

Prof. dr hab. inż. Zbigniew Kowalski, dr inż. Ryszard Arendt  
dr inż. Stefan Zieliński, mgr Maria Meler-Kapcia  
Politechnika Gdańska

## SYSTEM EKSPERTOWY PROJEKTOWANIA AUTOMATYKI STATKÓW

*W referacie przedstawiono system ekspertowy wspomagania projektowania układów automatyki statków. System obejmuje: bazy wiedzy dotyczące metod i procedur projektowania układów automatyki statków, bazy danych obiektów automatyzowanych, elementów i układów automatyki, wymagań towarzystw klasyfikacyjnych oraz podsystem badań symulacyjnych współpracujący z bazą wiedzy i pakietem Matlab Simulink. Do realizacji systemu wykorzystano szkieletowy system ekspertowy Exsys Developer, charakteryzujący się regułową reprezentacją wiedzy, różnymi metodami wnioskowania, możliwością korzystania z logiki rozmytej i współpracy z innymi programami oraz bazami danych. Bazy danych utworzone zostały przy pomocy oprogramowania MS Access.*

## AN EXPERT SYSTEM FOR SHIP SYSTEM AUTOMATION DESIGN

*The paper presents an expert system for aided design of ship systems automation. The system includes: knowledge bases regarding methods and procedures of ship systems automation design, databases of automated objects, control devices and elements, requirements of classification societies, and a subsystem for simulation investigations co-operating with the Matlab Simulink package and a knowledge base. In the creation of the system the shell expert system Exsys Developer was used. This system is characterised by a rule-oriented representation of knowledge, backward and forward chaining inference methods, various confidence modes to handle uncertain reasoning including fuzzy logic, and possibility of co-operation with other software and databases. Databases were made using the MS Access software.*

### 1. WPROWADZENIE

Jednym z ważnych elementów cyklu produkcyjnego statku wpływającym w sposób decydujący na koszty i jakość wyrobu jest projektowanie. Współczesne projektowanie wymaga efektywnych działań, poprzez stosowanie najnowszych technik informatycznych. Jedną z dziedzin projektowania wymagających stosowania nowoczesnych narzędzi programowych, jest projektowanie automatyki - integrującej różne systemy i obszary funkcjonalne statku. Zaprojektowanie i integracja układów automatyki statku, wymaga przeanalizowania dużej ilości informacji dotyczących różnych systemów i obiektów czerpanych z wielu źródeł i zebrania ich w jeden lub kilka zintegrowanych układów sterowanych komputerowo. Operowanie tak dużą ilością nieustannie rosnących informacji, wymagających uwzględnienia bardzo wielu różnorodnych

czynników, staje się procesem coraz bardziej pracochłonnym i złożonym i może prowadzić do powstawania znacznej ilości błędów. Prezentowany System Ekspertowy Projektowania Automatyki Statków SEPAS [1] stanowi inteligentne narzędzie informatyczne, zaimplementowane na komputerach klasy PC, wspomagające w znacznym stopniu proces projektowania automatyki statku w etapach projektowania ofertowego, kontraktowego i technicznego. Coraz bardziej niezbędnym w pracy projektanta automatyki staje się komputer z odpowiednim specjalistycznym oprogramowaniem.

