich jak: liczba SG, liczba ZP1 oraz wybranych parametrów przykładowych instalacji jak np. liczby pomp paliwa, liczby wirówek i filtrów paliwa, liczby pomp zęzowych.

W wielu wypadkach projektant w swoich założeniach projektowych może przyjąć wartości pewnych parametrów z mniejszą lub większą tolerancją, szczególnie dotyczyć to będzie górnego progu wymaganej wartości parametru. Decydujące mogą być bowiem inne kryteria np. preferencja dostawcy lub korzystniejsze warunki dostawy. Dla innych parametrów może być wskazane obniżenie progu wartości projektowanego parametru np. ze względu na kryterium cenowe. Z tego punktu widzenia istotna jest możliwość wyboru kształtu funkcji podobieństwa.

W literaturze prezentowane są głównie funkcje symetryczne jak np. symetryczne podobieństwo oparte na teorii zbiorów lub wyżej wspomniane symetryczne podobieństwo z dolną granicą. W dalszej części referatu zaprezentowane zostanie rozszerzenie zbioru funkcji podobieństwa o funkcje: trapezową, trójkątną i gaussowską. Z jednej strony daje to projektantowi większą elastyczność w określaniu podobieństwa, z drugiej zaś zmusza go do dokonania doboru funkcji odpowiednio do wymagań i rodzaju analizowanego parametru projektowego automatyki statku. Funkcja trapezowa przedstawiona została na rysunku 2.



Rys. 2. Trapezowa funkcja podobieństwa

Na rysunku tym przyjęto następujące oznaczenia:

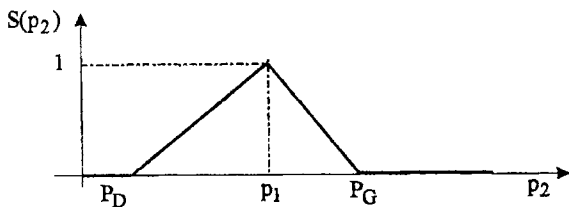
- p_1 - wartość parametru projektowanego,
- P_D - dolna granica wartości parametru,
- P_G - górna granica wartości parametru,
- O_D - odchylenie dolne,
- O_G - odchylenie górne.

Podobieństwo obliczane przy pomocy tej funkcji może być zapisane następująco:

$$S(p_2) = \begin{cases} 0, & \text{dla } p_2 < P_D \\ \frac{p_2 - P_D}{O_D - P_D}, & \text{dla } P_D \leq p_2 \leq O_D \\ 1, & \text{dla } O_D < p_2 < O_G \\ \frac{O_G - p_2}{P_G - O_G}, & \text{dla } O_G \leq p_2 \leq P_G \\ 0, & \text{dla } p_2 > P_G \end{cases} \quad (3)$$

Górna podstawa funkcji trapezowej określa dopuszczalny zakres wartości parametru. Podobieństwo w granicach odchylenia górnego i dolnego przyjmuje się równe 1, a poniżej i powyżej tej granicy maleje. Funkcja ta odrzuca wszystkie obiekty poza dolną i górną granicą. Odchylenia te mogą być niesymetryczne w zależności od założeń projektowych.

Przyjmując założenie o niedopuszczalności żadnych tolerancji funkcję trapezową można sprowadzić do funkcji trójkątnej, gdzie odchylenie dolne i górne równe są 0. Funkcja trójkątna przedstawiona została na rysunku 3.

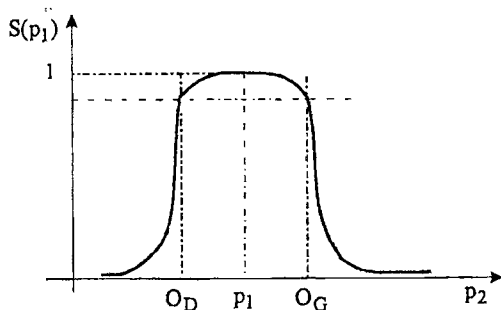


Rys. 3. Trójkątna funkcja podobieństwa

W tym przypadku podobieństwo parametrów wyraża się wzorem:

$$S_{p_2} = \begin{cases} \frac{p_2 - P_D}{P_1 - P_D}, & \text{dla } P_D \leq p_2 < P_1 \\ \frac{P_2 - P_1}{P_G - P_1}, & \text{dla } P_1 \leq p_2 \leq P_G \\ 0, & \text{dla } p_2 < P_D \text{ lub } p_2 > P_G \end{cases} \quad (4)$$

