

## Spis treści

<b>1.</b>	<b>WPROWADZENIE .....</b>	<b>6</b>
<b>1.1</b>	<b>Przegląd literatury - stan wiedzy .....</b>	<b>6</b>
1.1.1	Sztuczna inteligencja i systemy hybrydowe .....	6
1.1.2	Opis metodologii CBR .....	7
1.1.3	Przykład zastosowania CBR w okrętownictwie .....	9
1.1.4	Metody obliczania podobieństwa przypadków w CBR .....	10
1.1.5	Struktura sieci neuronowej i algorytmu uczenia dla wspomagania projektowania .....	12
1.1.6	Przykłady zastosowań sieci neuronowych w okrętownictwie .....	14
1.1.6.1	Sieć neuronowa do projektowania wstępnego statku .....	14
1.1.6.2	Sieć neuronowa do badania właściwości morskich okrętu .....	15
1.1.7	Optymalizacja wielokryterialna .....	16
<b>1.2</b>	<b>Cel i zakres pracy .....</b>	<b>19</b>
<b>2.</b>	<b>ALGORYTMIZACJA METOD OBLICZANIA PODOBIEŃSTWA STATKÓW DLA WSPOMAGANIA PROJEKTOWANIA WSTĘPNEGO .....</b>	<b>22</b>
<b>2.1</b>	<b>Podstawy algorytmu obliczania podobieństwa statków do wspomagania projektowania wstępnego i automatyki siłowni .....</b>	<b>22</b>
2.1.1	Funkcje obliczania podobieństwa statków w aplikacji bazy danych i systemie ekspertowym ....	22
2.1.2	Opis algorytmu wyszukiwania statków podobnych .....	25
2.1.3	Zastosowanie algorytmu wyszukiwania statków podobnych w systemie wspomagania projektowania wstępnego siłowni .....	27
<b>2.2</b>	<b>Zastosowanie wybranych metod sztucznej inteligencji w projektowaniu wstępnym napędu głównego statku .....</b>	<b>32</b>
2.2.1	Analiza porównawcza metod obliczania podobieństwa statków dla doboru mocy silnika głównego w aplikacji bazy danych .....	32
2.2.2	Zastosowanie funkcji obliczania podobieństwa statków w aplikacji bazy danych i systemie ekspertowym do wspomagania projektowania siłowni .....	36
2.2.3	Wykorzystanie sieci neuronowej do obliczania podobieństwa napędu głównego statku .....	45
<b>3.</b>	<b>PROJEKTOWANIE AUTOMATYKI SIŁOWNI OKRĘTOWEJ I ZAKRES JEGO WSPOMAGANIA .....</b>	<b>53</b>
<b>3.1</b>	<b>Charakterystyka ogólna projektowania automatyki siłowni okrętowej .....</b>	<b>53</b>
3.1.1	Cechy procesu projektowania oraz klasyfikacja obiektów automatyki .....	53
3.1.2	Etapy projektu automatyki siłowni .....	55
3.1.3	Opis dokumentacji projektowej .....	58
<b>3.2</b>	<b>Zakres systemu wspomagania projektowania automatyki siłowni statku .....</b>	<b>60</b>
3.2.1	Założenia i funkcje systemu .....	60
3.2.2	Struktura bazy danych .....	66
<b>4.</b>	<b>IMPLEMENTACJA METODY OBLICZANIA PODOBIEŃSTWA STATKÓW W SYSTEMIE WSPOMAGANIA PROJEKTOWANIA AUTOMATYKI SIŁOWNI .....</b>	<b>71</b>
<b>4.1</b>	<b>Wspomaganie projektowania automatyki siłowni okrętowej na podstawie podobieństwa statków .....</b>	<b>71</b>
4.1.1	Zastosowanie funkcji obliczania podobieństwa w aplikacji bazy danych .....	73
4.1.2	Zastosowanie logiki rozmytej do obliczania podobieństwa statków .....	76
<b>4.2</b>	<b>Optymalizacja projektowania automatyki siłowni .....</b>	<b>78</b>
<b>4.3</b>	<b>Tworzenie dokumentacji projektowej automatyki siłowni w systemie ekspertowym oraz aplikacji bazy danych .....</b>	<b>83</b>
4.3.1	Tworzenie opisu technicznego .....	84
4.3.2	Wspomaganie tworzenia warunków technicznych na układy automatyki .....	87
4.3.3	Kalkulacja kosztów automatyki .....	88
4.3.4	Tworzenie zestawienia aparatury kontrolno-pomiarowej w aplikacji bazy danych (Dobór elementów automatyki do punktów kontrolno-pomiarowych) .....	90
4.3.5	Wspomaganie projektowania automatyki wybranych systemów (instalacji) statku na przykładzie systemu sprężonego powietrza .....	94

4.3.6	Wspomaganie tworzenia schematów blokowo-funkcyjnych .....	97
4.3.7	Zastosowanie bazy przepisów towarzystw klasyfikacyjnych.....	98
5.	<b>PODSUMOWANIE .....</b>	<b>98</b>
6.	<b>LITERATURA.....</b>	<b>101</b>
7.	<b>Załącznik 1. Przykład dokumentacji projektowej automatyki siłowni wybranego statku.....</b>	<b>104</b>
8.	<b>Załącznik 2. Opis działania systemu wspomagania projektowania automatyki siłowni.....</b>	<b>116</b>
8.1	Projektowanie automatyki systemów na podstawie informacji o statkach zbudowanych ...	117
8.2	Projektowanie samodzielne automatyki systemów .....	119
9.	<b>Załącznik 3. Wybrane elementy struktury systemu wspomagania projektowania automatyki siłowni statku .....</b>	<b>124</b>
9.1	Tabele bazy danych .....	124
9.2	Dane dla opisu technicznego .....	133
10.	<b>Załącznik 4. Baza wiedzy systemu sprężonego powietrza .....</b>	<b>135</b>

## Streszczenie

W pracy zaprezentowano hybrydowy system wspomagania projektowania statku oparty na metodologii CBR (ang. Case Based Reasoning) z wykorzystaniem wybranych narzędzi sztucznej inteligencji, takich jak system ekspertowy Exsys Developer wraz z logiką rozmytą, relacyjna baza danych Access oraz sztuczna sieć neuronowa ze wsteczną propagacją błędów. System przewidziany jest do wspomagania projektowania wstępnego statku dla doboru automatyki siłowni, w którym najczęściej wykorzystuje się projekty wcześniej zbudowanych statków podobnych.

W tym celu przeprowadzono analizę metod podobieństwa prezentowanych w literaturze, takich jak test identyczności i symetryczne podobieństwo z dolną granicą oraz własnych metod podobieństwa: prostokątnej, trapezowej, Gaussa i trójkątnej zastosowanych w aplikacji bazy danych do wspomagania projektowania statku w połączeniu z logiką rozmytą w systemie Exsys.

Opracowany algorytm wyszukiwania statków podobnych wykorzystuje metodę optymalizacji wielokryterialnej ważonych zysków na podstawie podobieństwa sumarycznego całego statku jako sumy ważonej podobieństw cząstkowych: ogólnego, napędu głównego, elektrowni oraz poszczególnych instalacji. Za pomocą tego algorytmu dokonywany jest dobór metod obliczania podobieństwa odpowiednich dla określonego przypadku projektowego.

Dla porównania uzyskanych wyników w opracowanym systemie zaimplementowano sieć neuronową ze wsteczną propagacją błędów, której algorytm zastosowano dla doboru mocy oraz prędkości obrotowej silnika głównego statku projektowanego. Opracowany algorytm uczenia sieci neuronowej może również być stosowany dla doboru automatyki statku po stworzeniu bazy danych projektów automatyki, sukcesywnie rozbudowywanej w wyniku dołączania do niej nowych projektów, co w chwili obecnej jest niemożliwe do uzyskania.

Wspomaganie projektowania automatyki siłowni oparto zarówno na elementach modelu dziedzinowego (zaprezentowanego na przykładzie systemu sprężonego powietrza), jak i metodologii CBR, bowiem w zastosowaniach CBR dostępne są zarówno dane dotyczące wcześniejszych przypadków, jak i analizowanej dziedziny (np. projektowania wstępnego statku). Stwarza to dogodną sytuację do budowy modeli na podstawie danych pochodzących z projektów statków zbudowanych oraz wiedzy eksperta o strukturze modelu.

### Wykaz używanych oznaczeń

$\infty$  - wartość funkcji przynależności  
 $\eta_1$  – współczynnik szybkości uczenia  
 $\eta_2$  – współczynnik korekcji wag  
B – szerokość statku  
 $c_1, c_2, \dots, c_n$  – wartości współczynników pewności  
D – zanurzenie statku  
DWT- nośność statku  
e – średni błąd względny uczenia sieci neuronowej  
ec – błąd cyklu uczenia sieci neuronowej  
F(n) – sigmoidalna funkcja aktywacji sieci  
f(x) – m-wymiarowy wektor kryteriów (funkcji celów)  
H( $p_z$ ) – funkcja skoku jednostkowego Heaviside’a  
i – indeks parametru bieżącego  
ip – indeks parametru statku  
is – identyfikator statku  
l<sub>c</sub> – liczba cykli obliczeniowych  
n – liczba parametrów wejściowych  
NG – napęd główny  
LOA – długość całkowita statku  
lp – liczba parametrów statku  
O<sub>D</sub> – parametr standardowy dolny  
O<sub>G</sub> – parametr standardowy górny  
pcz(is) – wektor podobieństw cząstkowych  
P<sub>D</sub> – dolna granica wartości parametru  
P<sub>G</sub> – górna granica wartości parametru  
pg(is) – podobieństwo globalne  
p<sub>p</sub> – wartość parametru przypadku projektowanego  
p<sub>z</sub> – wartość parametru przypadku zrealizowanego  
S(p<sub>p</sub>, p<sub>z</sub>) – funkcja podobieństwa przypadku  
S<sub>dg</sub>(p<sub>p</sub>, p<sub>z</sub>) – funkcja podobieństwa z dolną granicą  
S<sub>G</sub>(p<sub>p</sub>, p<sub>z</sub>) - funkcja podobieństwa Gaussa  
S<sub>pr</sub>(p<sub>p</sub>, p<sub>z</sub>) – prostokątna funkcja podobieństwa  
S<sub>tp</sub>(p<sub>p</sub>, p<sub>z</sub>) – trapezowa funkcja podobieństwa  
S<sub>tr</sub>(p<sub>p</sub>, p<sub>z</sub>) – trójkątna funkcja podobieństwa  
SG – silnik główny  
V – prędkość statku

$w$  – unormowany wektor wag

$Pr$  – wartość funkcji progowej

$x$  –  $n$ -wymiarowy wektor  $x$  poszukiwanych parametrów

$z$  – wartość liczbową podobieństwa będąca wynikiem procesu wyostrzania

$\Delta P_D$  – odchylenie graniczne dolne

$\Delta P_G$  – odchylenie graniczne górne

$\Delta O_D$  – odchylenie standardowe dolne

$\Delta O_G$  – odchylenie standardowe górne

# 1. WPROWADZENIE

## 1.1 Przegląd literatury - stan wiedzy

### 1.1.1 Sztuczna inteligencja i systemy hybrydowe

Nazwa „sztuczna inteligencja” zaproponowana została przez McCarthy’ego w 1956 r. Mimo bardzo ograniczonych możliwości komputerów w tym czasie i panującemu powszechnie przekonaniu, że komputery mogą przetwarzać tylko liczby, powstały programy gry w szachy, dowodzenia twierdzeń oraz znany program rozwiązujący ogólne problemy GPS (General Problem Solver). W 1959 r. Powstał język Lisp, który stał się językiem sztucznej inteligencji.

Termin „sztuczna inteligencja” nie jest definiowany jednolicie [9, 48]. Według jednej z definicji [9] jest to „dziedzina informatyki, której celem jest opracowywanie oprogramowania (i sprzętu) pozwalającego użytkownikowi rozwiązywać zadania intelektualne, wykorzystując w dialogu z komputerem podzbiór języka naturalnego”. Dla analizowanego zakresu pracy istotne jest, iż w metodach sztucznej inteligencji następuje przejście od przetwarzania danych do przetwarzania wiedzy, a systemy takie określa się systemami opartymi na wiedzy [1, 41]. Wcześniej stosowane metody algorytmiczne zostają zastąpione przeszukiwaniem inteligentnym. Do najważniejszych problemów, którymi zajmuje się aktualnie sztuczna inteligencja należą:

- systemy ekspertowe,
- algorytmy genetyczne,
- sztuczne sieci neuronowe,
- logika rozmyta,
- inteligentne bazy danych,
- uczenie maszynowe (eksploracja wiedzy),
- inteligentne roboty,
- inteligentni agenci,
- gry i twórczość komputerowa.

Nową kategorię narzędzi sztucznej inteligencji stanowią systemy hybrydowe [9, 47]. Mają one na celu połączenie możliwości każdego z tych narzędzi do rozwiązania określonych problemów [41]. W najprostszym przypadku system hybrydowy jest połączeniem klasycznej techniki systemów ekspertowych z sieciami neuronowymi, które mogą występować obok siebie. Technologie te mają charakter bardziej komplementarny, aniżeli konkurencyjny [41]. Przetwarzanie charakterystyczne dla tradycyjnych systemów ekspertowych [13, 48] jest komplementarne względem rozproszonego przetwarzania równoległego, jakim odznaczają się sieci neuronowe.

Pojęcie „system ekspertowy” może być zastosowane do dowolnego programu komputerowego, który na podstawie szczegółowej wiedzy może wyciągać wnioski i podejmować decyzje, działając w sposób zbliżony do procesu rozumowania człowieka [48]. Systemy ekspertowe są zorganizowane w ten sposób, że wiedza dotycząca danej dziedziny, zwana bazą wiedzy jest odseparowana od reszty systemu zawierającego odpowiednie mechanizmy wnioskowania, często nazywane maszyną wnioskującą.

Ze względu na metodę prowadzenia procesu wnioskowania systemy ekspertowe dzieli się na systemy:

- z logiką dwuwartościową (Boole’a),
- z logiką wielowartościową,
- z logiką rozmytą.

Jednym z systemów ekspertowych o dużych możliwościach jest system Exsys Professional, produkt amerykańskiej firmy EXSYS Inc. Jest to system przewidziany do zastosowań w różnych dziedzinach, przystosowany do eksploatacji na różnych platformach sprzętowych [58]. Do najważniejszych cech tego systemu można zaliczyć: regułowy sposób reprezentacji wiedzy, możliwe metody wnioskowania oraz łatwość realizacji współpracy z innymi systemami lub programami, np. systemem zarządzania bazą danych Access.

System Access, dzięki swej prostocie przechowywania i uzyskiwania informacji należy do najbardziej efektywnych narzędzi dla tworzenia aplikacji baz danych [7]. Jest to system zarządzania

relacyjnymi bazami danych, tj. bazami danych opartymi na modelu relacyjnym, stworzonym w 1970 roku przez dr E. F. Codda, pracującego w laboratorium firmy IBM. Charakterystyczną cechą tego modelu jest prosta relacyjna struktura bazy danych oraz język przetwarzania danych oparty na matematycznej teorii zbiorów [54]. Te cechy modelu relacyjnego, jak również niski koszt i powszechna dostępność systemu Access oraz prostota i przyjazność interfejsu dla użytkownika umożliwiają tworzenie samodzielnych inteligentnych aplikacji baz danych.

W literaturze [8] można nawet spotkać się ze stwierdzeniem, iż należy unikać tworzenia systemu ekspertowego, który jest niezwykle kosztowny i czasochłonny, działając wolniej niż inteligentna baza danych.

### **1.1.2 Opis metodologii CBR**

W literaturze znaleźć można przykłady zastosowania sztucznej inteligencji do projektowania statków [7, 9, 10], zwłaszcza na etapie wstępnym, w którym na podstawie szczegółowych wymagań armatora określa się główne parametry statku. W początkowej fazie projektowania statku na etapie projektu ofertowego projektant najczęściej korzysta z wcześniejszych rozwiązań dotyczących 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 w projektowaniu statku jest zastosowanie metody wnioskowania na podstawie przypadków (CBR).

Metoda CBR [59, 61] stanowi stosunkowo nowy sposób rozwiązywania problemów dotyczących baz danych i baz wiedzy, który polega na generowaniu rozwiązań nowych problemów przez zaadaptowanie rozwiązań zastosowanych w przeszłości w podobnych sytuacjach. W tym celu obliczane jest podobieństwo między nowym i każdym przechowywanym przypadkiem.

Inni autorzy [2] przyjmują, iż CBR jest strategią rozwiązywania problemów, która używa analogii do poprzednich lub hipotetycznych przypadków. Uzyskane przybliżone rozwiązanie może podlegać adaptacji za pomocą reguł systemu ekspertowego, algorytmu genetycznego lub poprzez bezpośredni udział eksperta.

Obszar zastosowań tej metody jest szeroki i może obejmować, np. diagnozowanie, klasyfikację, wspomaganie podejmowania decyzji, planowanie, projektowanie itp.

Z literatury znane są różne przykłady zastosowań metody CBR, m.in. do wspomagania projektowania nowych właściwości wyrobów stalowych wymaganej jakości [56], projektowania systemów elektrycznych [60], projektowania budynków [61], wykonywania odwiertów naftowych [55], projektowania połączeń płaskich obiektów geometrycznych w mechanice [3], projektowania siłowni [53], a także projektowania koncepcyjnego statku [40].

Obliczanie podobieństwa przypadków znalazło zastosowanie w tych systemach CBR, choć przy użyciu różnych metod i algorytmów. Stopień podobieństwa określany jest najczęściej za pomocą algorytmu dopasowania, który może być: numeryczny, heurystyczny lub mieszany. Dla cech numerycznych stosowany jest zwykle algorytm „najbliższego sąsiada”, który umożliwia ocenę podobieństwa między poprzednim, a nowym przypadkiem w oparciu o ważoną sumę cech.

Dla danych reprezentowanych w postaci przedziałów liczbowych metoda wnioskowania na podstawie przypadków zastosowana została do badania jakości produktów w przemyśle stalowym [56]. Algorytm dla oceny miary podobieństwa znajduje przypadek najlepiej dopasowany na podstawie poprzednich zamówień produktów oraz projektowanych i uzyskanych wyników.

W odróżnieniu od algorytmów wnioskowania na podstawie przypadków, które stosują proste procedury dopasowania istnieją takie algorytmy, jak np. IBL, które wyprowadzają uogólnienia z występujących przypadków lub metody eksploracji danych (data mining).

Proponowane ostatnio systemy wnioskowania na podstawie intensywnej wiedzy o przypadkach oparte są na modelu wiedzy dziedziny o charakterze statycznym oraz dynamicznym modelu przypadku, który może występować w postaci sieci Bayesa [2]. Przy użyciu ogólnej wiedzy dziedziny obliczanie podobieństwa może dotyczyć dwu zupełnie różnych parametrów, co znalazło zastosowanie w norweskim systemie wykonywania odwiertów naftowych [55].

Podstawowym pojęciem metody CBR jest przypadek (ang. case), który jest opisem diagnozowanej sytuacji wraz z postawioną diagnozą. System działający w oparciu o tę metodę posiada bazę przypadków. Standardowe bazy przypadków zawierają od kilkudziesięciu do kilkuset

przypadków, jednak czasami ich liczba sięga kilkudziesięciu tysięcy. Mechanizmów pozwalających operować na tak dużej liczbie danych dostarczają nowoczesne systemy relacyjnych baz danych.

W podejściu CBR do projektowania [5, 42, 55] występują dwa zasadnicze problemy:

- reprezentacja przypadków projektowych (model przypadku),
- modele procesów dla przywołania i adaptacji przypadków projektowych, tj. ich indeksowania, odtwarzania i wyboru (model ogólnej wiedzy dziedzinowej).

Spotykane są różne metody reprezentacji przypadków zależne od dziedziny, dla której metoda CBR została zastosowana lub formatu istniejących danych. Do sposobów reprezentacji przypadków można zaliczyć następujące:

- zwykle zbiory cech opisywanych przypadków z ich wartościami,
- reprezentacje zorientowane obiektowo,
- reprezentacje graficzne.

Większość systemów CBR stosuje ogólną wiedzę dziedzinową w powiązaniu z wiedzą reprezentowaną przez przypadki. Reprezentacja i użycie wiedzy dziedzinowej obejmuje integrację metod opartych na przypadku z innymi metodami rozwiązywania problemów, np. systemami opartymi na regułach lub modelami wnioskowania przyczynowego [61].

Kiedy metoda wnioskowania na podstawie przypadków nie zapewnia właściwego rozwiązania (występuje zbyt duże zróżnicowanie między najbardziej podobnym wcześniejszym przypadkiem, a aktualnie rozważanym) stosowana jest metoda oparta na modelu dziedzinowym i uzyskane rozwiązanie przechowywane jest jako nowy przypadek do użycia w przyszłości.

Wiedza dziedzinowa może być stosowana dla [55]:

- wyjaśnienia podobieństwa dwu zupełnie różnych parametrów,
- zaadaptowania rozwiązania nowego problemu,
- zachowania w bazie przypadków (przypadku już rozwiązanego).

Zazwyczaj wiedza dziedzinowa stosowana w systemie CBR jest pozyskiwana przez akwizycję wiedzy, tj. w sposób typowy dla systemów opartych na wiedzy. Inną opcją może być uczenie systemu tej wiedzy z przypadków.

Korzyści z zastosowania metody CBR mogą być następujące:

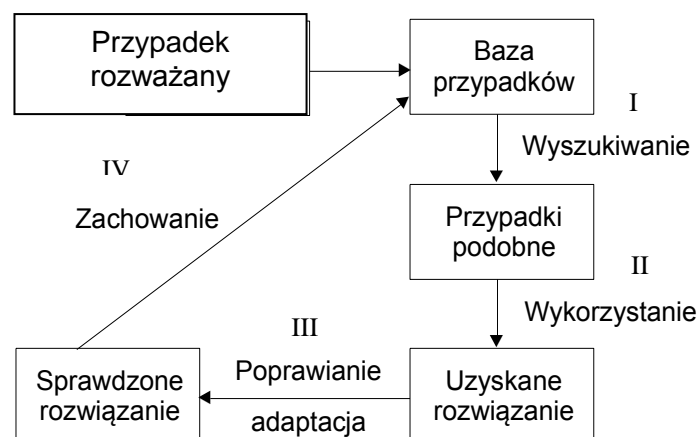
- wzrost efektywności w rozwiązywaniu nowych problemów,
- poprawa jakości rozwiązań,
- uproszczenie akwizycji wiedzy,
- zapewnienie rozwiązań w przypadku, kiedy inne metody komputerowe nie są wystarczające.

Po zdefiniowaniu problemu - rozważanego przypadku, zastosowanie omawianej metody sprowadza się do 4-etapowego cyklu następujących czynności [2]:

- I. wyszukanie w bazie danych przypadków rozwiązań zrealizowanych podobnych do przypadku rozwiązywanego,
- II. wykorzystanie znalezionej odpowiedzi wraz z ewentualną jej weryfikacją,
- III. adaptacja uzyskanego rozwiązania,
- IV. zapamiętanie uzyskanego rozwiązania w bazie danych (przypadków).