W ramach Projektu Badawczego Komitetu Badań Naukowych w zespole interdyscyplinarnym (projektanci, informatycy, automatycy), zastosowano metody sztucznej inteligencji w systemie z bazą wiedzy, wspomagającym projektowanie układów automatyki statków. Opracowanie i implementacja laboratoryjna ekspertowego systemu wymagała przeprowadzenia szeregu prac badawczych, a w szczególności: rozpoznania i opisanie procesu projektowania układów automatyki statków, opracowania bazy danych i baz wiedzy dotyczących tego procesu oraz zaprojektowania i uruchomienia złożonego wielofunkcyjnego systemu informatycznego [2-5]. W ramach projektu określono specyfikę projektowania układów automatyki statków, zakres czynności projektantów w poszczególnych etapach procesu projektowania (projekty: ofertowy, kontraktowy i techniczny) z określonymi przez towarzystwa klasyfikacyjne, armatorów i stocznie zakresami opracowywanej dokumentacji. Opracowano bazę danych urządzeń, elementów i układów automatyki statków oraz wymagań towarzystw klasyfikacyjnych. Baza danych utworzona przy pomocy oprogramowania MS Access, obejmuje informacje o obiektach i układach automatyki na statkach zbudowanych i informacje katalogowe dotyczące elementów automatyki. Wspomaganie projektowania układów automatyki okrętowej oparte jest w znacznej mierze na wykorzystaniu informacji o projektach automatyki na statkach zbudowanych. W tym celu opracowano algorytm określający podobieństwo statku projektowanego do poszczególnych statków, na podstawie informacji zawartych w bazie danych. W realizacji systemu z bazą wiedzy do wspomaganie projektowania układów automatyki statków zastosowano szkieletowy system ekspertowy Exsys Developer. Oprogramowanie to charakteryzuje się regułową reprezentacją wiedzy, różnymi metodami wnioskowania, możliwością wykorzystania logiki rozmytej i współpracy z bazami danych oraz innymi programami [6].

Zrealizowano także podsystem badań symulacyjnych wykorzystujący pakiet Simulink zawierający bibliotekę modeli wybranych obiektów i układów automatyki [2]. Podsystem ten współpracuje z bazą wiedzy i umożliwia szybką ocenę poprawności przyjętych rozwiązań układów sterowania i regulacji.

## 2. FUNKCJE I STRUKTURA SYSTEMU

Omawiany system ekspertowy wspomaganie projektowania układów automatyki statków realizuje następujące funkcje:

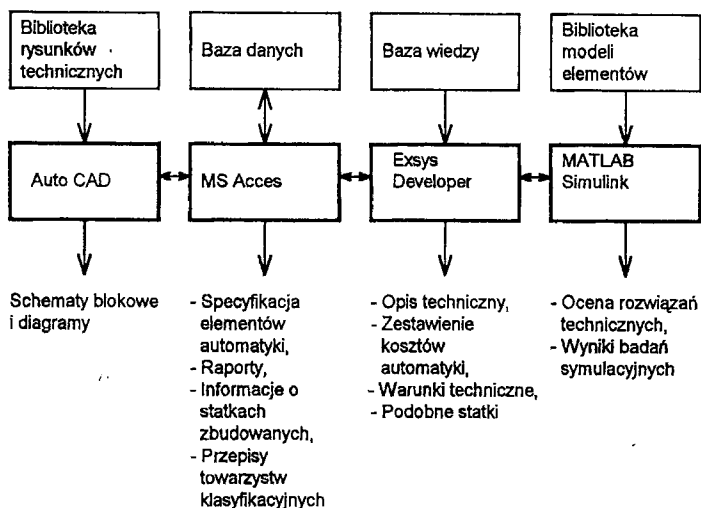
- Gromadzenie i udostępnianie informacji liczbowych, tekstowych i graficznych o statkach wcześniej zaprojektowanych oraz informacji katalogowych o elementach i układach automatyki oferowanych przez różnych dostawców.
- Wyszukiwanie w bazie danych najbardziej podobnego statku z punktu widzenia automatyki, do statku projektowanego w celu wykorzystania informacji o automatyce tego statku.
- Tworzenie opisu technicznego automatyki siłowni i systemów ogólnostatkowych, stanowiącego podstawowy dokument określający zakres automatyki i podstawę dalszych prac projektowych.

- Wspomaganie doboru aparatury kontrolno-pomiarowej.
- Wspomaganie tworzenia schematów blokowo-funkcyjnych automatyzowanych systemów.
- Wyszukiwanie w bazie danych, stosownych do projektowanego obiektu, wymagań przepisów towarzystw klasyfikacyjnych.
- Tworzenie warunków technicznych i zapytań ofertowych na układ automatyki i jego elementy.
- Szacowanie kosztów automatyki statku we wstępnych etapach projektowania i ich śledzenie w dalszych etapach.
- Generowanie raportów i gotowych dokumentów niezbędnych w procesie projektowania, koordynacji rozwiązań, uzgodnień, zatwierdzeń, oraz kooperacji.
- Ocena przyjętych rozwiązań poprzez modelowanie i symulację.