Na etapie wstępnych poszukiwań obiektów podobnych uzasadnione jest zastosowanie funkcji gaussowskiej, gdzie podobieństwo uwzględniane jest w dużym przedziale i żadne obiekty nie są odrzucane. Funkcja taka przedstawiona została na rysunku 4.

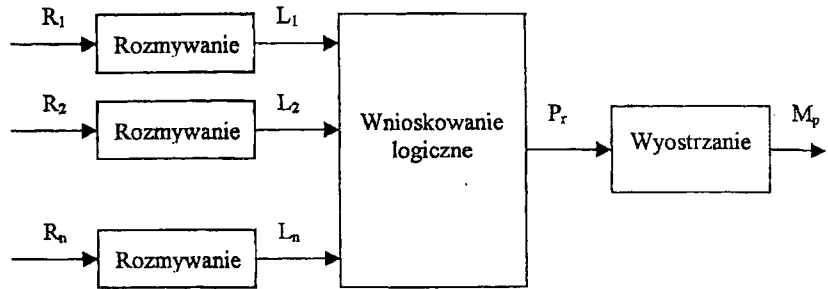


Rys. 4. Funkcja podobieństwa Gaussa

Podobieństwo obliczone funkcją Gaussa wyraża się następującymi zależnościami:

$$S(p_2) = \begin{cases} e^{-\left(\frac{P_1 - P_2}{P_1 - P_D}\right)^2}, & \text{dla } P_2 < P_1 \\ e^{-\left(\frac{P_2 - P_1}{P_G - P_1}\right)^2}, & \text{dla } P_2 \geq P_1 \end{cases} \quad (5)$$

Logika rozmyta może być stosowana jednocześnie do dowolnej liczby parametrów. Pozwala ona przejść od wartości liczbowych do wartości lingwistycznych (wyrażeń języka naturalnego) [8], za pomocą których w łatwy sposób można realizować wnioskowanie logiczne. Uniezależnia to od znaczenia i skali wartości liczbowych rozważanych parametrów. Ogólny schemat realizacji tej metody określania podobieństwa przedstawiono na rysunku 5.



Rys. 5. Schematyczna prezentacja metody logiki rozmytej

Na rysunku tym przyjęto następujące oznaczenia:

R_1, R_2, \dots, R_n - różnice wartości liczbowych rozważanych parametrów;

L_1, L_2, \dots, L_n - zbiory określeń lingwistycznych związane z przyjętymi zbiorami rozmytymi określonymi odpowiednio na wartościach R_1, R_2, \dots, R_n ;

P_r - podobieństwo rozmyte,

M_p - wynikowa liczbowa miara podobieństwa.

Wartość wynikowa liczbowej miary podobieństwa M_p zależy więc od: przyjętych funkcji przynależności, za pomocą których realizowane jest rozmywanie wartości wejściowych, definicji reguł, według których odbywa się wnioskowanie oraz od sposobu realizacji wyostrzania.

Logika rozmyta stosowana jest do parametrów liczbowych o nieporównywalnych skalach takich jak: wyporność statku, liczba kontenerów chłodzonych, moc i prędkość obrotowa silnika głównego, zespołów prądotwórczych oraz liczba zaworów wybranych instalacji (paliwa i zęzowej).

3. IMPLEMENTACJA METODY OBLICZANIA PODOBIEŃSTWA STATKÓW W SYSTEMIE BAZY DANYCH

Rozważane metody określania podobieństwa statków zrealizowane zostały w systemie ekspertowym wspomaganie projektowania automatyki statku. Odgrywają one istotną rolę zarówno w uzyskiwaniu danych ogólnych o statku i jego automatyce jak i w zakresie tworzenia pozostałych elementów składowych projektu takich jak: opis techniczny automatyki, zestawienie aparatury kontrolno-pomiarowej oraz schematy blokowo-funkcyjne systemów. Znalezienie statku najbardziej podobnego do projektowanego umożliwia wykorzystanie elementów składowych jego projektu automatyki do projektu aktualnie realizowanego.