Cykl ten schematycznie został przedstawiony na rys. 1.





**Rys. 1. Schemat cyklu metody wnioskowania na podstawie przypadków**

W etapie pierwszym dokonuje się wyszukiwania przypadku podobnego (I), wykorzystując miarę podobieństwa rozważanego przypadku i poszczególnych przypadków w bazie danych. Najczęściej jako miarę podobieństwa przyjmuje się funkcję określoną na wartościach wytypowanych atrybutów (cech) charakteryzujących rozpatrywane przypadki. Podobieństwo między porównywanymi przypadkami może być wyrażone jako różnica między wektorami je reprezentującymi. Dobre podstawy do obliczenia tego podobieństwa daje logika rozmyta [2, 41].

Funkcja podobieństwa dla każdego nowego przypadku może przyjmować wartości: prawda/fałsz, 0/1 lub zbiór wartości z jakiegoś przedziału. Po wyszukaniu przypadku z bazy można zastosować go wprost lub po adaptacji do nowego problemu. Z uwagi na to, iż znalezione rozwiązanie niekoniecznie musi być poprawne, może być potrzebna weryfikacja jego przydatności i skuteczności, np. poprzez symulację komputerową lub w rzeczywistych warunkach.

W literaturze [1] proponowane jest podejście do CBR, w którym korzysta się z modelu dziedzinowego opartego częściowo na sieci semantycznej, a częściowo na sieci Bayesa opisanej w p. 1.1.6. Innym przykładem podejścia hybrydowego [42] jest kombinacja wnioskowania na podstawie przypadków i na podstawie modelu dziedzinowego. Metoda CBR jest szczególnym przypadkiem przyspieszonego uczenia, ponieważ metoda oparta na modelu jest bardziej złożona i wolniejsza.

Pojęcia stosowane w CBR dotyczące organizacji przechowywania, indeksowania i wyszukiwania przypadków mogą odnosić się również do wnioskowania na podstawie modelu dziedzinowego. Taka integracja CBR oraz systemu ekspertowego zapewnia szybkie wyszukiwanie przypadków i efektywną ich adaptację.

Dla efektywnego wyszukiwania przypadków w systemach opartych na CBR, np. systemie IQS przeznaczonym do projektowania wyrobów stalowych stosowana jest metoda hierarchicznego indeksowania [56]. Do projektowania połączeń geometrycznych w mechanice cechy przypadków zapisywane są na kilku poziomach abstrakcji, co umożliwia ich szybkie wyszukiwanie wielopoziomowe [5].

### **1.1.3 Przykład zastosowania CBR w okrętownictwie**

Aby zaprojektować statek w sposób efektywny i w możliwie krótkim czasie celowe jest wykorzystanie projektów podobnych za pomocą metody wnioskowania na podstawie przypadków. Podejście takie zrealizowane zostało w koreańskim systemie BASCON [12], który obejmuje:

- bazę przypadków,
- moduł rozwiązania problemu.

Baza przypadków zawiera opis rozwiązanych i nierozwiązanych problemów. Moduł rozwiązania problemu składa się z modułów określanych jako: wyszukujący i wnioskujący.

Moduł wyszukujący służy do badania i wyszukiwania przypadku podobnego z bazy przypadków na podstawie funkcji podobieństwa. Funkcja ta określa miarę podobieństwa między nowym problemem i każdym przechowywanym przypadkiem. Miara jest lepsza, jeśli funkcja uwzględnia więcej informacji. W wyniku pytań i odpowiedzi system wnioskowania na podstawie

przypadków znajduje przypadek najbardziej podobny za pomocą algorytmu dopasowania, a w szczególności algorytmu „najbliższego sąsiada” [2, 12].

Ogólna miara podobieństwa reprezentowana jest jako sumaryczny stopień dopasowania każdej cechy. Typ cechy może być: logiczny, tekstowy, numeryczny oraz w postaci listy. Dla cechy typu liczbowego stosowany jest algorytm, w którym stopień dopasowania określony jest przez następujące czynniki:

- maksymalna dopuszczalna wartość,
- minimalna dopuszczalna wartość,
- odchylenie dopasowania,
- minimalny zakres błędu.

Ogólna miara podobieństwa obliczana jest następująco:

$$\text{Miara podobieństwa} = \sum_{i=1}^p S_i - \sum_{j=1}^q M_j - \sum_{k=1}^r A_k \quad (1)$$

gdzie:

S - wartość ważona dla cechy dopasowanej,

M - wartość ważona dla cechy niedopasowanej,

A - wartość ważona dla cechy nieokreślonej,

p - liczba cech dopasowanych,

q - liczba cech niedopasowanych,

r - liczba cech nieokreślonych.

#### 1.1.4 Metody obliczania podobieństwa przypadków w CBR

Badanie podobieństwa między przypadkami jest jednym z ważniejszych elementów wnioskowania za pomocą odpowiednich metod, które umożliwiają dla zaproponowanej reprezentacji porównania przypadków.

W literaturze [61] można znaleźć przykłady zastosowania następujących metod określania podobieństwa przypadków:

- badanie identyczności parametrów tekstowych z uwzględnieniem ich wag (test identyczności),
- użycie funkcji symetrycznego podobieństwa z dolną granicą dla parametrów liczbowych.

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

$$S(p_p, p_z) = \begin{cases} 1, & \text{dla } p_z = p_p \\ 0, & \text{dla } p_z \neq p_p \end{cases} \quad (2)$$

gdzie:

$p_p$  - wartość parametru przypadku projektowanego,

$p_z$  - wartość parametru przypadku zrealizowanego.

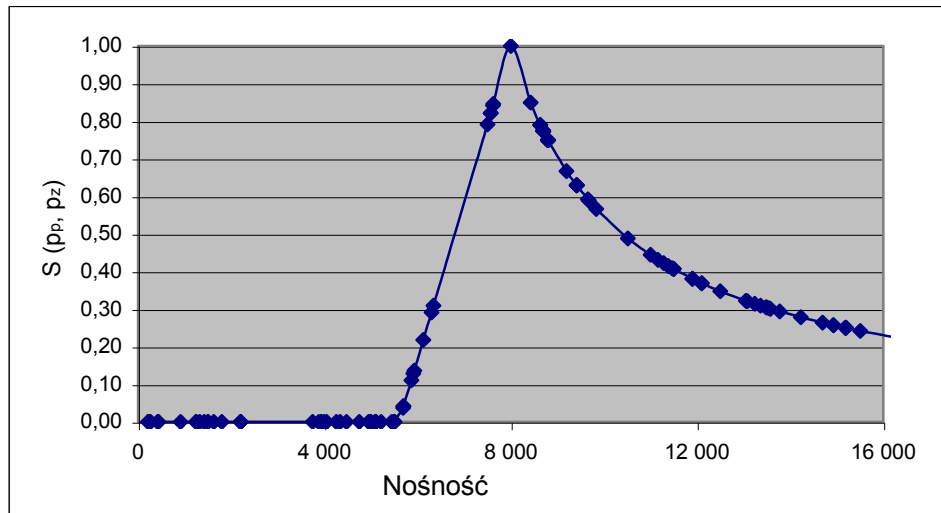
**Symetryczne podobieństwo z dolną granicą** odnosi się także do pojedynczych parametrów i zdefiniowane jest następującą zależnością:

$$S(p_p, p_z) = \begin{cases} 0 & \text{dla } p_p \leq P_D \\ 1 - \frac{|p_p - p_z|}{\max(p_p, p_z) - P_D} & \text{dla } p_p > P_D \end{cases} \quad (3)$$

gdzie  $P_D$  – dolna granica wartości parametru.

Jak łatwo zauważyć metoda ta daje w wyniku wartości z przedziału  $[0, 1]$ .

Funkcję podobieństwa z dolną granicą dla  $P_D = 6000$  przedstawiono na rys. 2.



**Rys. 2. Funkcja podobieństwa z dolną granicą**

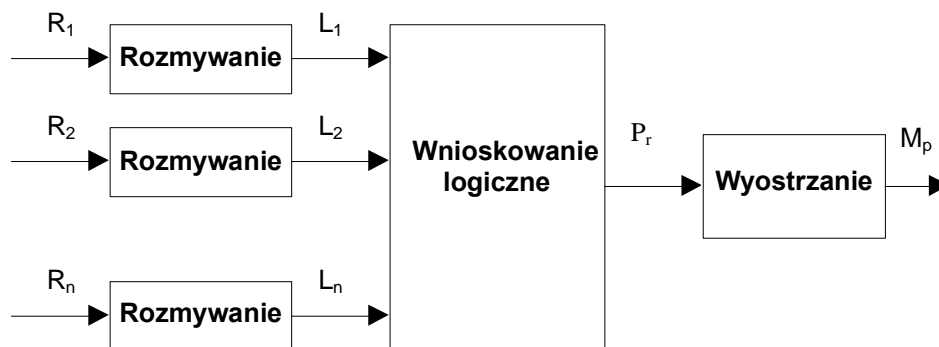
### **Logika rozmyta**

Współczesne systemy baz danych stosują algorytmy wyszukiwania oparte na spełnianiu warunków logicznych w logice dwuwartościowej, które w przypadku systemów CBR opartych na strukturze relacyjnej bazy danych mogą okazać się niewystarczające dla sprawnego i efektywnego przetwarzania danych. Odpowiednią metodą dla zbadania miary podobieństwa może być logika rozmyta, która znalazła liczne zastosowania w realizacji systemów ekspertowych [58]. Logika rozmyta jest rodzajem metodologii, która może być stosowana przez system ekspertowy, podnosząc jego wydajność [43].

Umożliwia ona analizę danych niepełnych lub nieprecyzyjnych. Może być stosowana jednocześnie do dowolnej liczby parametrów. Pozwala ona przejść od wartości liczbowych do wartości lingwistycznych (wyrażeń języka naturalnego), za pomocą których w łatwy sposób można realizować wnioskowanie logiczne [48]. Uniezależnia to wnioskowanie logiczne od znaczenia i skali wartości liczbowych rozważanych parametrów.

Struktura systemu rozmytego zawiera trzy bloki: blok rozmywania (ang. fuzzyfication), blok wnioskowania logicznego (ang. inference) oraz blok wyostrzania (ang. defuzzyfication). Na wejście bloku rozmywania wprowadzane są wartości danych wejściowych, które są rozmywane poprzez wyznaczenie ich stopni przynależności do poszczególnych zbiorów rozmytych. W bloku wnioskowania na ich podstawie wyznaczana jest wynikowa funkcja przynależności wyjścia, na podstawie której w bloku wyostrzania następuje wyznaczenie dokładnej (ostrej) wartości wyjścia. Mechanizm wnioskowania może być zrealizowany na wiele sposobów z wykorzystaniem różnych operatorów stosowanych w logice rozmytej [50, 63].

Ogólny schemat realizacji omawianej metody określania podobieństwa przedstawiono na rys. 3.



**Rys. 3. Schematyczna prezentacja metody zbiorów rozmytych**

Na rysunku tym wprowadzono następujące oznaczenia:

$R_1, R_2, \dots, R_n$  – różnice wartości liczbowych rozważanych atrybutów,

$L_1, L_2, \dots, L_n$  – 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 liczbową miara podobieństwa.

Wartość wynikowa liczbowej miary podobieństwa  $M_p$  zależy od:

- przyjętych funkcji przynależności, za pomocą których realizowane jest rozmywanie wartości wejściowych,
- definicji reguł, według których odbywa się wnioskowanie,
- sposobu realizacji wyostrzania.

### ***1.1.5 Struktura sieci neuronowej i algorytmu uczenia dla wspomaganie projektowania***

Sztuczne sieci neuronowe stanowią alternatywę dla sekwencyjnego przetwarzania informacji. Należą one do klasy układów nieliniowych i dlatego są opisywane układami równań różniczkowych na ogół nieliniowych wysokiego rzędu [47]. Równań tych przeważnie nie potrafimy rozwiązać analitycznie, dlatego teoretyczne podstawy tej dziedziny są jeszcze słabo opracowane.

Sieci neuronowe pełnią najczęściej funkcje klasyfikatorów. W związku z tym mogą być użyte w systemach ekspertowych, przeznaczonych do przetwarzania informacji niepewnej i niekompletnej. Nadają się one również do zastosowania w przypadku złożonych funkcji, które trudno jest zapisać analitycznie.

W przypadku użycia sieci neuronowej upraszcza się proces pozyskiwania wiedzy, który jest najtrudniejszym etapem tworzenia systemu ekspertowego. Informacja wejściowa może tu być informacją numeryczną (ilościową) oraz lingwistyczną (jakościową) [6], choć metoda umożliwiająca stosowanie obu tych typów danych wymaga sieci neuronowej ze sprzężeniem zwrotnym.

Sztuczna sieć neuronowa nie jest programowana, lecz jest uczona. Metody uczenia dzielą się na uczenie z „nauczycielem” (z nadzorem) i bez „nauczyciela” (bez nadzoru). Zadaniem „nauczyciela” jest podawanie dla każdego wektora danych wejściowych wzorcowego wektora oczekiwanej odpowiedzi sieci. Uczenia bez „nauczyciela” jest możliwe wówczas, kiedy mamy do czynienia z redundancją (nadmiarowością) danych wejściowych.

Sztuczne sieci neuronowe charakteryzują się:

- możliwością aproksymacji dowolnych odwzorowań liniowych i nieliniowych,
- szybkim i efektywnym przetwarzaniem dużej liczby danych,
- równoległością przetwarzania informacji,
- możliwością uczenia się i adaptacji,
- dużą tolerancją na błędy i uszkodzenia,
- przetwarzaniem sygnałów z wielu wejść i generowanie wielu sygnałów wyjściowych,
- możliwością przetwarzania informacji rozmytych i niekompletnych.

Zdolność uczenia się przez sieć pozwala na analizę obiektów, których model matematyczny jest nieznany bądź jest zbyt złożony. Uczenie sieci dokonywane jest na podstawie reprezentatywnych przykładów, co umożliwia pozyskiwanie wiedzy bez potrzeby wnikania w istotę rozpatrywanej dziedziny użytkowej.

Sieci neuronowe znajdują coraz szersze zastosowanie m.in. do projektowania trójwymiarowych modeli dowolnego produktu [15], rozwoju oprogramowania [14], modelowania zachowania śruby okrętowej [51], badania właściwości morskich okrętu [8], wstępnego projektowania statku [10].

W zastosowaniach sieci neuronowych najczęściej używane są sieci jednokierunkowe oraz metoda uczenia z nauczycielem, które zostały przyjęte również w badaniach dotyczących wspomaganie projektowania statku.

W modelowaniu neuronów wykorzystano dwie sigmoidalne funkcje aktywacji [57]:

- unipolarną określoną zależnością:

$$\varphi_a(y) = \frac{1}{1 + e^{-\beta y}}, \quad \beta > 0 \quad (4)$$

gdzie:  $\beta$  - wartość zmieniająca nachylenie funkcji sigmoidalnej.

Ważną cechą takiej funkcji jest ciągłość zapewniająca jej różniczkowalność. Pozwala to na stosowanie gradientowego algorytmu uczenia, w którym wykorzystywane są pochodne funkcji wyrażające się bardzo prostymi zależnościami.

- bipolarną:

$$\varphi_b(y) = \frac{2}{1 + e^{-\beta y}} - 1, \quad \beta > 0 \quad (5)$$

W pierwszym przypadku wartości funkcji należą do przedziału (0,1), w drugim przypadku do przedziału (-1,1).

W zagadnieniach technicznych do modelowania nieznanymi procesów [16, 51] najczęściej wykorzystuje się sieć neuronową ze wsteczną propagacją błędów [6, 48, 52]. Jest to najbardziej znany, najskuteczniejszy i najczęściej stosowany algorytm w dziedzinie sieci neuronowych z funkcją nieliniową (sigmoida bądź tangens hiperboliczny) na wyjściu. Jest efektywny w sytuacjach, gdy związek między wejściem i wyjściem jest nieliniowy i wielowymiarowy [16]. Jedną z istotnych niedogodności metod propagacji wstecznej jest to, że wymagają one „nauczyciela”.

Istota algorytmu polega na odwrotnym kierunku poprawiania wag (uczenia sieci): od warstwy wyjściowej do pierwszej warstwy ukrytej, następnie poprzedzającej ją i dalej aż do warstwy wejściowej. Miara błędu jest funkcją wag sieci. Uczenie sieci polega na adaptacyjnej korekcji wszystkich wag w taki sposób, aby miarę tę zminimalizować.

Sieć neuronowa ze wsteczną propagacją błędów dokonuje optymalizacji metodą gradientową największego spadku, która bardzo zawęża zakres stanów możliwych do przyjęcia. Jest to metoda iteracyjna poszukująca kolejnego lepszego punktu w kierunku przeciwnym do gradientu funkcji celu w danym punkcie. Umożliwia ona przyspieszenie procesu dochodzenia do rozwiązania kosztem zmniejszenia prawdopodobieństwa znalezienia optimum. Kluczowym zagadnieniem ze względu na jakość rozwiązania jest przy tym właściwy dobór stanu początkowego, od którego zależy zbieżność metody. Wartości początkowe wag są wybierane losowo i są na ogół bliskie zeru.

Z wielu znanych w literaturze [17, 48, 57] modyfikacji algorytmu wstecznej propagacji błędów najczęściej stosowanym jest algorytm z dodatkowym członem momentum. Zapewnia on przyspieszenie zbieżności algorytmu, a zatem procesu uczenia przy jednoczesnym zachowaniu stabilności. Inną modyfikacją tego algorytmu jest algorytm z wykorzystaniem metody najmniejszych kwadratów (RLS - Recursive Least Squares) [4], który zapewnia poprawę w zakresie zarówno szybkości uczenia (mniejsza liczba iteracji), jak i jakości algorytmu (wartość błędu wyjściowego). Zmodyfikowany (momentum) algorytm wstecznej propagacji jest kilkakrotnie szybszy od algorytmu tradycyjnego, natomiast zastosowanie algorytmu RLS pozwala zwiększyć tę szybkość aż dziesięciokrotnie [51].

W metodzie tej zakłada się, że dla każdego zestawu wartości sygnałów wejściowych do sieci:

$$x_1, x_2, \dots, x_N$$

dane są (podawane przez nauczyciela) pożądane wartości sygnałów wyjściowych:

$$d_1, d_2, \dots, d_K.$$

Natomiast w wyniku działania sieci otrzymuje się zestaw wartości sygnałów wyjściowych:

$$z_1, z_2, \dots, z_K.$$

W oparciu o te wartości tworzony jest błąd jednego cyklu uczenia:

$$ec = \frac{1}{K} \sum_{k=1}^K (d_k - z_k)^2 \quad (6)$$

Następnie oblicza się wektory sygnałów błędów:

dla warstwy wyjściowej:

$$\delta_{zk} = \beta z_k (d_k - z_k) (1 - z_k), \text{ dla } k=1,2,\dots,K \quad (7)$$

oraz dla warstwy ukrytej:

$$\delta_{ym} = \beta y_m (1 - y_m) \sum_{k=1}^K \delta_{zk} w_{km}, \text{ dla } m=1,2,\dots,M-1. \quad (8)$$

Powyższe zależności dotyczą unipolarnej funkcji aktywacji. Dla bipolarnej funkcji aktywacji przyjmują one następującą postać:

$$\delta_{zk} = 2\beta z_k (d_k - z_k) (1 - z_k), \text{ dla } k=1,2,\dots,K \quad (9)$$

$$\delta_{ym} = 2\beta y_m (1 - y_m) \sum_{k=1}^K \delta_{zk} w_{km}, \text{ dla } m=1,2,\dots,M-1. \quad (10)$$

Korekcja wag przeprowadzana jest w oparciu o te wyliczone błędy, według zależności (11):

$$w_{km}^{(l+1)} = w_{km}^{(l)} + \eta_1 \delta_{zk} y_m, \text{ dla } k=1,2,\dots,K; m=1,2,\dots,M., \quad (11)$$

$$v_{mn}^{(l+1)} = v_{mn}^{(l)} + \eta_1 \delta_{ym} x_n, \text{ dla } m=1,2,\dots,M-1; n=1,2,\dots,N.$$

gdzie:  $\eta_1$  - współczynnik szybkości uczenia sieci,

$N$  – liczba wejść,

$M$  – liczba neuronów w warstwie ukrytej + 1,

$K$  – liczba wyjść,

$x_n$  – wektor wejść,

$y_m$  – wektor wyjść neuronów warstwy ukrytej,

$w$  – macierz wag w warstwie wyjściowej  $K \times M$ ,

$v$  – macierz wag w warstwie ukrytej  $(M-1) \times N$ ,

$l$  – numer cyklu uczenia,

$w^l$  – macierz wag w cyklu uczenia  $l$ ,

$w^{l+1}$  – obliczona macierz wag dla kolejnego cyklu uczenia.

Łatwo zauważyć, że błędy dla warstwy ukrytej są wyliczane poprzez wsteczne rzutowanie błędów warstwy wyjściowej, wykorzystując te same sygnały wagowe, które najpierw służyły do obliczenia wyjść.

Początkowe wartości elementów macierzy  $w$  i  $v$  generuje się losowo z zakresu  $[0,1]$ .

### **1.1.6 Przykłady zastosowań sieci neuronowych w okrętownictwie**

#### **1.1.6.1 Sieć neuronowa do projektowania wstępnego statku**

W projektowaniu statków, oprócz podejścia opartego na znajdowaniu statków z podobnymi charakterystykami, innym podejściem jest określenie parametrów początkowych projektowanej jednostki na podstawie zależności empirycznych uzyskanych metodą regresji z danych statystycznych. Wyrażenia empiryczne jednakże umożliwiają tylko relację między dwoma parametrami. Metodą znajdowania równoczesnych zależności między wieloma parametrami są sieci neuronowe. W porównaniu z metodą regresji sieci neuronowe są bardziej efektywne dla systemów złożonych, które wykazują zachowanie nieliniowe.

W [14] analizie poddano statki kontenerowe zbudowane w ciągu ostatnich trzydziestu lat na podstawie bazy danych zawierającej charakterystyki 812 statków floty światowej pochodzących z morskich informacji serwisowych Lloyd'a. Jako parametry projektowe wytypowano: nośność statku, długość, szerokość, wysokość, zanurzenie, prędkość. Dane zostały znormalizowane do wartości w zakresie (-1, 1).