Przewiduje się, że zastosowanie systemu przyniesie następujące efekty:

- Usprawnienie i usystematyzowanie procesu projektowania automatyki statku.
- Usprawnienie i uściślenie procesu szacowania kosztów automatyki dla potrzeb ofertowych i kontraktowych statku.
- Skrócenie cyklu i obniżenie kosztów projektowania automatyki.
- Usprawnienie i przyspieszenie uzgodnień kooperacyjnych.
- Obniżenie kosztów automatyki przez wspomaganie wyboru odpowiednich dostawców.
- Podniesienie jakości rozwiązań projektowych poprzez ich porównanie i weryfikację z rozwiązaniami na wcześniej zbudowanych statkach.
- Poprawę jakości dokumentacji, eliminację wielu błędów poprzez automatyczne przetwarzanie informacji na użytek różnych odbiorców.

Jak już wspomniano, w realizacji systemu wykorzystano różne narzędzia softwarowe. Powiązania pomiędzy tymi narzędziami zaprezentowano schematycznie na rysunku 1.



Rys. 1. Uproszczony schemat strukturalny systemu wspomaganie projektowania automatyki statku

### 3. CHARAKTERYSTYKA PRZYKŁADOWYCH FUNKCJI SYSTEMU

#### 3.1. Wyszukiwania statku najbardziej podobnego do statku projektowanego

Przy realizacji wielu funkcji systemu ekspertowego wspomagania projektowania układów automatyki statków wykorzystywać trzeba informacje zgromadzone w bazie danych dotyczące statków zbudowanych. W tym celu opracowano algorytm, w którym wykorzystano podejście zwane wnioskowaniem na podstawie przypadków [7], gdzie jako przypadek podobny traktuje się statek zbudowany, o którym informacje zawarte są w bazie danych. Podobieństwa badanych parametrów obliczane są w zakresie: danych ogólnych, napędu głównego, elektrowni oraz wybranych instalacji, dla których następnie obliczane są podobieństwa cząstkowe, składające się na podobieństwo całego statku jako ich sumy ważonej. W zależności od typu tych parametrów przyjęta została jedna z poniższych metod obliczania podobieństwa.

*Test identyczności* stosowany jest w odniesieniu do parametrów tekstowych oraz liczbowych takich jak: typ statku, towarzystwo klasyfikacyjne, klasa automatyki, typ silnika głównego, liczba i rodzaj śrub, liczba przekładni, typ zespołu prądotwórczego głównego, liczba i typ zespołu prądotwórczego awaryjnego, typ prądnicy wałowej. Wartości tych parametrów, zapisane w bazie danych porównywane są z wartościami odpowiednich parametrów statków zbudowanych. Jeśli wartości te są identyczne w odpowiedniej tabeli wpisywane jest 1, jeśli różne – 0.

*Symetryczne podobieństwo z dolną granicą* stosowane jest w odniesieniu do parametrów liczbowych o większych zakresach wartości takich jak: liczba silników głównych, liczba zespołów prądotwórczych głównych oraz parametrów wybranych instalacji. W metodzie tej podobieństwo dla wybranego parametru określa się według zależności:

$$S(p) = 1 - \frac{|p_1 - p_2|}{\max\{p_1, p_2\} - pd}$$

gdzie:  $p_1$  – wartość parametru statku projektowanego,  
 $p_2$  – wartość parametru statku zbudowanego,  
 $pd$  – dolna granica wartości parametru.

*Logika rozmyta* stosowana jest do parametrów liczbowych takich jak: wyporność statku, liczba kontenerów chłodzonych, moc i prędkość obrotowa silnika głównego i zespołów prądotwórczych oraz liczba zaworów wybranych instalacji. Metoda ta pozwala określić miarę podobieństwa jednocześnie dla dowolnej liczby parametrów.