W początkowym etapie podobieństwo obliczane jest w systemie bazy danych przy zastosowaniu metody testu identyczności oraz symetrycznego podobieństwa z dolną granicą. Po obliczeniu podobieństw pojedynczych parametrów uwzględniane są ich wagi i wyliczone zostają

podobieństwa cząstkowe: danych ogólnych, napędu głównego, elektrowni, wybranych instalacji oraz podobieństwo całego statku jako suma ważona podobieństw cząstkowych.

Obliczone podobieństwa w systemie bazy danych przekazywane są do systemu eksperckiego Exsys, gdzie poddawane są rozmyciu wraz z parametrami, których podobieństwo obliczane jest bezpośrednio przy zastosowaniu logiki rozmytej. Z systemu Exsys do bazy danych przekazywane jest, za pośrednictwem pliku tekstowego, wynikowe maksymalne podobieństwa cząstkowe: danych ogólnych, napędu głównego, elektrowni, wybranych instalacji wraz z identyfikatorami odpowiadających im statków oraz maksymalne podobieństwo sumaryczne statku jako suma podobieństw cząstkowych. Na tej podstawie system bazy danych wyszukuje dane tego statku jako statku podobnego. Przy projektowaniu automatyki w obrębie pojedynczych systemów (instalacji) mogą być również wykorzystywane maksymalne podobieństwa tych systemów pochodzące z innych (różnych) statków zbudowanych.

Po ustaleniu statku podobnego przywoływane są jego dane szczegółowe dotyczące całego statku oraz dane z zakresu automatyki. Przykładowe dane statków zbudowanych dotyczące napędu głównego (NG) oraz statku projektowanego oznaczonego jako BXXX przedstawione zostały w tabeli 1, a obliczone podobieństwa na podstawie identyczności parametrów oraz symetrycznego podobieństwa z dolną granicą - w tabeli 2.

Tabela 1. Dane NG statków zbudowanych i statku projektowanego

Statek	Liczba SG	Typ SG	Moc SG	Prędkość obrotowa SG	Liczba śrub	Rodzaj śruby
B191	1	6L70 MC	16200	107	1	stała
B222	2	6L46	6300	500	1	nastawna
B369	1	6RTA 62-R1	11400	102	1	stała
B500	1	6RTA 76	17220	104	1	stała
B501	4	8ZAL 40 S	23040	510	2	nastawna
B683	1	5RTA 62 U	8670	102	1	stała
B684	1	5S 60 MC	10200	105	1	stała
BXXX	1	6RTA 62-R1	11400	110	1	stała

Tabela 2. Podobieństwa w zakresie NG obliczone w bd

Statek	Pod. liczby SG	Pod. typu SG	Pod. mocy SG	Pod. prędk. obr. SG	Pod. liczby śrub	Pod. Rodzaju śruby	Pod. Liczby nrzekł.	Pod. NG
B191	1,00	0	0,70	0,97	1	1	0	0,67
B222	0,50	0	0,55	0,22	1	0	0	0,32
B369	1,00	1	1,00	0,93	1	1	1	0,99
B500	1,00	0	0,66	0,94	1	1	0	0,86
B501	0,25	0	0,49	0,21	0	0	1	0,28
B683	1,00	0	0,76	0,93	1	1	0	0,67
B684	1,00	0	0,89	0,95	1	1	1	0,84