Do analizy zastosowano sieć neuronową składającą się z dwu warstw. Jest to sieć z wektorem wejściowym, jedną warstwą ukrytą, warstwą wyjściową i wektorem wyjściowym. Każda z dwu warstw składa się z  $S_x$  neuronów (wyjść), gdzie  $x$  odnosi się do numeru warstwy. Wektor wejściowy dla każdej warstwy jest powiązany z neuronami poprzez macierz wag  $W_x$ . To ważone wejście jest sumowane ze stałą (ang. bias  $b_x$ ) do obliczenia wejścia  $n_x$  dla funkcji aktywacji  $F_x$ , która jest funkcją sigmoidalną:

$$F^1(n) = \frac{1}{1 + e^{-n}} \quad (12)$$

Warstwa wyjściowa stosuje liniową funkcję aktywacji:

$$F^2(n) = n \quad (13)$$

Sieć jest trenowana za pomocą regularyzacji Bayesa [10]. Jest to metoda wstecznej propagacji, która aktualizuje wartości wag zgodnie z optymalizacją Levenberga-Marquardta. Sieci Bayesa wyrażają aktualizowany rozkład prawdopodobieństwa dla danego wejścia, tak że niepewność oceny jest kwantyfikowana. Informacja ta jest pomijana w przypadku pozostałych metod.

W modelu sieci neuronowych i modelu regresji [10] relacja między parametrami projektowymi jest wyrażana w postaci funkcji ciągłych opartych na obliczaniu najmniejszych kwadratów. Dla większości parametrów projektowych sieć neuronowa, w porównaniu z metodą regresji, zapewnia mniejszy błąd średni [14].

Wybór modelu zależy jednak nie tylko od najniższej miary błędu, ale też od zastosowania. Funkcje potęgowe stosowane w regresji są prostsze do implementacji, lecz nie mogą być stosowane dla statków dla których istnieją ograniczenia, np. szerokości statku dla Panamax ograniczonej do 32,3 m dopuszczalnej w kanale panamskim. Mogą tu być używane natomiast sieci neuronowe. Sieci neuronowe są prostsze do implementacji i zapewniają mniejszy błąd oceny, lecz dla każdej kombinacji wejść muszą być uczone oddzielnie.

#### 1.1.6.2 Sieć neuronowa do badania właściwości morskich okrętu

Sieć neuronowa, w tym zastosowaniu, uczona jest na podstawie parametrów projektowych statku oraz wyników uzyskanych z dowolnej metody prognozowania właściwości morskich, takich, jak np. kołysania statku. Ponadto sieć może być „douczone” w oparciu o wyniki uzyskane z innych źródeł, m.in. podczas eksploatacji statku.

Przybliżone funkcje aproksymujące kołysania są zwykle opracowywane na podstawie analiz statystycznych właściwości morskich statków podobnych. Na podstawie bazy danych dotyczących kołysań statków podobnych określa się współczynniki interpolacji i ekstrapolacji, z których z kolei oblicza się kołysania nowego statku.

Zbiorem danych wejściowych sieci neuronowej jest zbiór parametrów projektowych statku ( $X_1, X_2, \dots, X_n$ ), natomiast wzorcem, tj. zbiorem uczącym funkcje przenoszenia kołysań obliczone numerycznie lub zmierzone doświadczalnie. Wszystkie wejścia zostały znormalizowane do przedziału  $\langle -1, 1 \rangle$ . Parametry projektowe  $X_1, X_2, \dots, X_n$  powinny być ustalone w takich przedziałach, aby można byłoby objąć nimi dużą grupę wielkości statków, a także aby w takich przedziałach mieściły się inne kryteria projektowe (np. nośność, sterowność, moc napędu, koszt budowy i eksploatacji statku).

Wycieczona sieć może służyć jako symulator do generowania charakterystyk częstotliwościowych kołysań na podstawie parametrów projektowych statku. Przyjęto, iż na kołysania statku decydujący wpływ mają następujące parametry: długość statku między pionami, wysokość boczna, objętość podwodzia, współczynnik pełnotliwości kadłuba i in., a także prędkość statku i kierunek fali.

Sieci neuronowe zaprojektowano i przetestowano za pomocą programu komputerowego Tlearn V.1.0.3 przeznaczonego do projektowania sieci neuronowych ze wsteczną propagacją błędów.

### 1.1.7 Optymalizacja wielokryterialna

W zadaniach projektowych często występuje potrzeba łącznej optymalizacji wielu cząstkowych kryteriów, między którymi trudno jest określić wzajemne zależności. Rozwiązywanie takich zadań może być realizowane na podstawie zintegrowanego kryterium (poprzez ważenie kryteriów składnikowych) lub poprzez uwzględnienie niezależnych ocen według poszczególnych kryteriów [17]. Optymalizacja wielokryterialna stanowi zatem zbiór rozwiązań optymalnych o różnym stopniu kompromisu (relacji) pomiędzy poszczególnymi kryteriami. Kryterium optymalizacyjne jest podstawowym pojęciem optymalizacji, za pomocą którego dokonuje się porównania poszczególnych rozwiązań. Nazywane jest ono funkcją celu. Wybierane jest w początkowej fazie projektowania, musi spełniać wymogi projektowania optymalnego, może być kombinacją wielu parametrów.

W dziedzinie projektowania inżynierskiego dotyczącego również projektowania automatyki siłowni statku zastosowanie podejścia wielu kryteriów jest uzasadnione z następujących względów [3]:

- daje szeroki zakres alternatywnych rozwiązań,
- zapewnia wysoką jakość informacji wymaganych w projektowaniu,
- problemy projektowania z natury są wielokryterialne.

Modele matematyczne optymalizacji mogą być klasyfikowane ze względu na liczbę funkcji celów (kryteriów optymalizacyjnych) następująco:

- Model optymalizacji skalarnej, gdy zadanie wykorzystuje tylko jedną funkcję celu,
- Model optymalizacji wielokryterialnej (wektorowej) z kilkoma funkcjami celów.

Budowa modelu matematycznego optymalnego projektowania wybranego obiektu obejmuje:

- określenie funkcji celu (lub zbioru funkcji celów), będącej matematycznym zapisem kryterium optymalizacyjnego,
- określenie zmiennych decyzyjnych,
- określenie obszaru dopuszczalnego (obszaru rozwiązań dopuszczalnych).

W procesie projektowania optymalnego mogą być podejmowane następujące decyzje:

1. wybrać jedno rozwiązanie i uznać je za najlepsze,
2. wybrać podzbiór rozwiązań ze zbioru rozwiązań optymalnych,
3. ustawić wszystkie rozwiązania w szereg od najlepszego do najgorszego, tj. utworzyć listę rankingową.

Schemat procesu wyboru wariantu optymalnego przedstawiono na rys. 4.

Formalnie optymalizację wielokryterialną można zdefiniować następująco [2]:

Niech  $\mathbf{X} = \{x_i\}$ ,  $i = 1, 2, \dots, N$  jest wektorem zmiennych decyzyjnych, jako zmiennych niezależnych. Niech  $\mathbf{F} = \{f_i\}$ ,  $i = 1, 2, \dots, M$  jest zbiorem kryteriów (funkcji) ze względu na które oceniane są rozwiązania w poszukiwaniu kompromisu. Na wartości rozwiązań przyjęto następujące ograniczenia:

$$\text{- nierównościowe } \mathbf{G} \left\{ g_k \right\}, k = 1, 2, \dots, K, \text{ gdzie: } g_k(\mathbf{X}) \leq 0; \quad (14)$$

$$\text{- równościowe } \mathbf{H} \left\{ h_j \right\}, j = 1, 2, \dots, J, \text{ gdzie: } h_j(\mathbf{X}) = 0; \quad (15)$$

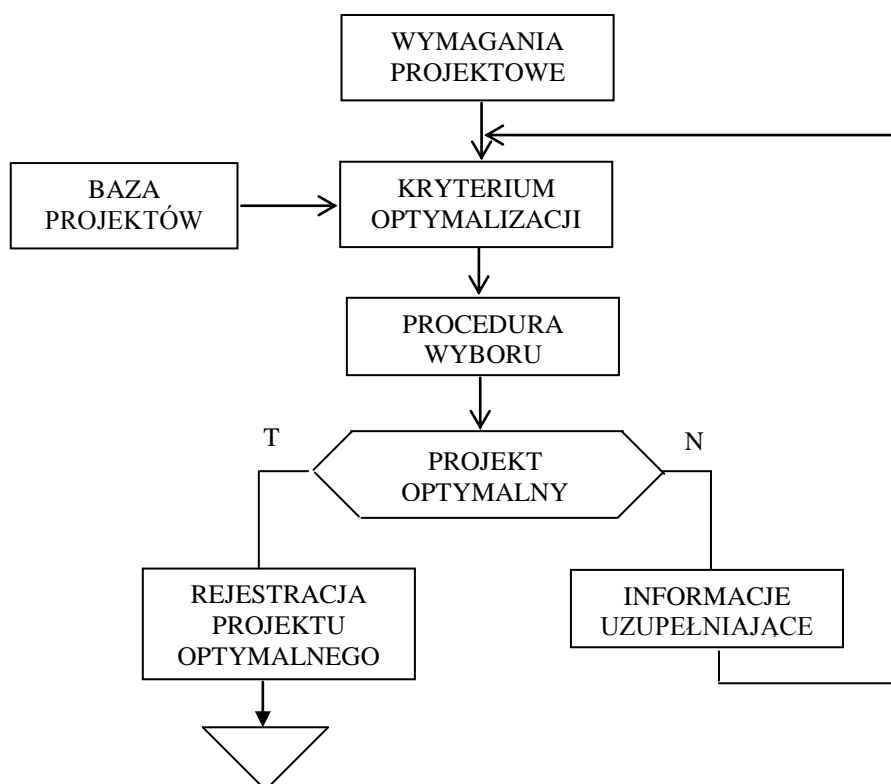
Celem optymalizacji wielokryterialnej jest osiągnięcie rozwiązania, spełniającego warunek:

$$\min \mathbf{F}(\mathbf{X}) = \{f_1(\mathbf{X}), f_2(\mathbf{X}), \dots, f_M(\mathbf{X})\} \quad (16)$$

Jeżeli wymagana jest maksymalizacja pewnej funkcji  $f_1^*$ , wówczas można wprowadzić kryterium pomocnicze wg zależności:

$$\min f_1(\mathbf{X}) = - \max f_1^*(-\mathbf{X}) \quad (17)$$





**Rys. 4. Schemat procesu wyboru wariantu optymalnego**

Metody rozwiązywania optymalizacji wielokryterialnej można podzielić na:

1. klasyczne,
2. rankingowe.

Do klasycznych metod optymalizacji wielokryterialnej należą m.in.:

- metoda ważonych kryteriów,
- metoda ograniczeń nierównościowych.

Do metod rankingowych zalicza się:

1. metodę Pareto-optymalną,
2. metodę globalnego poziomu optymalności.

Obie metody klasyczne polegają na integracji wielu kryteriów w jedno.

Metoda ważonych kryteriów polega na sprowadzeniu optymalizacji wielokryterialnej do jednokryterialnej przez wprowadzenie kryterium zastępczego, będącego sumą ważoną kryteriów:

$$Z = \sum_{q=1}^M (w_q \cdot f_q(X)) \rightarrow MIN \quad (18)$$

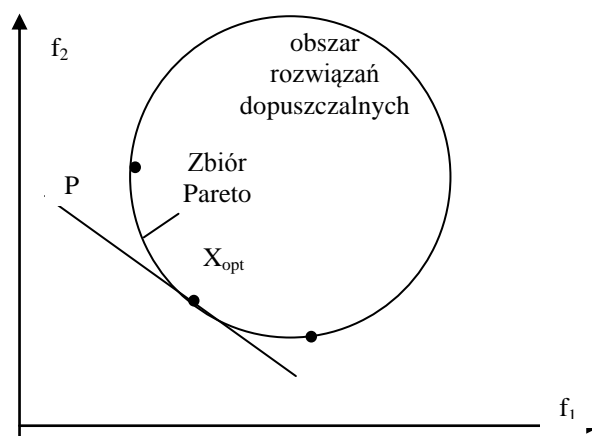
gdzie:

$$0 \leq w_q \leq 1 \quad (18')$$

$$\sum_{q=1}^M w_q = 1 \quad (18'')$$

Problemem w tej metodzie jest wybór a priori wartości wag kryteriów, co może prowadzić do różnych rozwiązań.

Graficznie rozwiązanie takie można przedstawić jako punkt przecięcia obszaru rozwiązań dopuszczalnych z hiperprostą P, zależną od ważności wartości kryteriów  $w_q$ , co ilustruje rys. 5.



Rys. 5. Optimum według metody ważonych kryteriów

Metoda ograniczeń nierównościowych polega na przekształceniu zadania (wielokryterialnej) maksymalizacji wektorowej funkcji zysku bez ograniczeń na zbiór zadań maksymalizacji skalarnej funkcji zysku przy ograniczeniach nierównościowych.

W metodzie tej a priori są ustalane poziomy wartości, jakie mogą przyjmować poszczególne kryteria, co prowadzi do ograniczenia przestrzeni rozwiązań dopuszczalnych. Problem optymalizacji wielokryterialnej można sprowadzić do problemu optymalizacji względem wybranego kryterium  $f_r$  przy zwiększonej o  $(M-1)$  liczbie ograniczeń, wynikających z pozostałych kryteriów, co matematycznie można zapisać następująco:

$$f_r(X) \rightarrow MIN \quad (19)$$

$$f_i(X) \leq \varepsilon_i; i = 1, \dots, M; i \neq r \quad (20)$$

$$g_k(X) \leq 0; k = 1, \dots, K \quad (21)$$

$$h_j(X) = 0; j = 1, \dots, J \quad (22)$$

gdzie  $\varepsilon_i$  jest wartością ograniczającą kryterium  $f_i$ , ustaloną a priori.

Odmienne podejście stosowane jest w metodach rankingowych, które nie wymagają arbitralnego ważenia kryteriów. Każdemu rozwiązaniu można przyporządkować pewną skalarną wielkość zwaną rangą.

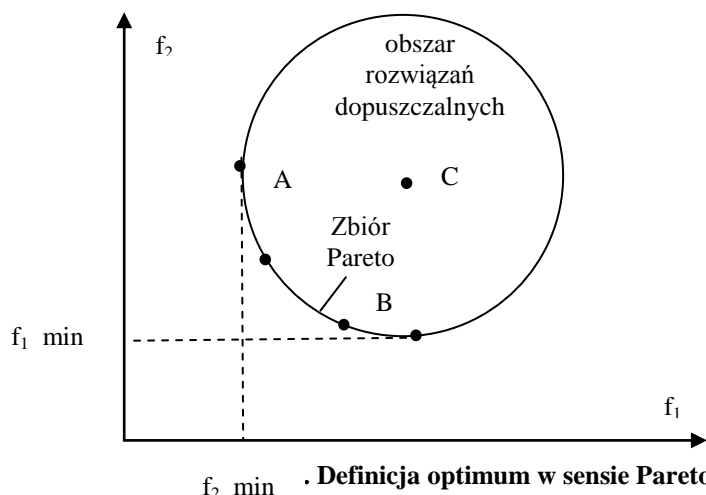
Metoda rankingowa według Pareto-optymalności. W najprostszym ujęciu rozwiązanie jest optymalne w sensie Pareto, jeśli nie jest możliwe znalezienie rozwiązania lepszego ze względu na co najmniej jedno kryterium bez pogorszenia z uwagi na pozostałe. Graficznie przedstawiono to na rys. 6.

Rozwiązanie C może zostać polepszone zarówno wobec kryterium  $f_1$ , jak i  $f_2$ . Dla rozwiązań A i B taka możliwość nie istnieje, ponieważ poprawa względem jednego kryterium powoduje pogorszenie z uwagi na drugie; należą one zatem do zbioru rozwiązań optymalnych w sensie Pareto.

Do innych metod optymalizacji wielokryterialnej należą:

Metoda optymalizacji hierarchicznej – również polega na sprowadzeniu optymalizacji wielokryterialnej do optymalizacji kolejno wykonywanej względem wszystkich kryteriów. W tym celu należy:

- Uszereżować kryteria od najważniejszego ( $f_1$ ) do najmniej ważnego ( $f_M$ ).
- Znaleźć rozwiązanie optymalne  $\mathbf{X}^1$  względem kryterium  $f_1$  i pierwotnych ograniczeniach.
- Poszukiwać rozwiązań optymalnych  $\mathbf{X}^i$ ,  $i = 2, 3, \dots, M$  względem pozostałych kryteriów przy wprowadzaniu dodatkowych ograniczeń.



$f_2 \min$   $f_1 \min$  . Definicja optimum w sensie Pareto

Metoda programowania celów – jest pewną ogólną techniką optymalizacji wielokryterialnej. W podejściu tym kryteria są traktowane jako cele, które należy osiągnąć lub jako wartości progowe, których wartości kryteriów nie mogą przekroczyć.

Metoda algorytmów ewolucyjnych - jest zaliczana do technik sztucznej inteligencji. Ich przydatność jest widoczna dopiero w przypadku problemów, gdzie potencjalna liczba rozwiązań optymalnych w sensie Pareto może sięgać znaczących wartości (rzędu milionów lub więcej). Wówczas tradycyjne metody nie cechują się taką skutecznością, jak algorytmy ewolucyjne. W przypadku małej liczby dopuszczalnych rozwiązań lepiej sprawdzają się tradycyjne metody optymalizacji.

## 1.2 Cel i zakres pracy

Przy realizacji większości zadań projektowych statku istotnym niedostatkim jest brak zastosowań sformalizowanych metod, modeli matematycznych oraz zaawansowanych technik wspomagania komputerowego. Podejmowane decyzje i przyjmowane rozwiązania bazują często na wiedzy wynikającej z doświadczenia i intuicji projektantów. Wykorzystanie informacji dotyczących wcześniej wykonanych projektów podobnych umożliwiają systemy ekspertowe za pomocą metody wnioskowania na podstawie przypadków. Ułatwia to efektywne zaprojektowanie statku w możliwie krótkim czasie. Podobną rolę pełnią również sieci neuronowe, które można uczyć w oparciu o reprezentatywne przykłady oraz wyniki uzyskane z innych źródeł ( np. podczas eksploatacji statku).

**Celem pracy jest wykazanie, iż zastosowanie metod sztucznej inteligencji w opracowanym hybrydowym systemie wspomagania projektowania automatyki siłowni statku umożliwi znaczącą poprawę efektywności procesu projektowania, przyczyniając się do jego usprawnienia i uproszczenia poprzez daleko posuniętą formalizację procesu projektowania, skrócenie czasu przygotowania projektu, jak również zmniejszenie nakładu pracy projektanta.**

Dla realizacji tego celu opracowano hybrydowy system wspomagania projektowania statku oparty na metodologii CBR z wykorzystaniem wybranych narzędzi sztucznej inteligencji takich jak: system ekspertowy Exsys Developer wraz z logiką rozmytą, relacyjna baza danych Access oraz sztuczna sieć neuronowa ze wsteczną propagacją błędów. System ten przewidziany jest do wspomagania projektowania wstępnego statku oraz doboru automatyki siłowni, gdzie najczęściej wykorzystuje się projekty wcześniej zbudowanych statków podobnych.

Zakresem systemu, oprócz wspomagania projektowania automatyki, objęto również wspomaganie projektowania statków na etapie wstępnym, w którym określa się główne parametry statku. W sukcesywnie rozbudowywanej bazie danych statków zbudowanych, przewidywany jest etap wstępny wyszukiwania statków podobnych na podstawie parametrów głównych.

Wspomaganie projektowania statku w opracowanym systemie obejmuje:

### Projektowanie wstępne statku:

- Dobór mocy i prędkości obrotowej silnika głównego (SG) - na podstawie wymiarów statku, jego nośności i prędkości, jako parametrów wejściowych, przy zastosowaniu aplikacji bazy danych oraz sieci neuronowej, Opracowany algorytm sieci neuronowej może być stosowany dla dowolnych parametrów - pól bazy danych - jako wejściowych lub wyjściowych.

Uzyskane wyniki dotyczące parametrów napędu głównego (NG) potwierdzają możliwość wykorzystania algorytmu do projektowania automatyki. Wartości parametrów statków o zbyt małym stopniu podobieństwa mogą być weryfikowane przez sieć neuronową.

- Projektowanie NG siłowni - na podstawie podobieństwa wcześniejszych rozwiązań w zakresie NG za pomocą wybranych metod obliczania podobieństwa i szukania statków podobnych przy użyciu aplikacji bazy danych Access oraz systemu ekspertowego Exsys.

Projektowanie automatyki siłowni, które może być realizowane w różnych formach:

- Na podstawie podobieństw częściowych: danych ogólnych, napędu głównego, elektrowni, wybranych instalacji (paliwa i zęzowej) oraz podobieństwa całego statku jako sumy ważonej podobieństw częściowych wyszukiwane są w bazie danych statki podobne. Wyszukiwanie odbywa się za pomocą metod obliczania podobieństwa w aplikacji bazy danych oraz logiki rozmytej, którą zastosowano do obliczania podobieństwa wybranych parametrów statku, a także do podobieństw częściowych obliczonych w bazie danych.
- W przypadku braku rozwiązań podobnych na statkach zbudowanych przewidziano możliwość projektowania samodzielnego przez projektanta przy wykorzystaniu elementów modelu dziedzinowego, który zaprezentowano na przykładzie systemu sprężonego powietrza.
- Optymalizacji wielokryterialnej dla doboru automatyki na podstawie analizy podobieństwa hierarchicznego: całej siłowni, jej systemów oraz obiektów, w przypadku znalezienia wielu statków podobnych lub arbitralnej decyzji projektanta.

Dla realizacji opracowanego systemu dokonano niezbędnej formalizacji zarówno procesów, jak i metod projektowania automatyki siłowni w zakresie:

- klasyfikacji automatyzowanych obiektów oraz systemów statku,
- wyboru podejścia do projektowania automatyki jako systemowo-obiektowego (dobór elementów automatyki dokonywany jest w obrębie systemów, np. paliwa w odniesieniu do obiektów występujących w tych systemach, np. pompy paliwa),
- trybu tworzenia dokumentacji projektowej na etapie projektu: ofertowego, kontraktowego oraz technicznego,
- integracji dotychczasowych autonomicznych projektów automatyki siłowni w jednej wspólnej bazie danych jako bazy przypadków do wykorzystania w przyszłości (dotychczasowe projekty automatyki tworzone były jako niezależne bazy danych),
- opracowania kompleksowej, dotąd nie istniejącej, struktury bazy danych zawierającej zarówno informacje ogólne o statku, jak i szczegółowe dane niezbędne do projektowania automatyki,
- utworzenia modelu dziedzinowego w zakresie projektowania automatyki, niezbędnego w przypadku konieczności samodzielnego wykonania projektu z powodu braku statków podobnych, zaprezentowanego na przykładzie systemu sprężonego powietrza.

Zamieszczone w pracy wyniki testów, z uwagi na rozległość analizowanej tematyki, zostały zaprezentowane jako przykładowe i fragmentaryczne.

Poprawę efektywności projektowania uzyskano wskutek dokonania formalizacji tego procesu, a dalszą przewiduje się w wyniku zastosowania przyjętej metody wyszukiwania statków podobnych w oparciu o sukcesywnie rozbudowywaną bazę przypadków.