Obliczone podobieństwa w systemie bazy danych przekazywane są do systemu ekspertowego Exsys, gdzie poddawane są rozmyciu wraz z parametrami, których podobieństwo obliczane jest bezpośrednio przy zastosowaniu logiki rozmytej. Po dokonaniu obliczeń podobieństwa w systemie Exsys do bazy danych przekazywane są, za pośrednictwem pliku tekstowego, wynikowe maksymalne podobieństwa cząstkowe wraz z identyfikatorami odpowiadających im statków oraz maksymalne podobieństwo sumaryczne statku. Na ich podstawie system bazy danych wyszukuje dane tego statku jako statku podobnego.

Cały proces obliczeniowy powtarzany jest dla każdego statku zbudowanego przechowywanego w bazie danych. Głównym wynikiem obliczeń jest identyfikator statku o największej wartości podobieństwa sumarycznego – uznany za najbardziej podobny do statku projektowanego.

### 3.2. Dobór aparatury kontrolno-pomiarowej

Dobór aparatury kontrolno-pomiarowej polega na wytypowaniu elementów automatyki w postaci czujników dla poszczególnych punktów kontrolno-pomiarowych. Może on dokonywać się w różnych wariantach:

- samodzielnie przez projektanta na podstawie struktury punktów kontrolno-pomiarowych według dostawcy, w oparciu o katalog elementów automatyki,
- z wykorzystaniem projektu bazowego statku podobnego wyszukanego automatycznie lub wybranego statku zbudowanego,
- poprzez dołączanie pojedynczych systemów lub obiektów statków zbudowanych.

Dobór elementów automatyki do obiektów dokonywany jest w obrębie systemów okrętowych. Dla projektowania aparatury kontrolno-pomiarowej przyjęto uproszczoną klasyfikację systemów, która przedstawia się następująco:

- system napędu głównego,
- system paliwa,
- system oleju smarnego,
- system wody słodkiej,
- system wody morskiej,
- system sprężonego powietrza,
- kotły i system pary,
- system zęzowy,
- system elektroenergetyczny,
- system balastowy,
- inne.

### 3.3. Tworzenie schematów blokowo-funkcyjnych

Schematy blokowo-funkcyjne tworzone są dla poszczególnych systemów siłowni i zawierają wszystkie obiekty automatyzacji, ich wzajemne powiązania oraz elementy i układy automatyki tych systemów.

W opracowanym systemie bazy danych przewidziano możliwość odwoływania się do modułu graficznego funkcjonującego w środowisku systemu AutoCAD przeznaczonego do wspomaganie tworzenia tych systemów. Odwołania takie mogą odnosić się zarówno do gotowych schematów systemów statków zbudowanych, jak i do aktualnie projektowanego systemu po zakończeniu doboru elementów automatyki w bazie danych. Schematy blokowo-funkcyjne należą, poza opisem technicznym, do podstawowych dokumentów projektowania automatyki siłowni. Tworzone są w ścisłym powiązaniu ze schematami opracowywanymi w innych pracowniach.

### 3.4. Korzystanie z bazy przepisów towarzystw klasyfikacyjnych

Baza danych przepisów wybranych towarzystw klasyfikacyjnych przeznaczona jest do przechowywania i udostępniania informacji o przepisach wybranych towarzystw klasyfikacyjnych. Głównym zadaniem tego modułu systemu jest wygodne i efektywne wyszukiwanie przepisów dotyczących zagadnień interesujących projektanta. W tym celu generowana jest lista odpowiednich przepisów, a na żądanie, wyświetlana ich treść. Uzupełniającą funkcją jest tu wybór dostawców sprzętu posiadających certyfikat towarzystwa na wytypowane urządzenia.

Baza przepisów zawiera wbudowaną przeglądarkę plików zapisanych w formacie HTML. Wyszukiwanie przepisów może dokonywać się według systemów, do których zostały przypisane lub według odpowiednich haseł.