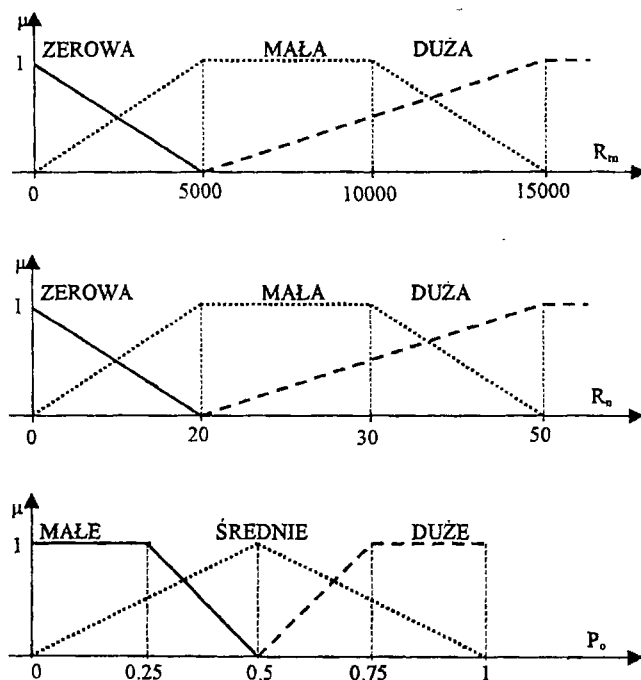
4. IMPLEMENTACJA METODY OBLICZANIA PODOBIENSTWA STATKÓW W SYSTEMIE EKSPERTOWYM

Metodę obliczania podobieństwa z wykorzystaniem logiki rozmytej zastosowano do różnic pomiędzy wartościami atrybutów statku projektowanego i takich samych atrybutów poszczególnych statków zbudowanych, a także do podobieństw cząstkowych obliczonych w bazie danych.

Przykładowo, w grupie napędu głównego określanie podobieństwa statków w systemie eksperckim Exsys bazuje na trzech następujących parametrach liczbowych:

- wartości bezwzględnej różnicy mocy silnika głównego statku projektowanego i statku zbudowanego (oznaczonej przez R_m),
- wartości bezwzględnej różnicy prędkości obrotowej SG statku projektowanego i statku zbudowanego (R_n),
- podobieństwie cząstkowym napędu głównego (określanym w bazie danych) i przypisanym do statku zbudowanego (P_o).

Do realizacji procesu rozmywania wartości tych parametrów zastosowano funkcje przynależności przedstawione na rysunku 6.



Rys. 6. Funkcje przynależności dla parametrów napędu głównego

System Exsys traktuje stopnie przynależności jako tzw. współczynniki pewności (ang. confidence values). Wnioskowanie, poprzez odpalenie odpowiednich reguł, powoduje obliczanie wartości współczynników pewności konkluzji reguł na podstawie wartości współczynników pewności przesłanek. Wartości wynikowych pytań uzyskują więc w procesie wnioskowania określone wartości współczynników pewności. W oparciu o te wartości można realizować wyostrzenie, w wyniku którego otrzymuje się jedną określoną wartość zmiennej liczbowej. Przykładowo, dla omawianej grupy napędu głównego, wyostrzenie realizowane jest według następującej zależności:

$$z = w_1c_1 + w_2c_2 + w_3c_3,$$

gdzie:

z - wartość liczbową podobieństwa NG (zawarta w przedziale $[0,1]$),

c_1, c_2, c_3 - wartości współczynników pewności odpowiednio dla współczynników pewności: DUŻE, ŚREDNIE, MAŁE, uzyskane w procesie wnioskowania,

w_1, w_2, w_3 - wagi o wartościach nieujemnych, $w_1 + w_2 + w_3 = 1$.

Identycznie jak dla napędu głównego określane są miary podobieństwa dla pozostałych systemów: ogólnego, elektrowni i poszczególnych instalacji siłownianych. W oparciu o te miary cząstkowe wyliczane jest podobieństwo sumaryczne (jako suma ważona).