Określanie podobieństwa statków umożliwia metodologia wnioskowania na podstawie przypadków, znana jako CBR, która stanowi stosunkowo nowy sposób rozwiązywania problemów baz danych i baz wiedzy. Opis tej metody zawarty został w **rozdziale 1**. Zaprezentowany został koreański system BASCON do projektowania koncepcyjnego statku jako przykład zastosowania CBR w okrętownictwie oraz dokonany został przegląd metod obliczania podobieństwa przypadków.

W rozdziale tym zaprezentowano również istotne elementy dotyczące uczenia sieci neuronowych przeznaczonych dla statków zbudowanych w polskich stocznich. Przedstawiono strukturę użytej sieci oraz algorytm uczenia ze wsteczną propagacją błędów, a także zastosowania sieci neuronowych w projektowaniu statków typu kontenerowce na etapie projektu wstępnego oraz do prognozowania właściwości morskich statku.

W celu znalezienia rozwiązań podobnych, wcześniej zastosowanych na statkach opracowano własny algorytm optymalizacji wielokryterialnej ważonych zysków do wyszukiwania z bazy danych

statków podobnych, który przedstawiono w **rozdziale 2**. Opracowany algorytm zastosowano do wspomagania projektowania wstępnego napędu głównego (NG) oraz automatyki siłowni, gdzie podobieństwo może mieć charakter cząstkowy np. NG, elektrowni oraz poszczególnych instalacji, a suma ważona podobieństw cząstkowych stanowi podobieństwo sumaryczne całego statku. Za pomocą tego algorytmu dokonywany jest dobór metod obliczania podobieństwa prezentowanych w literaturze, zaadaptowanych do projektowania statków oraz własnych metod, dotąd nie stosowanych, opartych na zastosowaniu funkcji: prostokątnej, trapezowej, trójkątnej i Gaussa.

Przy użyciu tych metod przeprowadzona została analiza podobieństwa statków dla doboru mocy silnika głównego (SG) na podstawie wybranych parametrów takich jak: nośność, długość całkowita, szerokość, zanurzenie oraz prędkość. Analiza ta służyć ma porównaniu wybranych metod i dokonaniu wyboru najkorzystniejszej z nich dla wspomagania projektowania statku. W oparciu o uzyskane wyniki wyszukiwane są z bazy danych statki podobne tj. statki o największym ważonym podobieństwie sumarycznym.

Opracowane funkcje obliczania podobieństwa, oprócz doboru mocy SG, zastosowano do wspomagania projektowania wstępnego napędu głównego statku w aplikacji bazy danych oraz systemie ekspertowym. W aplikacji bazy danych obliczane są sumaryczne podobieństwa liczbowe na podstawie mocy i prędkości obrotowej SG. Sumowane one są z podobieństwami tzw. nieliczbowymi lub liczbowymi o małych zakresach wartości, (liczba SG, typ i producent SG oraz liczba śrub) jako wynikowe podobieństwa sumaryczne NG. Na ich podstawie mogą być wyszukiwane statki podobne w aplikacji bazy danych lub po przekazaniu częściowych wyników do systemu ekspertowego w oparciu o podobieństwa rozmyte.

W przypadku niezadawalających wyników w zakresie obliczania podobieństwa w aplikacji bazy danych, jako uzupełniający, przewidziany został algorytm uczenia sieci neuronowej, który na podstawie parametrów wejściowych, takich jak nośność, długość całkowita, szerokość, zanurzenie oraz prędkość statków oblicza moc, a następnie prędkość obrotową SG statku projektowanego. Algorytm ten zaimplementowany został w systemie Access i może być wykorzystany dla wybranej bazy danych i dowolnych jej pól typu liczbowego, a jego przydatność potwierdziła przeprowadzona w tym zakresie analiza.

**Rozdział 3** poświęcony został problematyce projektowania automatyki siłowni. W rozdziale tym scharakteryzowano etapy projektu automatyki (ofertowy, kontraktowy, techniczny, roboczy) wraz z opisem najważniejszych dokumentów projektowych takich jak: opis techniczny, zestawienie aparatury kontrolno-pomiarowej, warunki techniczne i inne. Dla zilustrowania etapów tworzenia dokumentacji projektowej utworzono schemat procesu projektowania automatyki na etapie projektu technicznego. W rozdziale tym określono również zakres wspomagania projektowania automatyki w opracowanym systemie ekspertowym przy użyciu systemu Exsys we współpracy z samodzielnie opracowaną aplikacją relacyjnej bazy danych Access. Aplikacja ta może samodzielnie, w nieco ograniczonym zakresie, wspierać projektowanie automatyki (bez udziału systemu ekspertowego), co zwiększa jej atrakcyjność, zwłaszcza dla użytkowników nie posiadających dość kosztownego oprogramowania systemu ekspertowego Exsys. W rozdziale tym przedstawiono ponadto strukturę bazy danych dla opracowanego systemu wspomagania projektowania automatyki siłowni statku.

W **rozdziale 4** przedstawiono sposób implementacji algorytmu wyszukiwania z bazy danych statków podobnych przy użyciu wybranych metod obliczania podobieństwa w projektowaniu statku dla doboru układów i elementów automatyki siłowni. Nie zawsze jednak udaje się znaleźć statek podobny. W tym celu opracowano algorytm optymalizacji wielokryterialnej dla wyszukania najlepszego rozwiązania w zakresie automatyki siłowni. Zaprezentowano hierarchiczną strukturę tego algorytmu oraz sposób tworzenia podstawowych dokumentów projektowych.

Zaprezentowano również przykłady zastosowań metod obliczania podobieństwa w zakresie projektowania automatyki realizowane przez system ekspertowy oraz aplikację bazy danych. Określono ponadto zakres zastosowania modelu dziedzinowego do projektowania automatyki siłowni, (zaprezentowany na przykładzie systemu sprężonego powietrza), który może służyć zarówno do adaptacji, jak i do samodzielnej realizacji przez projektanta projektu statku podobnego.

**Rozdział 5** zawiera podsumowanie rozprawy.

## **2. ALGORYTMIZACJA METOD OBLICZANIA PODOBIENSTWA STATKÓW DLA WSPOMAGANIA PROJEKTOWANIA WSTĘPNEGO**

W rozdziale tym dokonano przeglądu oraz charakterystyki znanych z literatury i własnych funkcji obliczania podobieństwa, których automatyczny dobór odbywa się za pomocą opracowanego algorytmu wyszukiwania statków podobnych. Zaprezentowano własny algorytm optymalizacji wielokryterialnej ważonych zysków, który zastosowano do wspomagania projektowania wstępnego NG oraz automatyki siłowni.

W p.2.2. przeprowadzono ponadto analizę porównawczą funkcji obliczania podobieństwa statków w aplikacji bazy danych na przykładzie doboru mocy SG na etapie projektu wstępnego. Wynika to z dostępności bazy danych zawierającej informacje umożliwiające przetestowanie opracowanego algorytmu w takim zakresie funkcjonalnym, co pozwoli na późniejsze zastosowanie go (po uzupełnieniu bazy danych układów automatyki) do wspomagania projektowania automatyki siłowni.

Zaprezentowano własny algorytm uczenia sieci neuronowej przewidziany do weryfikacji wyników funkcji podobieństwa statków (w przypadku braku w bazie danych statków podobnych), który przetestowano na przykładzie obliczania mocy oraz prędkości obrotowej SG Omówiono możliwości zastosowania funkcji obliczania podobieństwa statków w aplikacji bazy danych i systemie ekspertowym do wspomagania projektowania napędu głównego.

### **2.1 Podstawy algorytmu obliczania podobieństwa statków do wspomagania projektowania wstępnego i automatyki siłowni**

#### **2.1.1 *Funkcje obliczania podobieństwa statków w aplikacji bazy danych i systemie ekspertowym***

Funkcje podobieństwa stanowią jeden z najważniejszych elementów metody wnioskowania na podstawie przypadków. Prezentowane w literaturze funkcje tego typu (o podobnym przeznaczeniu) dotyczą podobieństwa zbiorów bez analizowania podobieństwa pojedynczych elementów. Funkcje te nie zapewniają tak dużych możliwości manewru dla projektanta w zakresie wyszukiwania statków podobnych, jak proponowane w pracy, funkcje podobieństwa. Fakt, iż mogą one pełnić rolę zbliżoną do logiki rozmytej podnosi ich walory użytkowe z dwóch powodów:

- W aplikacji bazy danych zapewniają realizację operatorów logiki rozmytej,
- Dają możliwość rezygnacji ze stosowania systemu ekspertowego i ograniczenie wspomagania automatyki do wariantu uproszczonego (bez użycia systemu ekspertowego).

W opracowanym systemie dobór funkcji obliczania podobieństwa zależy od zadania projektowego, jak również oczekiwań projektanta. Funkcje te zapewniają dużą elastyczność w określaniu zakresów wartości badanych parametrów wejściowych. Ich dobór powinien wynikać z potrzeby uwzględnienia mniejszej lub większej liczby statków podobnych, np. dla analizy podobieństwa pojedynczych systemów (instalacji). Projektant może dokonać wyboru funkcji lub określona funkcja może być automatycznie zastosowana zarówno na etapie projektowania wstępnego, jak i w procesie doboru elementów automatyki.

Projektant może określić wartości poszczególnych parametrów projektowych, jak również wartości odchyłek procentowych granicznych i standardowych dolnych i górnych, które są przeliczane na wartości rzeczywiste odpowiednich granic i parametrów standardowych. Mogą one być o charakterze symetrycznym, jeśli ich wartości są takie same lub asymetrycznym, jeśli różne. Ustalenie mniejszych lub większych przedziałów wartości parametrów, np. w projektowaniu automatyki statku może być wygodne w sytuacji, gdy projektant przyjmując pewną tolerancję dla parametrów technicznych poszukuje rozwiązań najkorzystniejszych z ekonomicznego punktu widzenia, tj. o najniższej cenie (z ewentualnymi upustami i rabatami) lub o najkrótszym okresie realizacji dostawy.

Opracowany algorytm poszukiwania statków podobnych oparty został na zastosowaniu wprowadzonych funkcji podobieństwa, do których należą:

**Funkcja prostokątna** - w przypadku kiedy zostaną znalezione statki identyczne z projektowanym rozwiązaniem projektowe jednego z nich zostają zaadaptowane do realizowanego projektu. Funkcja ta przedstawiona została na rys. 7a.

Podobieństwo obliczone funkcją prostokątną wyraża się następującą zależnością:

$$S(p_p, p_z) = H(p_z - P_D) - H(p_z - P_G)$$

w której  $H(p_z - P_D), H(p_z - P_G)$  - funkcje skoku jednostkowego Heaviside'a (23)

gdzie:

$$H(p_z - P_D) = \begin{cases} 0 & \text{dla } p_z < P_D \\ 1 & \text{dla } p_z \geq P_D \end{cases} \quad (23')$$

$$H(p_z - P_G) = \begin{cases} 0 & \text{dla } p_z < P_G \\ 1 & \text{dla } p_z \geq P_G \end{cases} \quad (23'')$$

$p_p$  - wartość parametru statku projektowanego,

$p_z$  - bieżąca wartość parametru statku zbudowanego,

$P_D$  - dolna granica wartości parametru  $p_p$ ,

$P_G$  - górna granica wartości parametru  $p_p$ ,

$O_D$  - parametr standardowy dolny,

$O_G$  - parametr standardowy górny,

oraz procentowe wartości odchyłeń tych parametrów:

$\Delta P_D = (p_p - P_D) / p_p * 100\%$  - odchylenie graniczne dolne,

$\Delta P_G = (p_p - P_G) / p_p * 100\%$  - odchylenie graniczne górne,

$\Delta O_D = (p_p - O_D) / p_p * 100\%$  - odchylenie standardowe dolne,

$\Delta O_G = (p_p - O_G) / p_p * 100\%$  - odchylenie standardowe górne.

Jeśli w bazie danych nie ma statków identycznych stosowane są inne funkcje obliczania podobieństwa w kolejności: trapezowa, trójkątna, Gaussa lub z dolną granicą - dla parametrów liczbowych oraz test identyczności (metoda zerojedynkowa) - dla parametrów tekstowych, takich jak: typ silnika głównego, nazwa producenta lub rodzaj śruby napędowej.

### **Funkcja trapezowa**

Dla mniej rygorystycznych wymagań projektowych algorytm można uruchomić przyjmując, jako początkową funkcję podobieństwa, funkcję trapezową, określoną zależnością (24), gdzie  $(P_G - O_G) > (O_D - P_D)$  Podobieństwo w zakresie od  $O_D$  do  $O_G$  przyjmuje się równe 1, a poniżej i powyżej tej granicy jest zmienne liniowo.

Funkcja trapezowa przedstawiona została na rys. 7c. Jej wartości wyliczane są według zależności:

$$S(p_p, p_z) = \begin{cases} 0 & \text{dla } p_z < P_D \\ \frac{p_z - P_D}{O_D - P_D} & \text{dla } P_D \leq p_z \leq O_D \\ 1 & \text{dla } O_D < p_z < O_G \\ \frac{P_G - p_z}{P_G - O_G} & \text{dla } O_G \leq p_z \leq P_G \\ 0 & \text{dla } p_z > P_G \end{cases} \quad (24)$$

### **Funkcja trójkątna**

Przyjmując wartości odchyłeń standardowych równe zero funkcję trapezową można sprowadzić do funkcji trójkątnej symetrycznej lub niesymetrycznej  $(P_G - p_p) > (p_p - P_D)$ , przedstawionej na rys. 7b.

W zależności od tego, czy wartość badanego parametru jest poniżej, czy powyżej wartości projektowanej podobieństwo obliczone przy zastosowaniu funkcji trójkątnej wyraża się następującym wzorem (25):

$$s(p_p, p_z) = \begin{cases} \frac{p_z - P_D}{p_p - P_D} & \text{dla } P_D \leq p_z < p_p \\ \frac{P_G - p_z}{P_G - p_p} & \text{dla } p_p \leq p_z < P_G \\ 0 & \text{dla } p_z < P_D \text{ lub } p_z > P_G \end{cases} \quad (25)$$

Na rysunkach funkcji trapezowej i trójkątnej przyjęto różne wartości odchyleń górnych i dolnych, aby pokazać możliwości wyboru asymetrii tych funkcji.

### Funkcja Gaussa

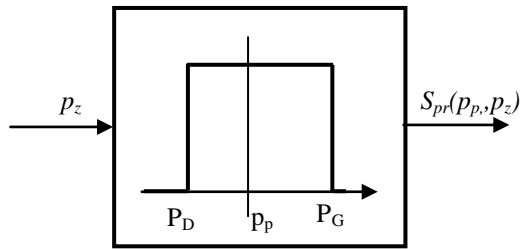
Najszerzy zakres poszukiwań obiektów podobnych daje zastosowanie *funkcji gaussowskiej*, gdzie również wprowadzona została asymetria. Funkcja ta przedstawiona została na rys 7d.

Podobieństwo obliczone funkcją Gaussa wyraża się następującymi zależnościami:

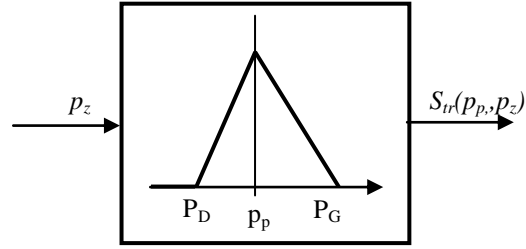
$$s(p_p, p_z) = \begin{cases} \exp\left(-\left(\frac{p_p - p_z}{p_p - O_D}\right)^2\right) & \text{dla } p_z < p_p \\ \exp\left(-\left(\frac{p_z - p_p}{(O_G - p_p)}\right)^2\right) & \text{dla } p_z \geq p_p \end{cases} \quad (26)$$

**Funkcja progowa** – ustalająca minimalną granicę podobieństwa dla danego etapu wyszukiwania. Wartość progu  $Pr$  powinna być większa od zera i mniejsza od jeden (rys. 7f).

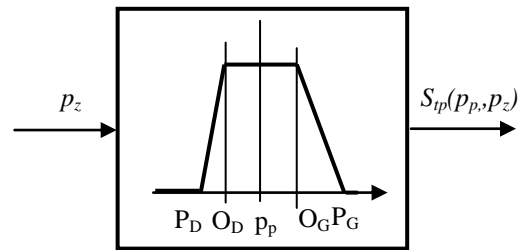
$$H(p_z) = p_z * H(p_z - Pr), \quad \text{gdzie: } 0 < Pr < 1, \quad H(p_z) - \text{funkcja skoku jednostkowego} \quad (27)$$



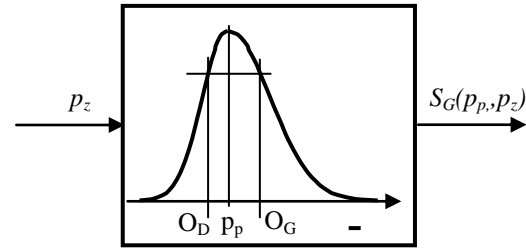
Rys. 7a. Funkcja prostokątna



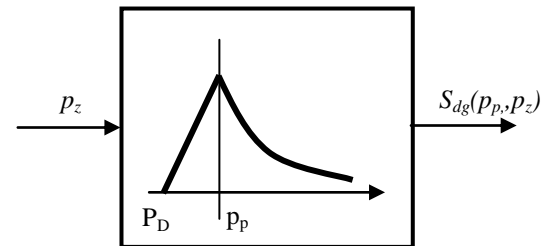
Rys. 7b. Funkcja trójkątna



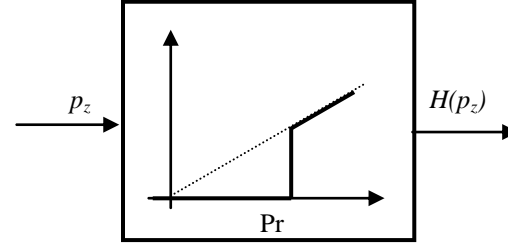
Rys. 7c. Funkcja trapezowa



Rys. 7d. Funkcja gaussowska



Rys. 7e. Funkcja z dolną granicą



Rys. 7f. Funkcja progowa.

**Rys. 7. Funkcje stosowane w algorytmie obliczania podobieństwa statków**



Oprócz własnych funkcji podobieństwa w opracowanym algorytmie zastosowano zaadaptowane z literatury [61] następujące funkcje:

**Funkcja z dolną granicą** zdefiniowana jest zależnością (3) zawartą w p. 1.1.4 (rys. 4e).

**Test identyczności** odniesiony do określonego parametru, który daje w wyniku wartość 0 lub 1 zgodnie z zależnością (2) zawartą w p. 1.1.4.

Inną zaadaptowaną z literatury funkcją obliczania podobieństwa w systemie wspomaganie projektowania wstępnego statku jest logika rozmyta [50, 52, 63].

### **Logika rozmyta**

Niestandardowym rozwiązaniem w zakresie obliczania podobieństwa statków do wspomaganie projektowania automatyki siłowni jest zastosowanie logiki rozmytej. W odróżnieniu od klasycznych systemów ekspertowych systemy rozmyte mają możliwość wyciągania wniosków na podstawie niepewnych, nieprecyzyjnych danych z wykorzystaniem przybliżonych reguł, tj. w sposób charakterystyczny dla człowieka [48]. W opracowanym systemie wykorzystane zostały elementy i pojęcia teorii zbiorów rozmytych do wyznaczania podobieństw statków. Określenie statek podobny jest pojęciem nieprecyzyjnym i wieloznacznym, a więc możliwym do formalnego określenia za pomocą występujących w tej teorii zależności. Zbiór rozmyty  $Z$  w pewnej niepustej przestrzeni  $X$  stanowią pary [63]:

$$Z = \{(x, \mu_Z(x)); x \in X\} \quad (28)$$

gdzie:  $\mu_Z : X \rightarrow [0,1]$

jest funkcją przynależności zbioru rozmytego  $Z$  która każdemu elementowi  $x \in X$  przypisuje stopień przynależności do zbioru rozmytego  $Z$ .

W zakresie projektowania NG przykładowe zbiory rozmyte dla parametru moc SG przedstawiono w p. 2.2.3, gdzie poszczególnym zbiorom rozmytym odpowiadają wartości lingwistyczne, np. moc SG może być: mała, średnia, duża.

Zastosowanie teorii zbiorów rozmytych w odniesieniu do wspomaganie projektowania statków ma na celu ich wstępną klasyfikację, która może odgrywać istotne znaczenie w przypadku bazy danych zawierającej kilka tysięcy statków. W tak dużej bazie danych logika rozmyta jest szczególnie użyteczna z uwagi na duże zakresy funkcji przynależności, co przyczynia się do znacznie bardziej efektywnego przetwarzania informacji w odróżnieniu od innych metod obliczania podobieństwa.

Wytypowane, w wyniku działania logiki rozmytej, statki podobne, mogą zostać poddane dalszej analizie za pomocą metod obliczania podobieństwa w aplikacji bazy danych dla szczegółowego wyszukania statków o największym stopniu podobieństwa.

Uzyskane w p. 2.2.3. wyniki tej metody dotyczące danych napędu głównego potwierdziły praktyczną użyteczność jej zastosowania do wspomaganie projektowania statku na etapie wstępnym.

### **2.1.2 Opis algorytmu wyszukiwania statków podobnych**

Modele do wielokryterialnej oceny rozwiązań projektowych powinny być opisane funkcjami zawierającymi podstawowe parametry projektowe statku.

Przyjmując, że dany jest  $n$ -wymiarowy wektor  $x$  poszukiwanych parametrów:

$$x = [x_1 \ x_2 \ \dots x_n]^T \in R^n, \quad n \in N, \quad (29)$$

który jest oceniany według  $m$ -wymiarowego  $f(x)$  wektora kryteriów (funkcji celów):

$$f(x) = [f_1(x) \ f_2(x) \ \dots f_m(x)]^T \in R^m, \quad m \in N. \quad (30)$$

oraz przyjmując, że współrzędne wektora kryterialnego są funkcjami zysku, wówczas problem optymalizacji wielokryterialnej definiowany może być jako zadanie wielokryterialnej maksymalizacji wektora zysków:

$$\max_x f(x)$$

Problem wyszukiwania statku podobnego można sprowadzić do zadania optymalizacji wielokryterialnej. Z dostępnych metod rozwiązywania zadań optymalizacji wielokryterialnej wykorzystano klasyczną metodę ważonych zysków. W metodzie tej współrzędne wektora zysków – podobieństw częściowych są agregowane w pojedynczą funkcję zysku – podobieństwa sumarycznego za pomocą przekształcenia:

$$pg(is) = w * pcz(is) \quad (31)$$

gdzie:  $pg(is)$  – podobieństwo sumaryczne,

$pcz(is)$  – wektor podobieństw częściowych,

$w$  – unormowany wierszowy wektor wag równy  $[w_1 \ w_2 \dots w_{ip} \dots w_{lp}]$ ,  $w_{ip} \in (0,1)$

oraz  $\sum w_{ip} = 1$ ,

$is$  – identyfikator statku,

$ip$  – indeks parametru statku,

$lp$  – liczba parametrów statku,

$*$  – iloczyn skalarny,

$i$  – wskaźnik parametru bieżącego,

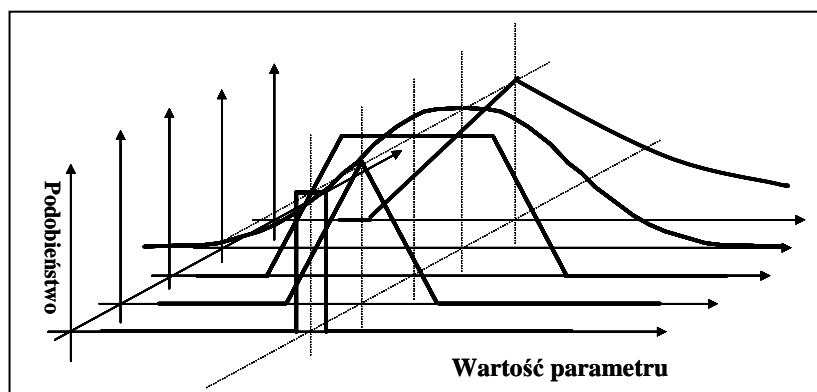
$n$  – liczba parametrów wejściowych.