### 3.5. Badania symulacyjne

Badania symulacyjne podsystemu energetycznego statku umożliwia opracowana aplikacja w systemie ekspertowym Exsys [2]. Założono, że wykorzystanie modeli matematycznych elementów, układów i systemów statków może stanowić źródło głębokiej wiedzy w systemie ekspertowym. Aplikacja zawiera opcję wprowadzania danych w trybie konwersacyjnym przez projektanta podsystemu energetycznego statku. Program pyta kolejno o:

- liczbę poszczególnych typów głównych elementów składowych podsystemu,
- nazwy własne stosowanych elementów,
- kolejne elementy przetwarzające energię począwszy od elementu początkowego do napotkania elementu końcowego.

Zbrane dane zestawiane są w ramie i wyświetlane w trakcie sesji na ekranie w celu akceptacji poprawności zestawionych danych przez projektanta.

Do oceny poprawności projektu i zestawionych danych wykorzystano wiedzę opracowaną w postaci reguł. Reguły oceniające poprawność projektu sygnalizują osiągnięcie założonego celu, dla przyjętej pewności, stwierdzenia. W zależności od wskazanego przez reguły celu i stopnia jego pewności reguły warunkują dalszą pracę programu. Możliwe są następujące przypadki:

- zestawione dane są niekompletne, źle zestawione, bądź zaprojektowany podsystem ma niedopuszczalną strukturę;
- zestawione dane wskazują na nietypową strukturę projektowanego podsystemu energetycznego;
- wprowadzone dane są poprawne i kompletne.

W przypadku pierwszym projektant może zakończyć pracę programu lub rozpocząć od nowa zestawianie danych opisujących projektowany podsystem energetyczny. W przypadku drugim projektant może rozpocząć od nowa zestawianie danych opisujących projektowany podsystem, bądź przejść do sesji symulacyjnej. W przypadku trzecim program bez ingerencji operatora przechodzi do sesji symulacyjnej.

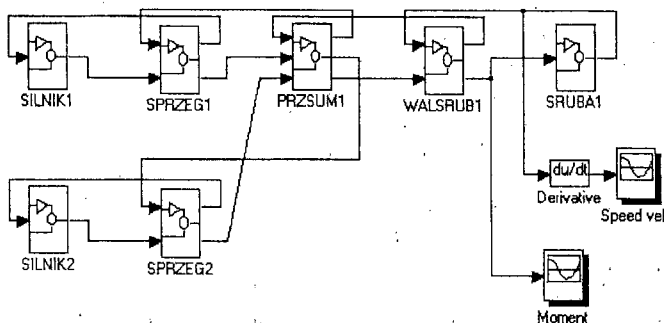
Zestawione w ramie dane opisujące elementy i strukturę projektowanego podsystemu stanowią podstawę opisu modelu symulacyjnego. W tym celu tworzony jest M-plik programu symulacyjnego Matlab/Simulink przez:

- kolejne dołączanie z biblioteki M-plików z opisami modeli elementów składowych do M-pliku modelu symulacyjnego projektowanego podsystemu napędowego,
- dołączanie parametrów obrazu graficznego modelu symulacyjnego projektowanego podsystemu, określonych za pomocą reguł.

Algorytmy tworzenia modeli symulacyjnych projektowanych podsystemów również wykorzystują wiedzę zestawioną w postaci reguł.

Po zestawieniu pliku z opisem modelu symulacyjnego projektowanego podsystemu wywołwany jest program Matlab. Następnie odpowiednia procedura wywołuje automatycznie program Simulink z modelem, wyświetlając na ekranie obraz graficzny modelu zaprojektowanego podsystemu napędowego.

Jako przykład na rysunku 2 zaprezentowano podsystem napędowy statku złożony z dwóch silników pracujących równolegle poprzez sprzęgła przekładnię sumującą momenty, wał śrubowy, na śrubę o skoku stałym. Po wprowadzeniu danych system ekspertowy zestawia model symulacyjny. Podczas sesji symulacyjnej projektant, na podstawie przeprowadzonych badań, uzyskuje niezbędną wiedzę, która umożliwia ocenę wykonanego projektu.