Proces obliczeniowy powtarzany jest dla każdego statku zbudowanego, o którym informacje przechowywane są w tabeli bazy danych. Główne wyniki obliczeń obejmują:

- maksymalne wynikowe podobieństwa cząstkowe i odpowiadające im symbole statków zbudowanych
- maksymalne podobieństwo sumaryczne i symbol odpowiadającego mu statku
- wynikowe podobieństwa cząstkowe dla tego statku

Poniżej przedstawiono przykładowy zestaw wyników obliczeń:

Maksymalne podobieństwa cząstkowe:

<i>Podobieństwo ogólne</i>	<i>= 0.8000</i>	<i>statek - B369</i>
<i>Podobieństwo napędu głównego</i>	<i>= 0.8000</i>	<i>statek - B369</i>
<i>Podobieństwo elektrowni</i>	<i>= 0.5000</i>	<i>statek - B369</i>
<i>Podobieństwo instalacji</i>	<i>= 0.3996</i>	<i>statek - B500</i>
<i>Maksymalne podobieństwo sumaryczne</i>	<i>= 0.5980</i>	<i>statek - B369</i>
<i>Podobieństwo ogólne</i>	<i>= 0.8000</i>	
<i>Podobieństwo napędu głównego</i>	<i>= 0.8000</i>	
<i>podobieństwo elektrowni</i>	<i>= 0.5000</i>	
<i>podobieństwo instalacji</i>	<i>= 0.2401</i>	

5. PODSUMOWANIE

W referacie przedstawiono wyniki prac z zakresu zastosowania metodologii wnioskowania na podstawie przypadków do wyszukiwania w bazie danych o statkach zbudowanych statków podobnych do statku projektowanego. Szczególną uwagę zwrócono na sposób określania podobieństwa statków. Opracowany algorytm bazujący na trzech omówionych metodach, należy uznać za rozwiązanie wstępne.

Wnioskowanie na podstawie przypadków jest bowiem nową dziedziną i sukcesywnie rozwijaną w ramach sztucznej inteligencji.

Proponowane są ostatnio w literaturze [2,5] systemy wnioskowania na podstawie wiedzy o przypadkach i modelu wiedzy dziedzinowej wykorzystujące między innymi sieci semantyczne i sieci Bayesa. Stosowane są także metody wykorzystujące osiągnięcia z dziedziny danych (data mining). Przemysłowa implementacja przedstawionych rozwiązań wymaga więc dalszych badań.

LITERATURA

- [1] Aamodt A., Plaza E.: Case-Based Reasoning, Foundation issues, methodological variations, and system approaches. *Artificial Intelligence Communications*, 1994, Vol. 7, No. 1, 39-59.
- [2] Aamodt A., Langseth H.: Integrating Bayesian Networks into Knowledge – Intensive CBR. Case-based reasoning integrations; AAAI Press, Menlo Park, 1998.
- [3] Kowalski Z., Arendt R., Meler-Kapcia M., Zieliński S.: An expert system for aided design of ship systems automation, *Expert Systems with Applications*, 2001, Vol. 20, No. 3, 261-266.
- [4] Lee D., Lee K. H.: An approach to case-based system for conceptual ship design assistant. *Expert Systems with Applications*, 1999, Vol. 16, No. 2, 97-104.
- [5] Skalle P., Sveen J., Aamodt A.: Improved Efficiency of Oil Well Drilling through Case Base Reasoning, Proc. Of PRICAI 2000, The Sixth Pacific Rim International Conference on Artificial Intelligence, Melbourne August-September 2000. Lecture Notes in Artificial Intelligence, Springer Verlag, 2000, pp. 713-723.
- [6] Suh M. S., Jhee W. C., Ko Y. K., Lee A.: A case-based expert system approach for quality design, *Expert Systems with Applications*, 1998, Vol. 15, No. 2, 181-190.
- [7] Watson I.: Case-Based Reasoning is a methodology not a technology, *Knowledge-Based Systems*, 1999, Vol. 12, No. 5-6, 303-308.
- [8] Yager R. R., Filev D. P.: Podstawy modelowania i sterowania rozmytego. Warszawa, WNT, 1999.
- [9] Zbroja S.: Case-Based Reasoning w bazach danych i bazach wiedzy - wybrane aspekty formalnej reprezentacji przypadków. II Krajowa Konferencja Metody i systemy komputerowe w badaniach naukowych i projektowaniu inżynierskim, Kraków, 25-27 października 1999, pp. 283-288.