Proces wyszukiwania statków podobnych rozpoczyna się od ustalenia:

- parametrów (pól bazy danych) statku projektowanego,
- dolnych i górnych wartości granic i parametrów standardowych ( $P_G, P_D, O_G, O_D$ ).

Wyszukiwanie realizowane jest na podstawie parametrów statku jako danych wejściowych dla algorytmu. Liczba tych parametrów jest ograniczona i może zawierać się w granicach od jednego do kilkudziesięciu.

Funkcje podobieństwa przedstawione na rys. 7. przywoływane są w kolejnych etapach algorytmu wyszukiwania statków podobnych w tym samym porządku, jak pokazano na rys. 8.



**Rys. 8.** Funkcje podobieństwa statków w poszczególnych etapach algorytmu ich wyszukiwania

Na rys. 9. przedstawiony został przykładowy schemat blokowy algorytmu wyszukiwania statków podobnych, w którym występują następujące bloki:

- funkcji podobieństwa –prostokątna, trapezowa, trójkątna, gaussońska lub z dolną granicą,
- funkcji progowych – ustalających minimalną granicę podobieństwa dla danego etapu wyszukiwania. Wartość progu powinna być większa od zera i mniejsza od jeden (zał. 27),
- iloczynów do realizacji sumy ważonej  $pg(is) = w * pcz(is)$
- ustawiania parametrów funkcji podobieństwa: rodzaju funkcji  $S(x)$ , odchylenia standardowego górnego ( $O_G$ )i dolnego ( $O_D$ ), odchylenia granicznego dolnego ( $P_D$ ), górnego ( $P_G$ ),
- ustawienia progów  $Pr[ip]$  i kontroli wyjść. W przypadku, gdy którykolwiek z parametrów ma podobieństwo poniżej założonego progu - statek jest pomijany,
- ustalania wektora w wag parametrów.

Pomiędzy wartościami podobieństw cząstkowych, a blokiem ustalania wartości progowych zastosowano sprzężenie zwrotne w celu ograniczenia liczby znalezionych przypadków (statków) podobnych o zbyt małym podobieństwie.

Poszukiwanie statku podobnego odbywa się w następujących etapach:

1. Za pomocą prostokątnej funkcji podobieństwa wyszukiwane są statki identyczne z projektowanym. Jeśli zbiór statków podobnych jest pusty realizowany jest p. 2.
2. W przypadku braku statków identycznych uruchamiany jest proces wyszukiwania statków podobnych przy użyciu trójkątnej funkcji podobieństwa z obniżonymi wartościami progów funkcji progowych. Wynikiem poszukiwania może być: pusty zbiór statków podobnych (wówczas realizowany jest p. 3) lub zawierający od jednego do wielu statków.
3. W przypadku braku statków podobnych realizowane jest wyszukiwanie w oparciu o trapezową funkcję podobieństwa. Jeśli znaleziono wiele statków podobnych następuje podniesienie wartości progów funkcji progowych i dokonywane jest ponowne poszukiwanie tak, aby liczbę wyszukanych statków ograniczyć do co najwyżej kilku.
4. W przypadku braku statków podobnych do dalszych obliczeń przyjmowana jest Gaussowska funkcja podobieństwa, a jeśli i ona nie da rezultatu realizowany jest p. 5.
5. Zastosowana zostaje funkcja podobieństwa z dolną granicą. Charakterystyczną cechą tej funkcji jest fakt, że w poszukiwaniach statków podobnych uwzględnia ona szerszy zakres wartości parametrów statku powyżej wartości projektowej.

Wymienione powyżej etapy poszukiwania uruchamiane są automatycznie, jednakże w każdym z nich dopuszczalna jest ingerencja projektanta.

Sieć działań algorytmu wyszukiwania statków podobnych przedstawiona została na rys. 10.

### ***2.1.3 Zastosowanie algorytmu wyszukiwania statków podobnych w systemie wspomagania projektowania wstępnego siłowni***

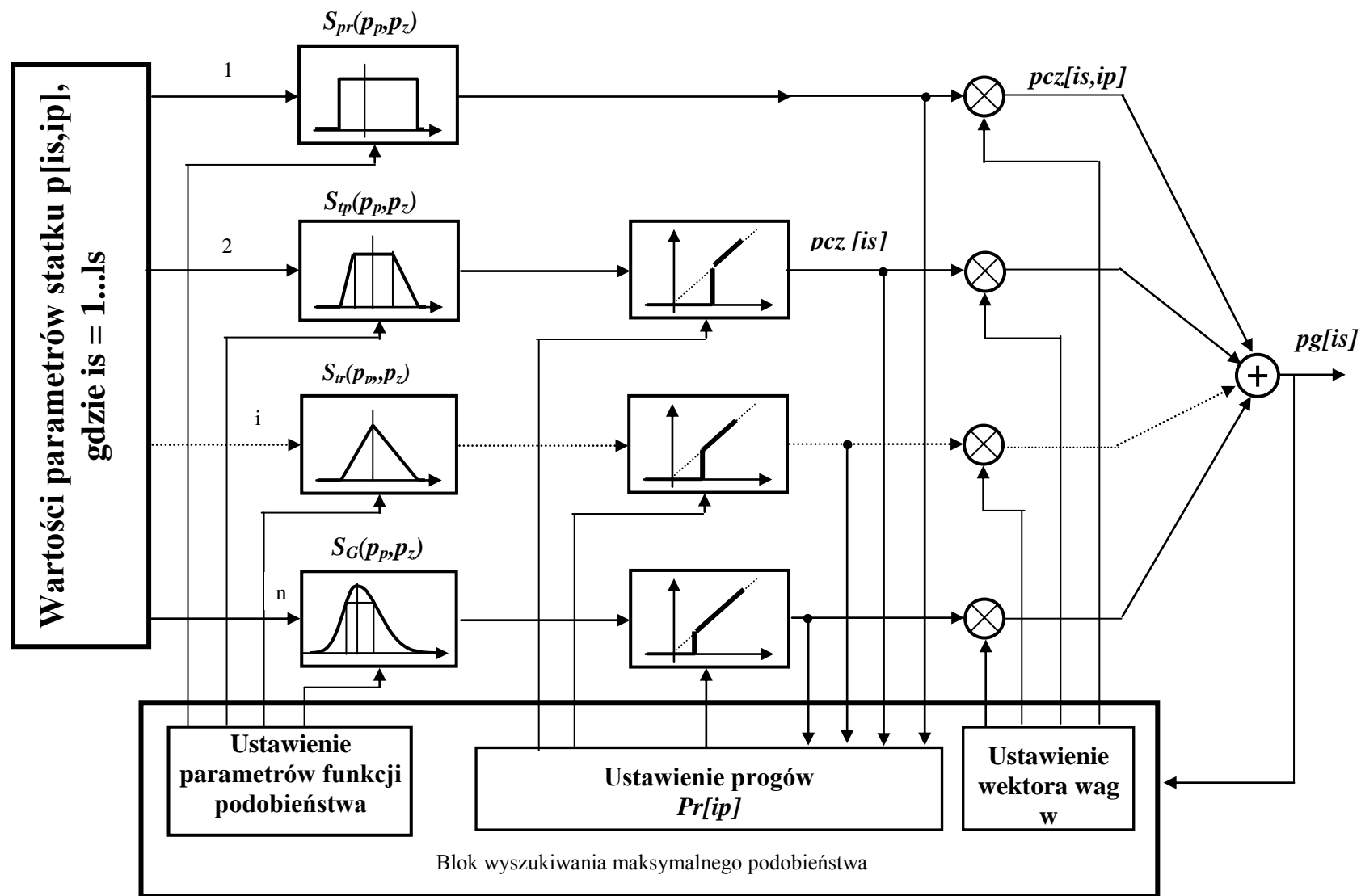
Opracowany algorytm wyszukiwania statków podobnych zaimplementowany został w hybrydowym systemie wspomagania projektowania wstępnego siłowni dla doboru automatyki z zastosowaniem wybranych narzędzi sztucznej inteligencji.

Systemy hybrydowe stanowiące nową kategorię narzędzi sztucznej inteligencji mają na celu połączenie możliwości każdego z zastosowanych narzędzi do rozwiązania określonych problemów [41]. W najprostszym przypadku system hybrydowy jest połączeniem klasycznej techniki systemów ekspertowych z sieciami neuronowymi, co znalazło zastosowanie w opracowanym systemie wspomagania projektowania.

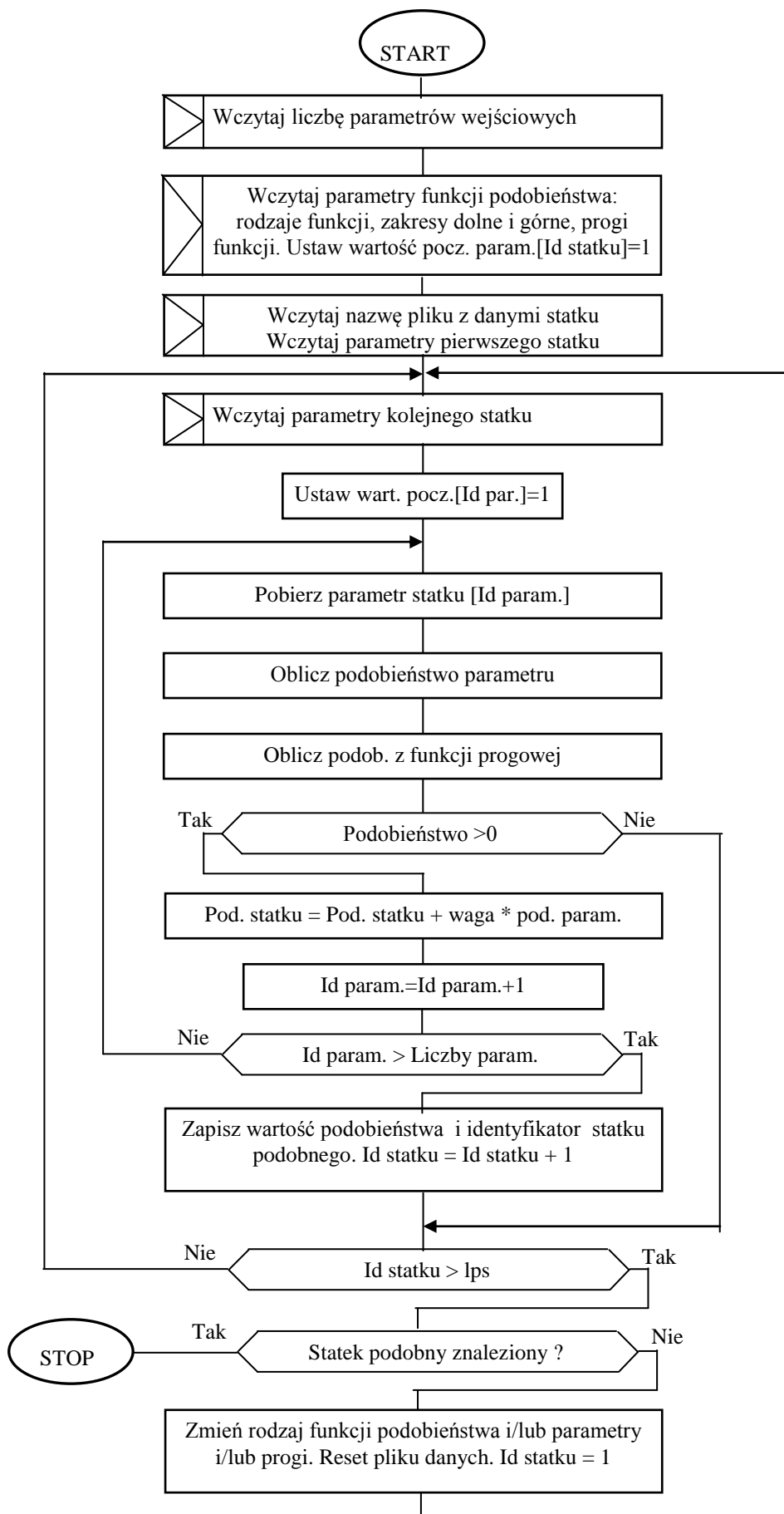
System ten oparty został na metodologii CBR z wykorzystaniem wybranych narzędzi sztucznej inteligencji, takich jak: system ekspertowy Exsys Developer [58] wraz z logiką rozmytą [50, 52, 63], relacyjna baza danych Access [7, 54] oraz sztuczna sieć neuronowa ze wsteczną propagacją błędów [16, 17, 52, 57, 62]. Przewidziany jest do wspomagania projektowania wstępnego statku dla doboru automatyki siłowni, gdzie najczęściej wykorzystuje się projekty wcześniej zbudowanych statków podobnych [46].

W tym celu opracowano algorytm wyszukiwania statków podobnych na podstawie funkcji podobieństwa: wprowadzonych (prostokątna, trapezowa, trójkątna, Gaussa) i zaadaptowanych z literatury (z dolną granicą, test identyczności oraz logika rozmyta). Do wyszukiwania statków podobnych zastosowano metodę optymalizacji wielokryterialnej [3, 17] ważonych zysków [15]. Opracowany algorytm zaprezentowano na przykładzie wspomagania projektowania automatyki siłowni.

Podobieństwo statków obliczone w aplikacji bazy danych przekazywane jest do systemu Exsys w postaci tabelarycznej. Wraz z podobieństwami cząstkowymi i sumarycznym z bazy danych przekazywane są wartości wybranych parametrów, na podstawie których system ekspertowy oblicza podobieństwa rozmyte i wyszukuje statki podobne. Podobieństwa te mogą być też obliczane w aplikacji bazy danych, bez udziału systemu ekspertowego, obniżając znacznie koszty eksploatacji opracowanego systemu wspomagania projektowania.



Rys. 9. Schemat blokowy algorytmu wyszukiwania statków podobnych



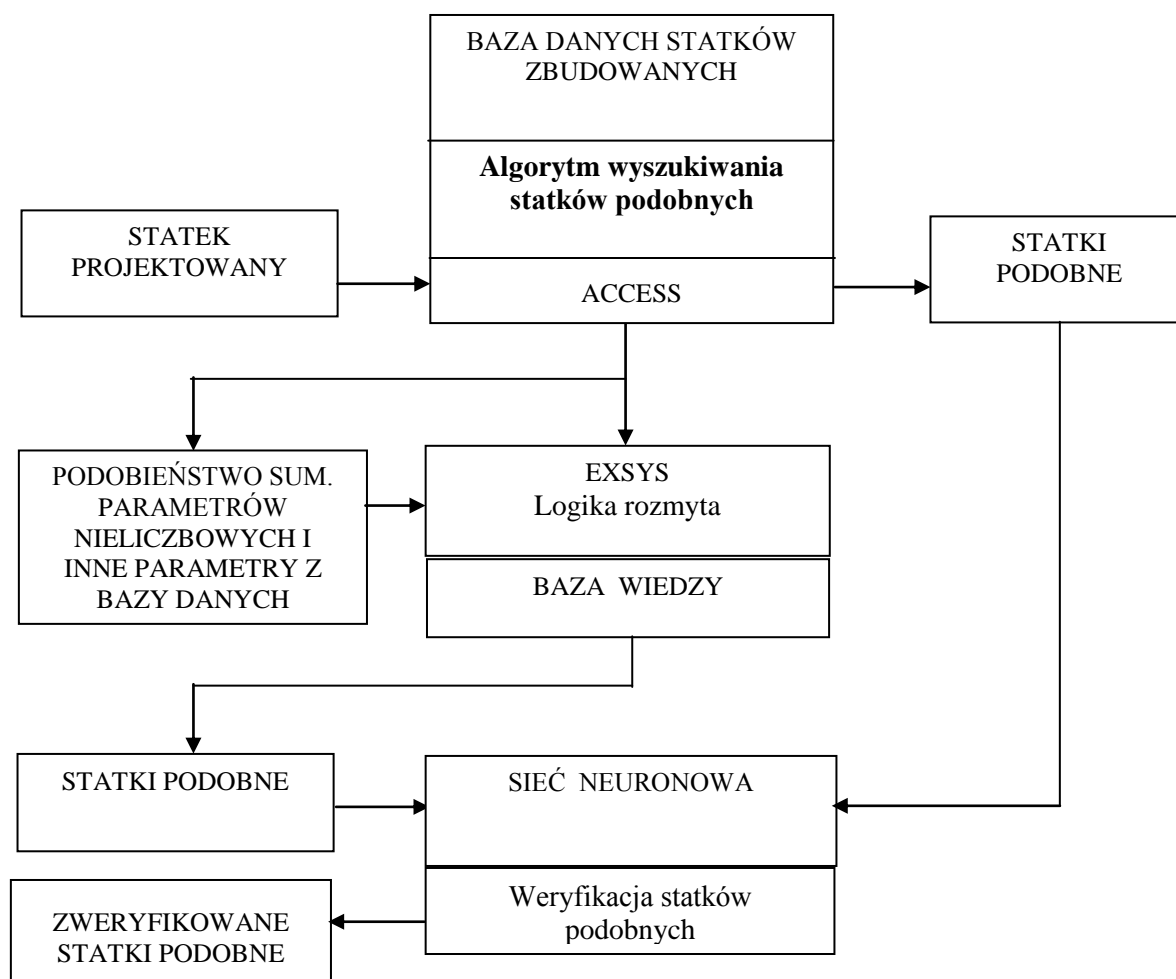
Rys. 10. Sieć działań algorytmu wyszukiwania statków podobnych

Statki podobne wyszukiwane są z bazy danych statków zbudowanych dla najważniejszych ich parametrów, od których zależy projekt automatyki siłowni. Projekt ten jest tworzony automatycznie i obejmuje:

- opis techniczny,
- zestawienie aparatury kontrolno-pomiarowej,
- schematy blokowo-funkcyjne systemów statków zbudowanych,
- pozostałe dokumenty (wtórne) projektu, takie jak: warunki techniczne na urządzenia automatyki, kalkulacja kosztów, zestawienie materiałowe.

Jednym z najważniejszych elementów projektu automatyki jest opis techniczny, który może powstać w oparciu o bazę wiedzy i model dziedziny uzupełniany wymaganymi odpowiedziami projektanta na pytania systemu ekspertowego. Dane do opisu technicznego z systemu Exsys przekazywane są do tabeli opisów technicznych statków zbudowanych w bazie danych.

Zastosowanie mechanizmów sztucznej inteligencji w dalszej analizie algorytmu wyszukiwania statków podobnych ograniczone zostało do przykładu wspomaganie projektowania NG jako elementu częściowego całego systemu, którego struktura przedstawiona została na rys. 11.



**Rys. 11. Schemat systemu wspomagania projektowania statku na podstawie podobieństwa**

Możliwe są dwa warianty wykorzystania tego systemu:

- wyszukanie statku podobnego przez aplikację bazy danych z ewentualną weryfikacją jego projektu przy zastosowaniu sieci neuronowej,
- wytypowanie statku podobnego przez system ekspertowy we współpracy z aplikacją bazy danych i weryfikacją uzyskanych wyników przez sieć neuronową.

W obu wariantach uzyskane wyniki są weryfikowane przez sieć neuronową za pomocą algorytmu wstecznej propagacji błędów. Sieć neuronowa wyuczona na podstawie danych projektowych statków zbudowanych przechowywanych w bazie danych służy do zweryfikowania projektu w przypadku tworzenia go na podstawie projektów cząstkowych pochodzących z różnych statków ( np. dane dotyczące napędu ze statku BXXX, a elektrowni - BYYY).

Baza wiedzy systemu dotyczy wybranych elementów projektu automatyki, które realizowane są przez system ekspertowy w oparciu o model dziedzinowy (bez wykorzystania informacji o statkach zbudowanych). W oparciu o model dziedzinowy może być dokonywana również adaptacja projektu, która ma miejsce wówczas, gdy w bazie danych nie znaleziono statku wystarczająco podobnego lub znaleziony statek wykazuje stosunkowo małe podobieństwo sumaryczne i projektant rezygnuje z dopasowywania istniejącego projektu na rzecz projektowania samodzielnego w oparciu o bazę wiedzy.

Podstawową funkcją opracowanego systemu jest wyszukiwanie z bazy danych statków podobnych, których liczba może być mocno zróżnicowana i wahać się od jednego nawet do kilkudziesięciu statków. Liczba ta wynika z zastosowanej funkcji podobieństwa, jak również rozmiaru i zawartości bazy danych oraz przyjętych parametrów projektowych, takich jak zakresy i progi funkcji podobieństwa.

Parametry te są określane przez projektanta przed rozpoczęciem procesu wyszukiwania statków podobnych. W następnej kolejności wymagane jest wprowadzenie nazwy pliku bazy danych wraz z danymi statku projektowanego. Wówczas rozpoczyna się proces obliczania podobieństwa poszczególnych parametrów, m.in. mocy i prędkości obrotowej SG, a następnie podobieństwa z funkcji progowej. Podobieństwo wynikowe parametru uzyskiwane jest jako podobieństwo ważone tego parametru. Proces obliczania podobieństw ważonych poszczególnych parametrów zostaje zakończony po uwzględnieniu wszystkich wprowadzonych parametrów statku, a ich suma ważona stanowi podobieństwo cząstkowe, np. napędu głównego. Suma podobieństw cząstkowych stanowi sumaryczne podobieństwo ważone całego statku, na podstawie którego wyszukiwane zostają statki podobne. Proces ten może być uruchamiany przez projektanta w dowolnym czasie i dowolnym zakresie za pomocą odpowiednich przycisków znajdujących się w formularzu stanowiącym menu obliczania podobieństwa NG statku przedstawionym na rys. 12.