Rys. 2. Struktura modelu symulacyjnego zaprojektowanego podsystemu napędowego

#### 4. PODSUMOWANIE

Proces projektowania automatyki okrętowej jest złożony i trudny do sformalizowania, a ponadto wymaga przetwarzania wielu danych. To spowodowało, iż dla realizacji wspomaganego projektowania tego procesu zastosowane zostały takie narzędzia jak: system ekspertowy oraz baza danych, które umożliwiły dokonanie strukturalizacji wiedzy projektowej oraz zgromadzenia obszernych zbiorów danych. Opracowanie systemu poprzedzone zostało szczegółową analizą procesu projektowania prowadzoną w ścisłej współpracy z projektantami automatyki jako ekspertami, na których doświadczeniu i intuicji opiera się dotychczasowe projektowanie automatyki statku

Utworzona aplikacja systemu bazy danych urządzeń i elementów automatyki siłowni statku jest wygodnym i przyjaznym narzędziem wspomagającym proces projektowania automatyki w zakresie najbardziej pracochłonnych czynności jak np. tworzenie aparatury kontrolno-pomiarowej. Aplikacja ta powstała w oparciu o system MS Access i może funkcjonować zarówno samodzielnie (w nieco węższym zakresie), jak i we współpracy z systemem eksperckim Exsys, dając możliwość korzystania z niej użytkownikom nie posiadającym oprogramowania tego systemu.

Opracowana aplikacja badań symulacyjnych umożliwia ich prowadzenie w sposób bardzo efektywny. Proces zestawiania danych opisujących projektowany podsystem energetyczny i automatyczne przejście do sesji badań trwa zaledwie kilka minut. Badania pozwalają na ocenę postawianych wymagań technicznych dotyczących procesów przejściowych w podsystemach pojawiających się przy: załączeniu, wyłączeniu, zmianie parametrów pracy podsystemu, jak również wystąpieniu czynników zakłócających jego działanie.

Rozważane jest opracowanie opcji, w której proces prowadzenia badań symulacyjnych i oceny osiągniętych wyników byłby kontrolowany w pełni przez system ekspertowy.

## LITERATURA

- [1] Kowalski Z.: System Ekspertowy Projektowania Automatyki Statków SEPAS. Budownictwo Okrętowe i Gospodarka Morska, Gdańsk 2000, Nr 11, s 26-27.
- [2] Arendt R., Kowalski Z.: An application of simulation investigation in an expert system for ship automation aided design. International Conference Unconventional Electromechanical and Electrical Systems. St. Petersburg, 1999, Vol. 2, s. 541-546.
- [3] Bertram V.: Knowledge-Based Systems for Ship Design and Ship Operation, 1<sup>st</sup> International EuroConference on Computer Applications and Information Technology in the Marine Industries COMPIT'2000, Potsdam, 1999, s. 63-71.
- [4] Kowalski Z., Arendt R., Zieliński S.: Inteligentny system wspomaganie projektowania układów automatyki statków. Materiały XIII Krajowej Konferencji Automatyki, Politechnika Opolska, Opole 1999, tom 2, s. 223-228.
- [5] Kowalski Z., Arendt R., Meler-Kapcia M., Zieliński S.: System ekspertowy wspomaganie projektowania układów automatyki statków. Materiały IV Krajowej Konferencji Naukowej "Inżynieria Wiedzy i Systemy Ekspertowe". Oficyna Wydawnicza Politechniki Wrocławskiej, Wrocław 2000, tom 2, s. 251-261.
- [6] Kowalski Z., Zieliński S., Dziworski J., Arendt R., Meler-Kapcia M., Olejnik B., Piotrowski J.: System ekspercki do wspomaganie projektowania układów automatyki siłowni statków, Budownictwo Okrętowe i Gospodarka Morska, 1999, nr 9, s. 24-28.
- [7] Lee D., Lee K. H.: An approach to case-based system for conceptual ship design assistant, Expert Systems with Applications, 1999, Vol. 16, nr 2, s. 97-104.
- [8] Kowalski Z., Arendt R., Zieliński S., Meler-Kapcia M.: Wybrane problemy tworzenia systemu z bazą wiedzy dla wspomaganie projektowania układów automatyki okrętowej. Materiały Konferencji Naukowo-Technicznej AUTOMATION 2000. Warszawa 2000, s. 223-232.