**Rys. 12. Menu obliczania podobieństwa statków na przykładzie systemu sterowania NG**

Podobieństwo cząstkowe NG wyliczane jest na podstawie podobieństwa pól liczbowych SG oraz nieliczbowych tworząc podobieństwo kompleksowe NG. Na tym etapie tworzona jest tabela z danymi zarówno źródłowymi, jak i wyliczonymi podobieństwami w aplikacji bazy danych dla systemu Exsys (przycisk Dla Exsys), na podstawie których obliczane są podobieństwa rozmyte.

Przycisk NG stat zbud umożliwia dostęp do danych dotyczących NG statków zbudowanych, a przycisk Parametry projektowe mocy i prędkości obrotowej SG – do przyjętych parametrów projektowych, takich jak zakresy i progi funkcji. Przyciskiem Automatyka Siłowni można uzyskać informacje szczegółowe na temat elementów i układów automatyki zastosowanych na znalezionym statku podobnym. Projekt automatyki tego statku może zostać przyjęty bez żadnych zmian lub podlegać weryfikacji zgodnie z wymaganiami projektanta automatyki. Weryfikacja może być dokonywana w obrębie całych systemów (instalacji) lub dotyczyć pojedynczych obiektów dowolnego systemu. Daje to możliwość, zwłaszcza w odniesieniu do schematów blokowo-funkcyjnych, uzyskania dostępu zarówno do obiektów automatyzowanych systemów, jak i połączeń między nimi.

## **2.2 Zastosowanie wybranych metod sztucznej inteligencji w projektowaniu wstępnym napędu głównego statku**

### **2.2.1 Analiza porównawcza metod obliczania podobieństwa statków dla doboru mocy silnika głównego w aplikacji bazy danych**

Opracowane metody obliczania podobieństwa statków w aplikacji bazy danych: z funkcją trapezową, Gaussa, trójkątną oraz z dolną granicą do wspomaganie projektowania wstępnego statku w pierwszym etapie zastosowano dla doboru mocy silnika głównego na podstawie parametrów wejściowych: nośności, długości całkowitej, szerokości, zanurzenia oraz prędkości statku. Oceny skuteczności i prawidłowości tych metod dokonano poprzez ich analizę porównawczą na etapie projektu wstępnego statku.

Obliczenia przeprowadzono na wybranych parametrach 167 statków polskich różnych typów. Fragment bazy danych tych statków przedstawiono w tabeli 1.

**Tabela 1 . Przykładowy fragment bazy danych statków różnych typów**

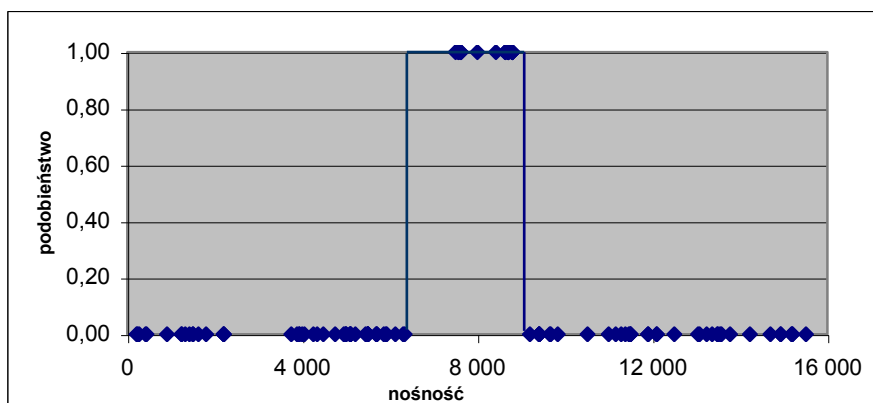
Lp.	DWT [t]	LOA [m]	B [m]	D [m]	V [w]	Moc SG [kW]
2	15300	148.9	23	8.5	14	6800
4	15300	148.9	23	8.5	14	6800
6	7200	169.9	28	12.3	20.5	8600
8	41600	206.5	30	11.5	14.3	11330
9	41450	205	30	11.48	14.6	8338
10	16500	149	23	8.5	18	7230
11	550	60.21	10.5	3.15	11	1200
12	210	30.25	10.2	4.72	5	600
13	1480	90.63	15.02	5.4	15	3600
15	1564	88.88	15.22	5.4	16	3600
17	18500	141.35	22.5	9.47	13	6650
18	2209	102.6	17.07	5.7	16.5	5200

Jako parametry wejściowe algorytmu określania podobieństwa przyjęto następujący zbiór cech:

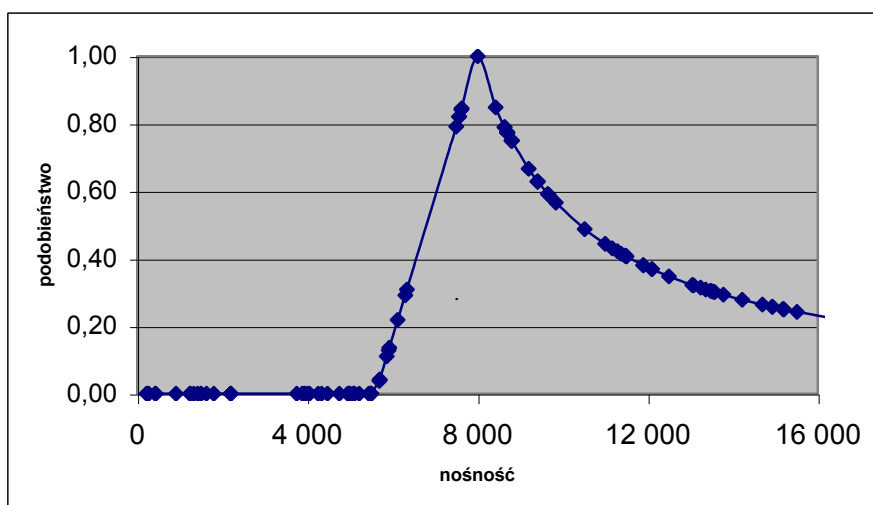
- nośność (DWT),
- długość całkowitą (LOA),
- szerokość (B),
- zanurzenie (D),
- prędkość (V).

Dla przykładowej wartości parametru nośność statku równej 8000 t kształt poszczególnych funkcji podobieństwa omówionych w Rozdziale 1 i 2 statków zbudowanych w polskich stocznich przedstawia się następująco (rys. 13 - 17):

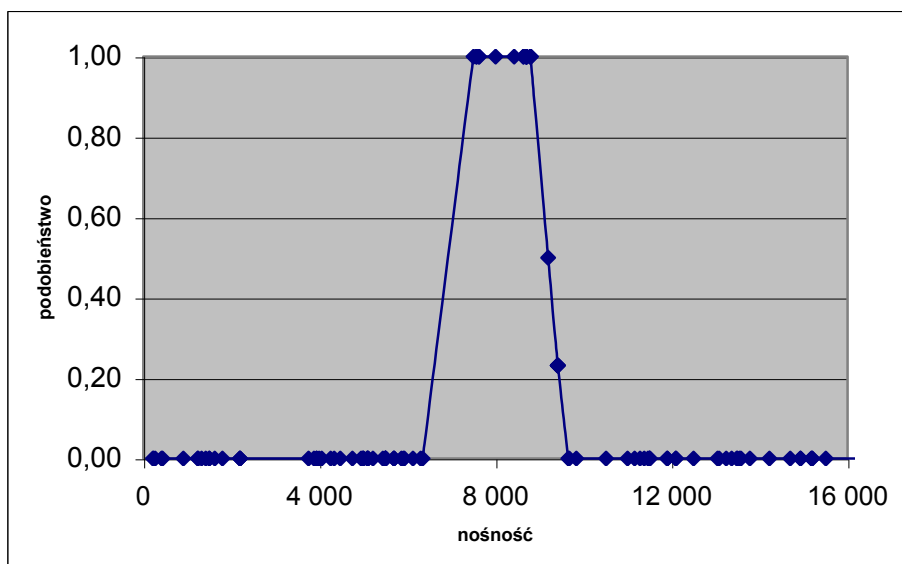




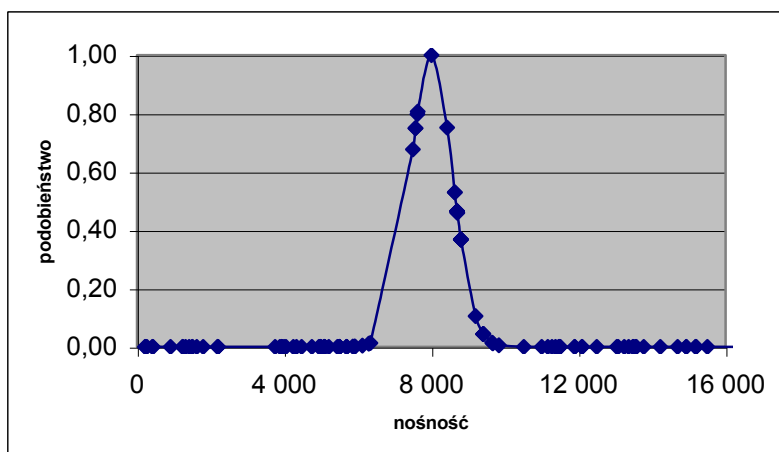
Rys. 13. Podobieństwo nośności statku przy zastosowaniu funkcji prostokątnej



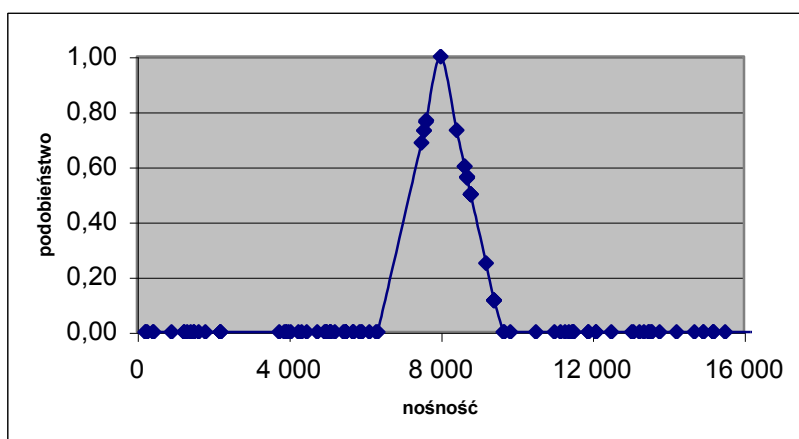
Rys. 14. Podobieństwo nośności statku przy zastosowaniu funkcji z dolną granicą



Rys. 15. Podobieństwo nośności statku przy zastosowaniu funkcji trapezowej



**Rys. 16. Podobieństwo nośności statku przy zastosowaniu funkcji Gaussa**



**Rys. 17. Podobieństwo nośności statku przy zastosowaniu funkcji trójkątnej**

Ze względów praktycznych przyjęto, iż w algorytmie wyszukiwania statków najbardziej podobnych do projektowanego podawane będą procentowe wartości odchyleń parametrów wejściowych oraz wartość  $p_p$  zestawionych w tabeli 2.

Dla uzyskania rzeczywistych wartości parametrów występujących w zał. (14 – 17) korzysta się z poniższych wzorów:

$$P_D = p_p - \frac{p_p * \Delta P_D}{100} \quad (32)$$

$$O_D = p_p - \frac{p_p * \Delta O_D}{100} \quad (33)$$

$$P_G = p_p + \frac{p_p * \Delta P_G}{100} \quad (34)$$

$$O_G = p_p + \frac{p_p * \Delta O_G}{100} \quad (35)$$

**Tabela 2. Wartości parametrów wejściowych oraz procentowe wartości odchyłeń granicznych i standardowych**

parametr	$p_p$	$\Delta P_D \%$	$\Delta O_D \%$	$\Delta P_G \%$	$\Delta O_G \%$
B	25,3	20	5	20	5
D	10,7	20	5	20	5
DWT	33780	20	5	20	5
LOA	195	20	5	20	5
V	15	20	5	20	5

Korzystając z zależności (32-35) obliczane są rzeczywiste wartości granic ( $P_D$ ,  $P_G$ ) oraz parametrów standardowych ( $O_D$ ,  $O_G$ ) zawarte w tabeli 3:

**Tabela 3. Rzeczywiste wartości granic i parametrów standardowych**

parametr	$p_p$	$P_D$	$O_D$	$P_G$	$O_G$
B	25,3	20,24	24,03	30,36	26,56
D	10,7	8,56	10,16	12,84	11,23
DWT	33780	27 024,00	32 091,00	40 536,00	35 469,00
LOA	195	156,00	185,25	234,00	204,75
V	15	12,00	14,25	18,00	15,75

W przypadku użycia każdej funkcji obliczane są podobieństwa ważone parametrów wejściowych oraz sumaryczne podobieństwo ważne. Statki o największym stopniu sumarycznego podobieństwa ważonego wyszukiwane są jako statki podobne.

Zastosowane klasyczne metody optymalizacji wielokryterialnej charakteryzują się arbitralnym doбором wag, co daje projektantowi możliwość przyjmowania dowolnych wartości tych współczynników, jak również ograniczeń górnych i dolnych oraz wartości progowych funkcji - na podstawie posiadanego doświadczenia.

Dla poszczególnych parametrów, na podstawie preferencji eksperta - projektanta, przyjęte zostały następujące wagi (tabela 4),.

**Tabela 4. Wagi parametrów wejściowych**

waga DWT	waga LOA	waga B	waga D	waga V
0,4	0,2	0,1	0,1	0,2

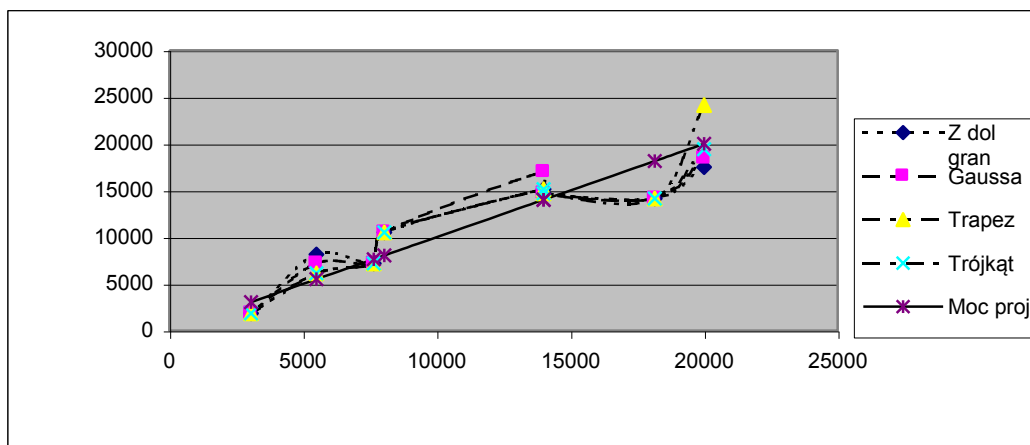
Dla zadanych wartości parametrów projektowych z bazy danych statków zbudowanych (różnych typów) w polskich stocznich wyszukane zostały statki podobne tj. statki o największym podobieństwie sumarycznym.

W tabeli 5 umieszczono wartości mocy projektowanej SG oraz wyszukane z bazy danych wartości mocy SG statków najbardziej podobnych według poszczególnych funkcji obliczania podobieństwa.

**Tabela 5. Wartości mocy silnika głównego statków podobnych uzyskane przy użyciu różnych funkcji podobieństwa**

Moc SG statku projektowanego	Moc SG statku podobnego wg funkcji. z dolną granicą	Moc SG statku podobnego wg funkcji Gaussa	Moc SG statku podobnego wg funkcji trapezowej	Moc SG statku podobnego wg funkcji trójkątnej
3057	1835	1835	1835	1835
5500	8152	7178	6120	6120
7650	7200	7200	7200	7200
8043	10500	10500	10500	10500
14000	14698	14698	14698	14698
18160	15120	17000	15120	15120
20000	17510	18459	24160	19410

Porównanie uzyskanych wyników dotyczących wartości mocy SG statków o największym podobieństwie (według poszczególnych funkcji) zawartych w tabeli 5 przedstawiono na wykresie poniżej (rys. 18):



**Rys. 18. Graficzne porównanie mocy SG statków podobnych według poszczególnych funkcji obliczania podobieństwa**

Analizę podobieństwa przeprowadzono na podstawie statków różnych typów, zbudowanych w polskich stoczniach. Uzyskane w jej wyniku wartości mocy SG statków podobnych różnią się znacząco, w pewnych przypadkach, od mocy projektowanej. Może to być konsekwencją nie uwzględnienia wszystkich parametrów projektowych istotnych dla doboru mocy SG lub wynikać z przyjętego zakresu prezentowanego przykładu.

Na podstawie uzyskanych wartości mocy SG statków podobnych dla mocy projektowanej, zawartych w tabeli 5, można stwierdzić, iż najlepsze wyniki uzyskano z zastosowania funkcji trójkątnej, następnie Gaussa, a w jednym przypadku trapezowej.

### **2.2.2 Zastosowanie funkcji obliczania podobieństwa statków w aplikacji bazy danych i systemie ekspertowym do wspomagania projektowania siłowni**

Opracowane funkcje obliczania podobieństwa, oprócz doboru mocy SG, zastosowano do wspomagania projektowania wstępnego napędu głównego statku w aplikacji bazy danych oraz systemie ekspertowym. W aplikacji bazy danych obliczane są sumaryczne podobieństwa liczbowe na podstawie mocy i prędkości obrotowej SG. Sumowane one są z podobieństwami tzw. nieliczbowymi dając w wyniku podobieństwo sumaryczne NG. Jako parametry nieliczbowe uwzględniono liczbę SG, typ i producenta SG oraz liczbę śrub. Liczba SG i liczba śrub mają charakter liczbowy, ale z uwagi na mały zakres wartości tych parametrów potraktowane zostały podobnie, jak parametry tekstowe. Do nich zastosowano test identyczności obliczania podobieństwa.

Oprócz funkcji obliczania podobieństwa NG w bazie danych zastosowano metodę logiki rozmytej w systemie ekspertowym Exsys. Metodę tę zastosowano do obliczania podobieństwa parametrów statku projektowanego i takich samych parametrów poszczególnych statków zbudowanych, a także do podobieństw innych parametrów o charakterze nieliczbowym przekazywanych z bazy danych.

Ocenę opracowanych funkcji obliczania podobieństwa napędu głównego statków przeprowadzono na podstawie danych dotyczących wybranych parametrów NG 144 statków, których przykładowe wartości wraz z danymi dotyczącymi wymiarów i prędkości oraz nośności statków zawarte są w tabeli 6, a wartości wag oraz parametrów projektowych - w tabeli 7 i 8.

**Tabela 6. Dane wybranych parametrów NG w bazie danych**

Nr statku	DWT	LOA	B	D	V	Prod SG	Typ SG	Moc	Prędk obr	Licz SG	Licz śrub
6	33640	195,3	25,3	10,6	15	SULZER	6RTA58	12960	127	1	1
78	33580	198,7	25,3	10,7	15	SULZER	6RTA58	12960	127	1	1
63	33750	195	25,3	10,7	15	SULZER	6RLB66	13050	124	1	1
87	33767	195	25,3	10,7	15	SULZER	6RLB66	13050	124	1	1
94	33742	195	25,3	10,7	15	SULZER	6RLB66	13050	124	1	1
65	33725	195,2	25,3	10,7	15	SULZER	6RLB66	13050	124	1	1
80	61013	225	32,2	12,4	15	B & W	6L67GFCA	13100	123	1	1
68	60969	225	32,2	12,4	15	B & W	6L67GFCA	13100	123	1	1
75	1127	118,7	18,5	5	22	WERKSPOOR	4.6TM410	13200	525	4	2
95	1133	126,8	19,54	5,15	18	SEMT-	16PC2V	13440	450	2	4
113	52000	218,9	30,5	12,1	16	B & W	8K74EF	13600	120	1	1
28	37764	201,3	27,8	11,2	15	B & W	874VT2BF160	13700	115	1	1
29	37844	201,3	27,8	11,8	15	B & W	874VT2BF160	13700	115	1	1
25	37844	201,3	27,8	11,8	15	B & W	874VT2BF160	13700	115	1	1
33	64484	224	31,8	13,3	15	SULZER	7RND76	14000	122	1	1
34	64337	224	31,8	13,3	15	SULZER	7RND76	14000	122	1	1
10	71277	232,4	32,2	13,8	15	SULZER	7RND76	14000	122	1	1
112	52020	218,9	30,5	12,1	15	B & W	7K74EF	14600	134	1	1
115	52020	218,9	30,5	12,1	15	B & W	7K74EF	14600	134	1	1
83	7250	169,9	28	6,21	17	STORK-	6SW38	15840	600	4	2
38	8700	137,5	23	7,4	19	SULZER	12ZV40/48	17200	530	2	2
104	1757	127,5	19,5	5,42	19	SULZER	4.6ZL40/48	17400	530	4	2
84	1856	127,5	19,5	5,42	19	SULZER	4.6ZL40/48	17400	530	4	2
109	11812	161	22,9	9,7	22	SULZER	6RND90	17400	122	1	1
18	11812	161	22,9	9,7	22	SULZER	6RND90	17400	122	1	1
124	14137	166,5	23,4	10	21	B & W	8K84EF	18160	110	1	1
60	14078	166,5	23,4	10	21	B & W	8K84EF	18160	110	1	1
41	14137	166,5	23,4	10	21	B & W	8K84EF	18160	110	1	1

W tabeli 7 umieszczone zostały wartości wszystkich parametrów NG statku projektowanego.

**Tabela 7. Wartości parametrów projektowych NG**

Statek	Liczba SG	Typ SG	Prod SG	Moc SG	Prędk obr SG	Liczba śrub nap
BXXX	1	6RTA76	SULZER	16500	110	1

Zaproponowane w p. 2.1.1. własne funkcje obliczania podobieństwa przetestowano na dwu parametrach liczbowych tj. mocy oraz prędkości obrotowej SG. Analizę przeprowadzono na przykładowych (1-3) wartościach odchylen granicznych i standardowych tych parametrów oraz przykładowych wartościach wag, w których przyjęto:

Przykład 1. Symetryczne wartości odchylen granicznych i standardowych parametrów liczbowych (moc i prędkość obrotowa SG),

Przykład 2. Większa wartość zarówno górnego odchylenia granicznego, jak i górnego odchylenia standardowego obu parametrów,

Przykład 3. Symetryczne wartości odchylen granicznych i standardowych jednego parametru (mocy SG), mniejsze wartości dolnych odchylen: granicznego i standardowego niż górnych drugiego parametru (prędkości obrotowej SG).

Wartości odchylen granicznych, standardowych oraz wag mają charakter przykładowy i zostały przyjęte w wyniku arbitralnej decyzji projektanta na podstawie posiadanego przez niego

doświadczenia i praktyki nabytej w biurze projektowym stoczni. Jednakże opracowany algorytm obliczania podobieństwa statków ma charakter uniwersalny i może być zastosowany dla dowolnych wartości parametrów projektowych.

#### Przykład 1.

W pierwszej grupie testów przyjęto następujące wartości wag (tabela 8):

**Tabela 8. Wartości wag parametrów NG (wariant 1)**

w Moc	w predk obr	w ISG	w tSG	w lśrub	w prodSG
0,3	0,2	0,2	0,1	0,1	0,1

oraz odchyłeń granicznych i standardowych – tabela 9

**Tabela 9. Wartości odchyłeń granicznych i standardowych parametrów projektowych NG**

parametr	$P_p$	$\Delta P_D$ %	$\Delta O_D$ %	$\Delta P_G$ %	$\Delta O_G$ %
Moc	16500	20	10	20	10
Obroty	110	20	10	20	10

Podobieństwa sumaryczne mocy i prędkości obrotowej SG, jako podobieństwa liczbowe, obliczone w aplikacji bazy danych (zal. 20) według poszczególnych funkcji dla przyjętych wartości wag, odchyłeń granicznych i odchyłeń standardowych zamieszczono w tabeli 10.

**Tabela 10. Podobieństwa sumaryczne parametrów liczbowych NG**

Statek	Moc	Prędk obr	Pod NG z dol gr	Pod NG trapez	Pod NG Gaussa	Pod NG trójkątne
124	18 160,00	110,00	0,47	0,50	0,31	0,35
41	18 160,00	110,00	0,47	0,50	0,31	0,35
60	18 160,00	110,00	0,47	0,50	0,31	0,35
18	17 400,00	122,00	0,46	0,48	0,28	0,31
109	17 400,00	122,00	0,46	0,48	0,28	0,31

Podobieństwa kompleksowe NG jako suma podobieństw parametrów liczbowych i nieliczbowych (obliczonych metodą testu identyczności) przedstawiono w tabeli 11.

**Tabela 11. Podobieństwa kompleksowe NG**

Statek	Pod nieliczbowe NG	Pod z dol gran	Pod trapez	Pod Gaussa	Pod trójk
60	0,30	0,77	0,80	0,61	0,65
41	0,30	0,77	0,80	0,61	0,65
124	0,30	0,77	0,80	0,61	0,65
109	0,30	0,76	0,78	0,58	0,61
18	0,30	0,76	0,78	0,58	0,61

W dalszej części przedstawione zostaną wyniki uzyskane dla innych przykładowych wartości wag parametrów projektowych NG, które umieszczone są w tabeli 12:

**Tabela 12. Wartości wag w wariantie 2**

w Moc	w prędk obr	w ISG	w tSG	w lśrub	w prodSG
0,2	0,1	0,3	0,2	0,1	0,1

Uzyskane wartości podobieństw parametrów liczbowych NG w wariantie 2 zawarto w tabeli 13.

**Tabela 13. Podobieństwa sumaryczne parametrów liczbowych według poszczególnych funkcji**

Statek	Moc	Prędk obr	Pod NG z dol gr	Pod NG trapez	Pod NG Gaussa	Pod NG trójkątne
124	18 160,00	110,00	0,28	0,30	0,17	0,20
41	18 160,00	110,00	0,28	0,30	0,17	0,20
60	18 160,00	110,00	0,28	0,30	0,17	0,20
18	17 400,00	122,00	0,28	0,29	0,18	0,19
109	17 400,00	122,00	0,28	0,29	0,18	0,19

Wartości podobieństw kompleksowych na podstawie wszystkich parametrów NG (liczbowych i nieliczbowych) przedstawiają się następująco (tabela 14):

**Tabela 14. Podobieństwa sumaryczne parametrów liczbowych i nieliczbowych NG**

Statek	Pod nieliczbowe NG	Pod z dol gran	Pod trapez	Pod Gaussa	Pod trójk
60	0,40	0,68	0,70	0,57	0,60
41	0,40	0,68	0,70	0,57	0,60
124	0,40	0,68	0,70	0,57	0,60
109	0,40	0,68	0,69	0,58	0,59
18	0,40	0,68	0,69	0,58	0,59

#### Przykład 2.

Zaprezentowane w tym przykładzie wyniki uzyskano dla przykładowych wartości odchyleń granicznych i standardowych przedstawionych w tabeli 15.

**Tabela 15. Wartości odchyleń granicznych i standardowych w Przykładzie 2**

parametr	Pp	$\Delta PD$ %	$\Delta OD$ %	$\Delta PG$ %	$\Delta OG$ %
Moc	16500	15	5	25	15
Obroty	110	15	5	25	15

Dla przykładowych wartości wag przyjętych w wariancie 1 uzyskano następujące wartości sumarycznych podobieństw parametrów liczbowych (tabela 16):

**Tabela 16. Podobieństwa sumaryczne parametrów liczbowych NG statków podobnych**

Statek	Moc	Prędk obr	Pod NG z dol gr	Pod NG trapez	Pod NG Gaussa	Pod NG trójkątne
41	18 160,00	110,00	0,47	0,50	0,39	0,38
124	18 160,00	110,00	0,47	0,50	0,39	0,38
60	18 160,00	110,00	0,47	0,50	0,39	0,38
109	17 400,00	122,00	0,46	0,50	0,38	0,35
18	17 400,00	122,00	0,46	0,50	0,38	0,35

oraz odpowiednich podobieństw kompleksowych przedstawionych w tabeli 17.

**Tabela 17. Podobieństwa kompleksowe NG**

Statek	Pod niel NG	Pod z dol gran	Pod trapez	Pod Gaussa	Pod trójk
18	0,30	0,76	0,80	0,68	0,80
60	0,30	0,77	0,80	0,69	0,80
124	0,30	0,77	0,80	0,69	0,80
109	0,30	0,76	0,80	0,68	0,80
41	0,30	0,77	0,80	0,69	0,80

Dla przykładowych wartości wag przyjętych w wariancie 2 uzyskano wartości parametrów liczbowych umieszczone w tabeli 18:

**Tabela 18. Podobieństwa sumaryczne parametrów liczbowych NG**

Statek	Moc	Prędk obr	Pod NG z dol gr	Pod NG trapez	Pod NG Gaussa	Pod NG trójkątne
41	18 160,00	110,00	0,28	0,30	0,23	0,22
124	18 160,00	110,00	0,28	0,30	0,23	0,22
60	18 160,00	110,00	0,28	0,30	0,23	0,22
109	17 400,00	122,00	0,28	0,30	0,23	0,21
18	17 400,00	122,00	0,28	0,30	0,23	0,21

oraz odpowiednich wartości podobieństw kompleksowych (tabela 19):

**Tabela 19. Podobieństwa kompleksowe NG**

Statek	Pod niel NG	Pod z dol gran	Pod trapez	Pod Gaussa	Pod trójk
18	0,40	0,68	0,70	0,63	0,61
60	0,40	0,68	0,70	0,63	0,62
124	0,40	0,68	0,70	0,63	0,62
109	0,40	0,68	0,70	0,63	0,61
41	0,40	0,68	0,70	0,63	0,62

### Przykład 3.

W tym przykładzie przyjęte zostały przykładowe wartości odchyłeń granicznych i standardowych zawarte w tabeli 20.

**Tabela 20. Wartości odchyłeń granicznych i standardowych parametrów**

parametr	P <sub>p</sub>	P <sub>D</sub> %	O <sub>D</sub> %	P <sub>G</sub> %	O <sub>G</sub> %
Moc	16500	10	5	10	5
Obroty	110	5	2,5	10	5

Dla tych wartości odchyłeń oraz wartości wag przyjętych w wariancie 1 uzyskano następujące wyniki zaprezentowane w tabeli 21.

**Tabela 21. Obliczone wartości podobieństwa według funkcji trapezowej i Gaussa**

Statek	Moc	Prędk obr	Pod NG z dol gr	Pod NG trapez	Pod NG Gaussa
109	17 400,00	122,00	0,46	0,27	0,09
18	17 400,00	122,00	0,46	0,27	0,09
38	17 200,00	530,00	0,32	0,30	0,15
84	17 400,00	530,00	0,32	0,27	0,09
104	17 400,00	530,00	0,32	0,27	0,09
83	15 840,00	600,00	0,32	0,30	0,16

W przypadku zastosowania funkcji trójkątnej, jako podobne, wytypowane zostały inne statki, aniżeli w przypadku pozostałych funkcji

Największe podobieństwo według funkcji trójkątnej wykazały statki wytypowane w tabeli 22.



**Tabela 22. Podobieństwo parametrów liczbowych NG według metody trójkątnej**

Statek	Moc	Prędk obr	Pod trójk sum
124	18 160,00	110,00	0,20
60	18 160,00	110,00	0,20
41	18 160,00	110,00	0,20
83	15 840,00	600,00	0,18
38	17 200,00	530,00	0,17

Dla przykładowych wartości wag przyjętych w wariancie 2 obliczone podobieństwa zostały zawarte w tabeli 23.

**Tabela 23. Podobieństwa parametrów liczbowych NG**

Statek	Moc	Prędk obr	Pod NG z dol gr	Pod NG trapez	Pod NG Gaussa	Pod NG trójkątne
109	17 400,00	122,00	0,28	0,18	0,06	0,09
18	17 400,00	122,00	0,28	0,18	0,06	0,09
38	17 200,00	530,00	0,21	0,20	0,10	0,12
83	15 840,00	600,00	0,21	0,20	0,11	0,12
84	17 400,00	530,00	0,21	0,18	0,06	0,09
104	17 400,00	530,00	0,21	0,18	0,06	0,09

a podobieństwa kompleksowe – w tabeli 24.

**Tabela 24. Podobieństwa kompleksowe parametrów NG:**

Statek	Pod niel NG	Pod z dol gran	Pod trapez	Pod Gaussa	Pod trójk
109	0,40	0,68	0,58	0,46	0,49
18	0,40	0,68	0,58	0,46	0,49
41	0,40	0,68	0,50	0,50	0,50
60	0,40	0,68	0,50	0,50	0,50
124	0,40	0,68	0,50	0,50	0,50
29	0,40	0,66	0,50	0,44	0,45
25	0,40	0,66	0,50	0,44	0,45
28	0,40	0,66	0,50	0,44	0,45
38	0,00	0,21	0,20	0,10	0,12
83	0,00	0,21	0,20	0,11	0,12
84	0,00	0,21	0,18	0,06	0,09
104	0,00	0,21	0,18	0,06	0,09

W pewnych przypadkach zdarza się, że zostanie znalezionych wiele statków o takich samych lub bardzo bliskich podobieństwach. Dla parametrów projektowych: mocy równej 11000 kW oraz prędkości obrotowej 120 rpm najwyższą wartość podobieństwa spośród rozważanych wariantów wykazuje wiele statków. Podobieństwa te według poszczególnych funkcji przedstawiono w tabeli 25.

**Tabela 25. Statki o najbardziej podobnym NG (moc i prędk obr SG) według poszczególnych funkcji**

Statek	Moc	Prędk obr	Pod NG z dol granicą	Pod NG trapezowe	Pod NG Gaussa	Pod NG trójkątne
93	10 800,00	119,00	0,49	0,50	0,49	0,46
117	10 800,00	119,00	0,49	0,50	0,49	0,46
114	10 800,00	119,00	0,49	0,50	0,49	0,46
27	10 800,00	122,00	0,49	0,50	0,48	0,46
71	10 800,00	118,00	0,49	0,50	0,48	0,46
89	11 100,00	124,00	0,49	0,50	0,48	0,45
8	11 100,00	124,00	0,49	0,50	0,48	0,45

Na podstawie zaprezentowanych przykładów można sformułować szczegółowe wnioski, które są następujące:

W przykładzie 1 przyjęto symetryczne wartości odchyłeń granicznych i standardowych parametrów liczbowych (moc i prędkość obrotowa SG). Zwiększenie wartości wag wybranych parametrów nieliczbowych (ilość i typ SG) z jednoczesnym zmniejszeniem wartości wag parametrów liczbowych spowodowało:

- zwiększenie wartości podobieństwa sumarycznego parametrów nieliczbowych,
- znaczne zmniejszenie wartości podobieństwa sumarycznego parametrów liczbowych oraz zmniejszenie wartości podobieństwa kompleksowego najbardziej w przypadku metody trapezowej, a najmniej – metody Gaussa. Wyszukane zostały te same statki podobne.

W przykładzie 2 przyjęcie większych wartości górnego odchylenia granicznego i standardowego oraz mniejszych odchyłeń dolnych obu parametrów (mocy i prędkości obrotowej) spowodowało dość znaczny spadek wartości podobieństwa w przypadku wszystkich analizowanych metod obliczania podobieństwa, jednak największy w przypadku metody trójkątnej, a najmniejszy – Gaussa. Nie spowodowało to zmiany w wyszukiwaniu statków; wyszukiwane zostały te same statki podobne.

W przykładzie 3, w którym przyjęto symetryczne wartości odchyłeń granicznych i standardowych jednego parametru (mocy SG) oraz mniejszych wartości dolnych odchyłeń: granicznego i standardowego niż górnych drugiego parametru (prędkości obrotowej SG) spowodowało:

- zmniejszenie wartości podobieństwa w jednakowym stopniu w przypadku funkcji trapezowej i trójkątnej
- największy spadek wartości podobieństwa w przypadku funkcji Gaussa
- nie spowodowało zmiany wartości podobieństwa w przypadku funkcji z dolną granicą.

Wyszukanych zostało więcej statków podobnych, niż w przykładzie 1 i 2.

Zaprezentowane powyżej przykłady ilustrują elastyczność systemu w procesie wyszukiwania statków podobnych. Poprzez dobór wag projektant może wyszukać statki posiadające jedną, ściśle określoną cechę lub niektóre cechy uwypuklić. Poprzez korektę odchyłeń standardowych i granicznych można uzyskać zwiększoną lub zmniejszoną tolerancję uzyskanych wyników. Wybór funkcji podobieństwa pozwala na ocenę podobieństwa w wybranym zakresie a także uzyskanie rozkładów liczebności statków.

Oprócz funkcji obliczania podobieństwa NG w bazie danych zastosowano metodę logiki rozmytej w systemie ekspertowym Exsys. Metodę tę zastosowano do parametrów statku projektowanego i takich samych parametrów poszczególnych statków zbudowanych, a także do podobieństw sumarycznych parametrów o charakterze nieliczbowym obliczonych metodą testu identyczności przekazywanych z aplikacji bazy danych.

W zakresie napędu głównego określanie podobieństwa statków za pomocą logiki rozmytej bazuje na trzech następujących parametrach liczbowych:

- wartości mocy silnika głównego statku projektowanego i statku zbudowanego (oznaczonej przez  $R_m$ ),
- wartości prędkości obrotowej SG statku projektowanego i statku zbudowanego ( $R_o$ ),
- podobieństwie nieliczbowym napędu głównego statku zbudowanego ( $P_n$ ).

Obliczanie podobieństw rozmytych w systemie Exsys dokonywane jest w dwu etapach:

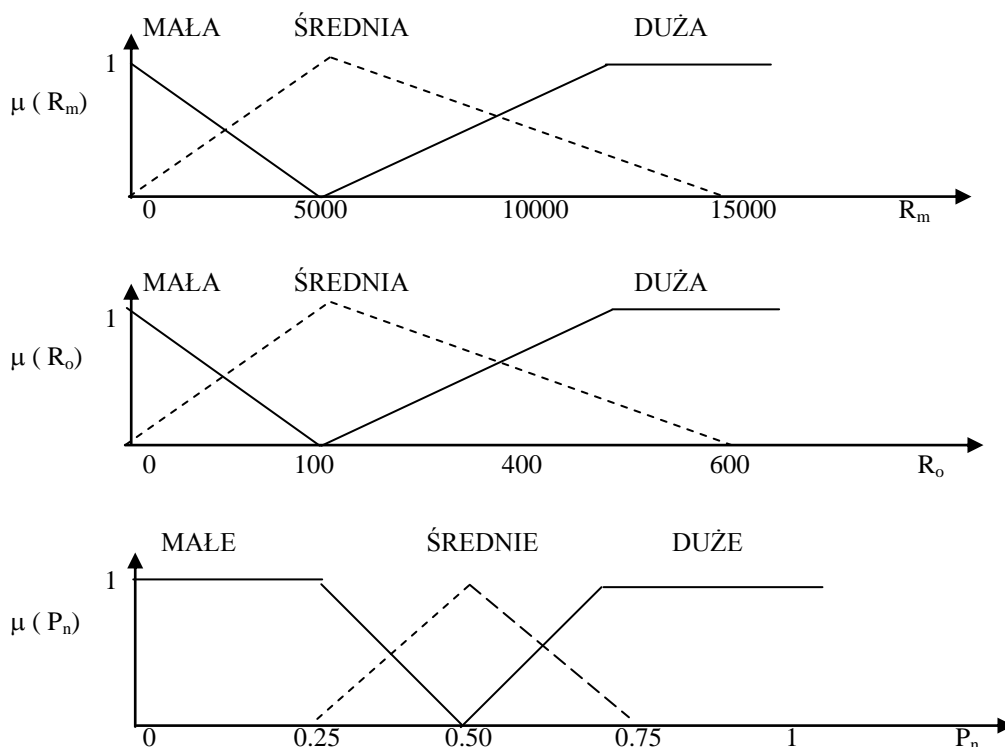
- na podstawie wartości mocy NG i prędkości obrotowej SG obliczane jest rozmyte podobieństwo liczbowe NG ( $P_l$ ).
- na podstawie rozmytego podobieństwa liczbowego NG ( $P_l$ ) oraz rozmytego podobieństwa nieliczbowego NG ( $P_n$ ) obliczane jest wynikowe rozmyte podobieństwo NG ( $P_w$ ).

W oparciu o maksymalne rozmyte podobieństwo wynikowe wyszukiwane są statki podobne do projektowanego.

Do realizacji procesu rozmywania wartości tych parametrów zastosowano funkcje przynależności  $\mu$  przedstawione na rys. 19, gdzie:

$\mu$  - wartość funkcji przynależności (membership) do określenia zbioru rozmytego

Przyjęte nazwy zbiorów rozmytych w dalszych rozważaniach traktowane są jako wartości lingwistyczne przypisane pytaniom w systemie Exsys. Pytania te służą do realizacji procesu wnioskowania.



**Rys. 19. Funkcje przynależności dla parametrów napędu głównego**

Przykładowe zależności przyjęte w regułach systemu ekspertowego w obydwu etapach przedstawiono w tabelach 26 i 27.

**Tabela 26. Rozmyte podobieństwo liczbowe NG**

MAŁA			ŚREDNIA			DUŻA		
MAŁA	ŚREDNIA	DUŻA	MAŁA	ŚREDNIA	DUŻA	MAŁA	ŚREDNIA	DUŻA
DUŻE	DUŻE	ŚREDNIE	DUŻE	ŚREDNIE	MAŁE	ŚREDNIE	MAŁE	MAŁE

**Tabela 27. Rozmyte podobieństwo wynikowe NG**

DUŻE			ŚREDNIE			MAŁE		
MAŁE	ŚREDNIE	DUŻE	MAŁE	ŚREDNIE	DUŻE	MAŁE	ŚREDNIE	DUŻE
ŚREDNIE	DUŻE	DUŻE	MAŁE	ŚREDNIE	DUŻE	MAŁE	MAŁE	ŚREDNIE

Przykładowe reguły dla obliczania podobieństwa liczbowego przedstawiają się następująco:

Dla etapu pierwszego:

Jeżeli  $R_m$  jest MAŁA i  $R_o$  jest MAŁA to  $P_1$  jest DUŻE,

Jeżeli  $R_m$  jest MAŁA i  $R_o$  jest DUŻA to  $P_1$  jest ŚREDNIE,

Dla etapu drugiego:

Jeżeli  $P_1$  jest DUŻE i  $P_n$  jest MAŁE to  $P_w$  jest ŚREDNIE,

Jeżeli  $P_1$  jest DUŻE i  $P_n$  jest ŚREDNIE to  $P_w$  jest DUŻE.

System Exsys traktuje stopnie przynależności jako tzw. współczynniki pewności (ang. confidence values). Wnioskowanie na podstawie 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 wyostrzanie, w wyniku którego otrzymuje się jedną określoną wartość zmiennej liczbowej. Przykładowo, dla omawianej grupy parametrów napędu głównego, wyostrzanie realizowane jest według następującej zależności:

$$Z = w_1c_1 + w_2c_2 + w_3c_3, \quad (36)$$

gdzie:

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

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

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

Zastosowanie logiki rozmytej przeanalizowano na kilku przykładach (P1-P5) [tab. 28] danych projektowych mocy i prędkości obrotowej SG, a wyniki (ważone) w zakresie obliczania podobieństwa i wytypowania statków podobnych przez system Exsys przedstawiono w tabeli 28. W przypadku występowania w bazie danych wielu statków o takiej samej wartości podobieństwa w tabeli umieszczono pierwszy znaleziony statek podobny.

**Tabela 28. Wyniki podobieństwa NG uzyskane w systemie Exsys**

Przykład	Moc projektowana	Prędk obr SG projektowana	Liczba statków podobnych	Maksymalna wartość ważona podobieństwa w Exsys	Moc statku podobnego	Prędk obr statku podobnego
P <sub>1</sub>	16200	107	3	0,6286	18160	110
P <sub>2</sub>	11400	110	20	0,6286	10800	118
P <sub>3</sub>	6600	150	1	0,8	6650	154
P <sub>4</sub>	11000	120	38	0,6286	13050	124
P <sub>5</sub>	17000	500	3	0,45	17400	530

W niektórych przykładach znaleziony został jeden (P3) lub trzy (P1, P5) statki o maksymalnym ważonym podobieństwie sumarycznym, ale bywa też, że liczba statków o takiej samej wartości podobieństwa jest bardzo duża np. w P4 – 38, a w P2 – 20.

Dla przykładu P2 przeanalizowano wyniki dotyczące maksymalnych podobieństw statków obliczonych w systemie Exsys przy użyciu logiki rozmytej oraz obliczonych za pomocą poszczególnych funkcji w aplikacji bazy danych przy zastosowaniu przykładowych (różnych) wartości odchyłeń. Wyniki dla trzech różnych wariantów odchyłeń granicznych i standardowych, odpowiednio: [20,10], [40,20], [40,30] przedstawiono w tabeli 29.

**Tabela 29. Liczba statków o największej wartości podobieństwa według poszczególnych funkcji w aplikacji bazy danych**

		Funkcja trapezowa		Funkcja Gaussa		Funkcja trójkątna		Funkcja z dolną granicą		Exsys Logika rozmyta	
		Licz. stat o max. podob.	Wart. podob. waż.	Licz. stat. o max. podob.	Wart. podob. waż.	Licz. stat. o max. podob.	Wart. podob. waż.	Licz. stat. o max. podob.	Wart. podob. waż.	Licz. stat. o max. podob.	Wart. podob. waż.
$\Delta P_D$ i $\Delta P_G$ %	$\Delta O_D$ i $\Delta O_G$ %	10	0,50	2	0,36	3	0,37	3	0,48	20	0,63
		33	0,50	3	0,46	5	0,43				
		54	0,50	6	0,48						

W przypadku funkcji z dolną granicą oraz logiki rozmytej we wszystkich trzech wariantach występują takie same wartości dotyczące liczby statków oraz maksymalnej wartości podobieństwa. Dla funkcji prostokątnej wartości odchyłeń są nieistotne.

Dla funkcji trójkątnej istotna jest tylko wartość odchyień granicznych, ponieważ z definicji wartość odchyień standardowych równa jest zero.

Dla funkcji Gaussa wzrost wartości odchyień granicznych i standardowych powoduje wyszukanie większej liczby statków podobnych.

W przypadku funkcji trapezowej wraz ze wzrostem wartości odchyień granicznych (dolnego i górnego) oraz odchyień standardowych rośnie liczba statków najbardziej podobnych, których maksymalna wartość podobieństwa nie ulega zmianie i dla analizowanego przypadku wynosi 0.50. Funkcja trapezowa w tym zakresie jest zbliżona do logiki rozmytej.

W przykładzie P2 znalezionych zostało przez system Exsys 20 statków z maksymalną sumaryczną wartością podobieństwa mocy oraz prędkości obrotowej SG. Odpowiednie wartości tych parametrów wybranych 10 statków podobnych (pozostałe 10 statków należy do tych samych serii) przedstawiono w tabeli 30.

**Tabela 30. Wartości parametrów mocy i prędkości obrotowej SG statków podobnych dla przykładu P2**

Nr statku	Moc statków podobnych	Prędkość obrotowa statków podobnych
71	10800	118
61	11520	123
8	11100	124
5	10869	102
29	13700	115
27	10800	122
114, 117	10800	119
88,138	10500	119

Liczba statków podobnych znalezionych metodą logiki rozmytej jest w pewnych przypadkach bardzo duża, np. w przykładzie P4 metodą logiki rozmytej znalezionych zostało aż 38 statków o maksymalnej wartości podobieństwa. Tak duża liczba statków podobnych wynika z przyjętych funkcji przynależności, których pewne zakresy mogą dotyczyć dużej liczby statków znajdujących się w bazie danych, podczas gdy inne będą ograniczone do zaledwie jednego lub kilku statków. Zależne to jest od zawartości bazy danych - typów statków w niej przechowywanych. Najczęściej w wyniku stosowania logiki rozmytej znajdowanych będzie wiele statków o najwyższej wartości podobieństwa do statku projektowanego. Metoda ta może zatem być stosowana do wstępnej klasyfikacji statków w pierwszym etapie ich wyszukiwania. Obniżenie zbyt dużej liczby wyszukiwanych statków może zapewnić umieszczenie w bazie danych lub ograniczenie wyszukiwania do statków tego samego typu, np. wyłącznie kontenerowców [10].

### **2.2.3 Wykorzystanie sieci neuronowej do obliczania podobieństwa napędu głównego**

#### **statku**

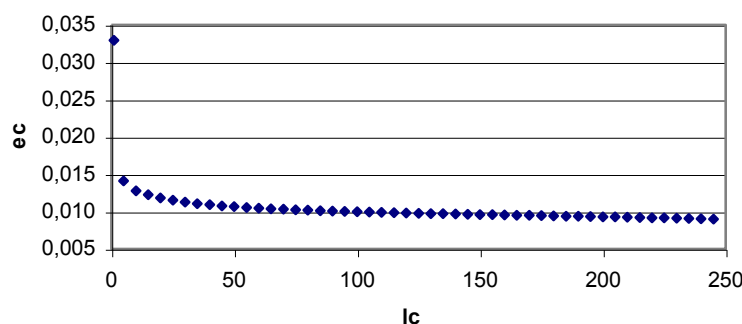
Podobieństwo statków w zakresie NG obliczone w aplikacji bazy danych oraz systemie ekspertowym może być również obliczane za pomocą sieci neuronowej ze wsteczną propagacją błędów, która zaimplementowana została w języku Visual Basic i może być zastosowana dla dowolnej liczby parametrów wejściowych i wyjściowych w postaci pól tabeli bazy danych Access [7]. W zastosowaniach sieci neuronowych wymagane jest posiadanie możliwie licznej liczby zbioru uczącego. Przedstawione poniżej wyniki badań bazują na zbiorze 222 statków zbudowanych w polskich stocznich. W przeprowadzonych badaniach poszukiwano zależności mocy, a następnie prędkości obrotowej silnika głównego od parametrów wejściowych takich jak: nośność, długość i szerokość statku, jego zanurzenie oraz prędkość.

W obliczeniach zastosowano sieć dwuwarstwową z ciągłą unipolarną funkcją aktywacji i klasyczny algorytm propagacji wstecznej błędów zmiany wag. Zbiór statków podzielono na dwa podzbiory: uczący i testujący. Do zbioru testującego wylosowano 25% statków. Jako fragment zbioru uczącego wykorzystano dane z tabeli 1 (p. 2.2.1). Statki o brakujących liczbach porządkowych w

kolumnie Lp. zostały zaliczone do zbioru testującego. Wszystkie parametry statków przed rozpoczęciem obliczeń zostały znormalizowane do wartości z zakresu [0,1].

W tym przypadku jeden cykl obliczeniowy składał się z wprowadzenia na wejście sieci kolejno parametrów wszystkich statków ze zbioru uczącego. Zakończenie uczenia sieci następowało wtedy, gdy średni błąd kwadratowy w cyklu  $ec$  przyjmował wartość mniejszą od zadanej. Błąd ten dotyczył różnicy pomiędzy rzeczywistą mocą SG a mocą wyliczoną przez sieć dla tego samego statku.

Zbieżność procesu uczenia wyrażoną zależnością  $ec$  od liczby cykli obliczeniowych  $lc$  (zal. (6)) przedstawiono na rys. 20. Dane te uzyskano dla sieci o następujących cechach: pięć wejść (DWT, LOA, B, D, V), 25 neuronów w warstwie ukrytej, jeden neuron wyjściowy, współczynnik uczenia  $\eta_l = 0,5$ , parametr funkcji aktywacji  $\beta = 1,5$ .



**Rys. 20. Zbieżność procesu uczenia sieci neuronowej**

Po zakończeniu uczenia sieci na zbiorze uczącym statków, przeprowadzono obliczenia (z uzyskanymi wagami sieci) wykorzystując parametry statków ze zbioru testującego. Porównanie otrzymanych, w tych obliczeniach, mocy z mocami rzeczywistymi (w szerszym zakresie, aniżeli zaprezentowany w tabeli 1) przedstawiono na rys. 21.

W obliczeniach testujących określono także średni błąd względny w procentach wyrażony wzorem:

$$e = \sum_{i=1}^n \frac{|M_{ri} - M_{oi}|}{M_{ri} n} 100 \quad (37)$$

gdzie:  $M_r$  i  $M_o$  odpowiednio moc rzeczywista i moc obliczona przez sieć,  $n$  – liczba statków,  $i$  – numer statku.

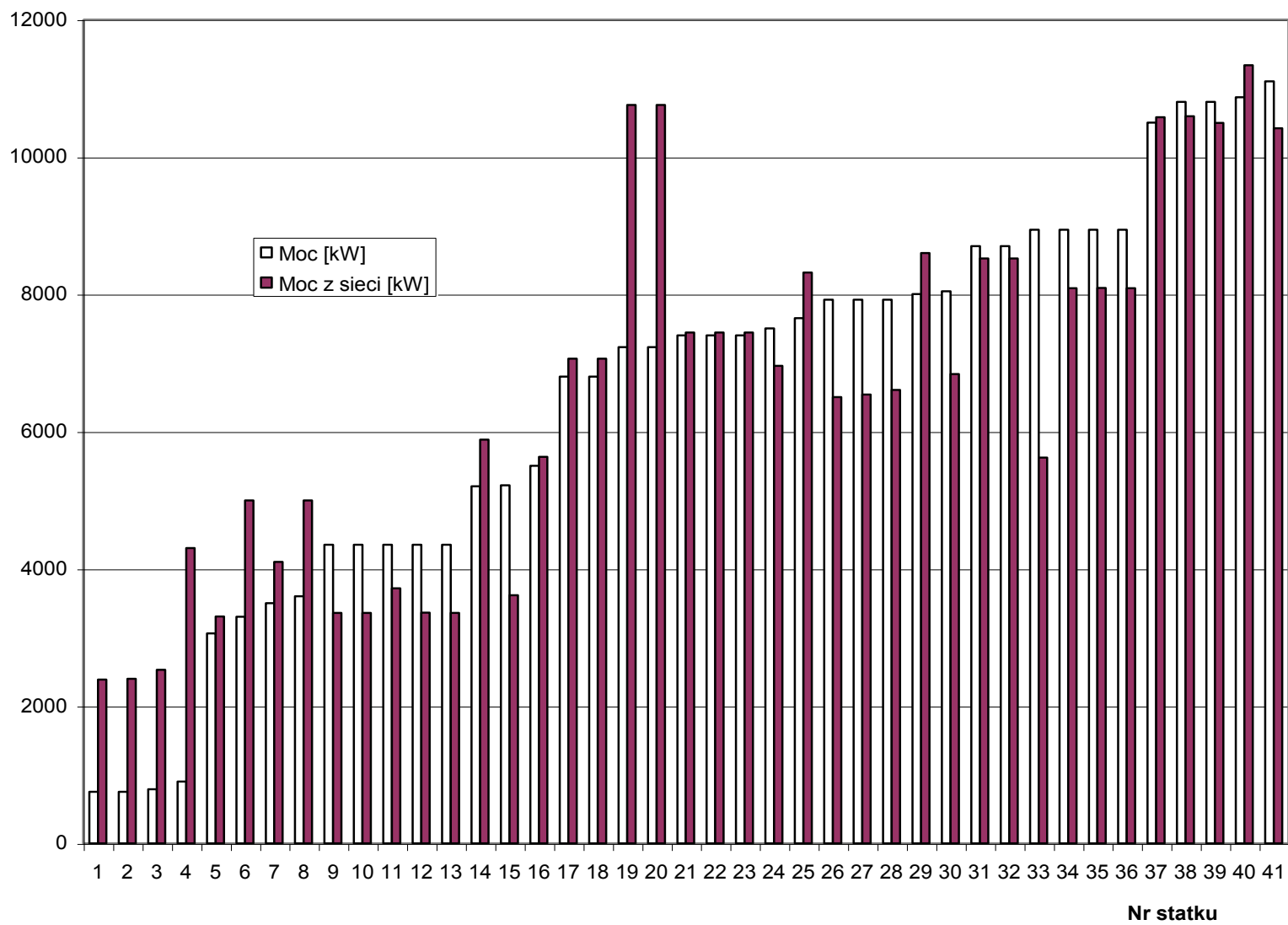
Uzyskano następującą wartość tego błędu:  $e = 23,13\%$ , która w przypadku zastosowania metody regresji [14], dla tych samych danych, wyniosła  $25,61\%$ .

Wnioski ogólne dotyczące zastosowanej metody uczenia sieci neuronowej można sformułować następująco:

- zbieżność procesu uczenia za pomocą algorytmu propagacji wstecznej błędu i ze stałym współczynnikiem uczenia jest stosunkowo słaba ,
- znaczna rozbieżność wyników dla zbioru testującego (duże wartości błędu) wynika z dużej różnorodności rozpatrywanych statków.
- gradientowy algorytm uczenia ze stałym współczynnikiem uczenia  $\eta_l$  charakteryzuje się szybką zbieżnością w fazie początkowej i słabszą zbieżnością w dalszej części obliczeń.

W opracowanym algorytmie ze wsteczną propagacją błędów, zastosowanym dla doboru mocy i prędkości obrotowej SG, wymagane jest wskazanie bazy danych, a następnie tabeli, z której pochodzą pola przyjęte jako parametry dla sieci, w wyniku czego następuje przywołanie odpowiednich danych do wglądu. Po określeniu liczby cykli oraz wstępnej wartości błędu, jak również współczynników uczenia  $\eta_l$  i korekcji wag  $\eta_2$  uruchamiany jest proces uczenia sieci. Uzyskane wyniki z sieci neuronowej zapisywane są w osobnym polu „Oblicz” tabeli źródłowej.

Wartości wszystkich parametrów algorytmu uczenia sieci wprowadzane są za pośrednictwem formularza przedstawionego na rys. 22.



Rys. 21. Wyniki porównawcze uzyskane dla zbioru testującego statków

The interface is titled 'Formularz do wprowadzania wartości parametrów sieci neuronowej'. It contains several sections:

- Database Selection:** 'Otwórz bazę' button, 'Nazwa bazy' field with 'C:\Mania\Pliki Accessa\BazaNeuron1.mdb'.
- Table Selection:** 'zbiór\_ucz' dropdown, 'Wybór tabeli' button.
- Field Selection:** 'Wybór pól' button, a table for selecting input/output fields.
- Parameter Table:** A table with columns: Lp, Dwt, LOA, B, D, V, Moc, Oblicz. It lists 15 rows of numerical data.
- Training Parameters:**
  - Liczba cykli: 1000
  - Błąd średni: 0.0562
  - Współcz. uczenia pocz.: 0.1, konc.: 0.9
  - Współcz. korekcji wag pocz.: 0.1, konc.: 0.6
- Buttons:** 'Wczytaj dane wejściowe', 'Liczba rekordów', 'Ucz sieć'.

**Rys. 22. Formularz do wprowadzania wartości parametrów sieci neuronowej**

W procesie uczenia sieci należy uwzględnić następujące problemy:

1. dobór zbioru uczącego o odpowiedniej wielkości,
2. określenie wartości współczynników  $\eta_1$  jako współczynnika uczenia oraz  $\eta_2$  jako współczynnika korekcji wag,
3. zdefiniowanie czasu uczenia.

Istotną rzeczą jest umiejętny wybór współczynnika uczenia  $\eta_1$  [14], który ma ogromny wpływ na stabilność i szybkość całego procesu. Współczynnik  $\eta_1$  jest mnożony przez propagowany wstecz błąd i odpowiada za szybkość uczenia. Zbyt mała wartość tego parametru powoduje, iż uczenie i zbieżność sieci jest bardzo wolne, przy zbyt dużej jego wartości proces poszukiwań optymalnego wektora wag jest rozbieżny i algorytm może stać się niestabilny [16]. Współczynnik  $\eta_2$  mnożony jest przez wielkość zmiany wag w poprzednim kroku, „wygładzając” zbyt gwałtowne skoki wag połączeń.

Wartości współczynnika  $\eta_2$  należy dobierać na zasadzie pewnego kompromisu, tak aby kolejne przyrosty wag stanowiły małą część ich aktualnych wartości (np. kilkuprocentową).

W literaturze [52] proponowana wartość współczynnika  $\eta_1$  zawiera się w przedziale [0,05, 0,25]. Inni autorzy [57] podają jako wartości „klasyczne” tych współczynników: odpowiednio  $\eta_1 = 0,9$ , a  $\eta_2 = 0,6$ , przy czym zaznacza się, że w przypadku dużych sieci należy przyjmować wartości mniejsze, lecz o podobnych proporcjach względem siebie. Podczas uczenia wartości te powinny być zmniejszane, lecz proponowane jest również rozpoczynanie procesu uczenia sieci prawie od zerowych wartości współczynników  $\eta_1$  i  $\eta_2$  oraz stopniowe ich zwiększanie aż do osiągnięcia pewnej ustalonej wartości. Badania rozpoczęto od pewnych małych wartości współczynników, stopniowo je zwiększając. Czas uczenia najczęściej określa się za pomocą liczby cykli prezentacji zbioru uczącego.

Wybrane przykłady zastosowania opracowanego algorytmu sieci neuronowej w zakresie doboru mocy SG, na podstawie wymiarów, nośności i prędkości statku, a następnie doboru mocy SG na podstawie jednego parametru wejściowego tj. prędkości statku, przedstawiono w tabeli 31.

Badania w zakresie doboru mocy SG na podstawie innych parametrów projektowych, głównie wymiarów statku przeprowadzono dla przykładowej liczby cykli w zakresie 100 – 30000, a nawet 50000 przy wartościach współczynników  $\eta_1$  i  $\eta_2$  równych odpowiednio 0,9 i 0,6 oraz wartościach w zakresie 3 – 0,1 i 1 – 1.

W większości przypadków przyjęto rozwiązanie polegające na zmniejszaniu wartości współczynników uczenia, co spowodowało uzyskanie błędu średniego w granicach: 0,034 – 0,06.

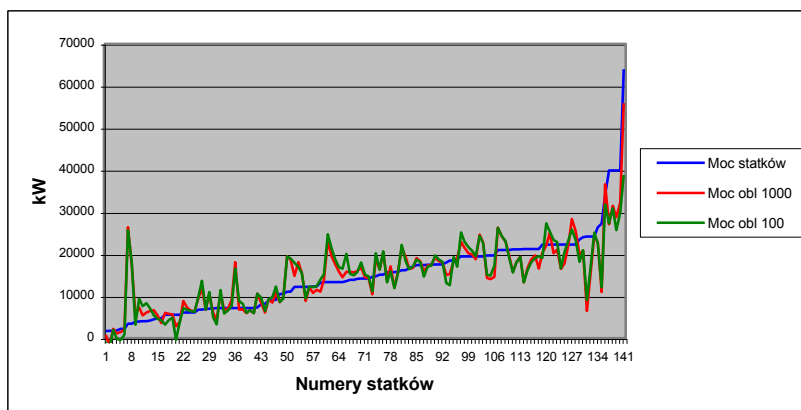
W innych przypadkach, zastosowano te same wartości współczynników, co przyczyniło się do wzrostu błędu średniego, przy małej liczbie cykli nawet do wartości równej 0,1. W jednym przypadku zastosowano zwiększanie wartości współczynników, a uzyskany błąd średni nie odbiega od poprzednich wartości.

Wyniki dotyczące uczenia sieci dla liczby cykli równej 100, a następnie 1000 przedstawiono na wykresie (rys. 23).



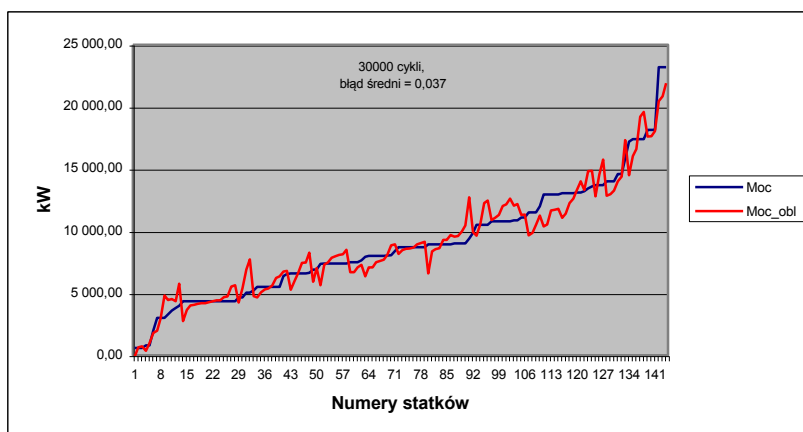
**Tabela 31. Wyniki zastosowania opracowanego algorytmu sieci neuronowej**

Parametry wyjściowe	Liczba cykli	Liczba param we	Wartości współczynników		Czas uczenia [min]	Błąd średni
			$\eta_1$	$\eta_2$		
Moc SG	1000	5	0,9	0,6	1	0,06
	10000	5	0,9	0,6	7	0,04
	30000	5	0,9	0,6	13	0,037
	50000	5	0,9	0,6	20	0,034
	1000	5	0,1	0,1	0.5	0,1
	2000	5	1	0,1	1	0,05
	4000	5	0,1	0,1	2	0,05
	4000	5	1	0,1	2	0,048
	4000	5	0,1	1	2	0,05
	4000	5	1	1	2	0,046
	4000	5	2	0,1	2	0,045
	4000	5	2	0,5	2	0,043
	4000	5	3	0,1	2	0,046
	10000	5	0,1	0,1	7	0,07
	1000	1	0,9	0,6	0.3	0,06
	10000	1	0,9	0,6	0.5	0,05
	30000	1	0,9	0,6	12	0,056



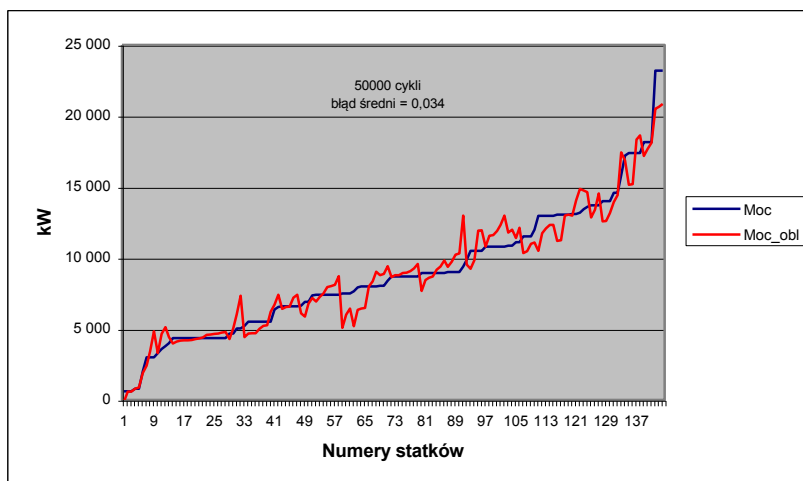
**Rys. 23. Zależności mocy SG od parametrów: DWT, LOA, D, G, V**

Wyniki uczenia sieci dla liczby cykli = 30000 (dla tych samych pozostałych parametrów) przedstawiono na rys. 24.



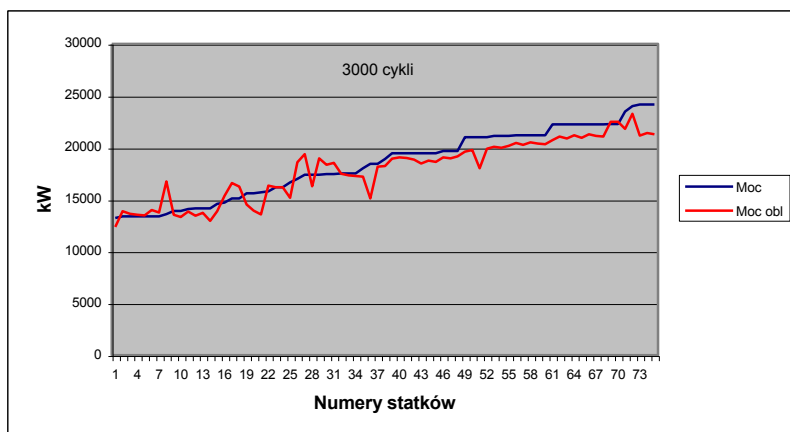
**Rys. 24. Wyniki uczenia sieci dla liczby cykli równej 30000**

Wyniki uczenia sieci dla liczby cykli równej 50000 cykli (przy tych samych pozostałych parametrach) przedstawiono na rys. 25.



**Rys. 25. Wyniki uczenia sieci dla liczby cykli równej 50000**

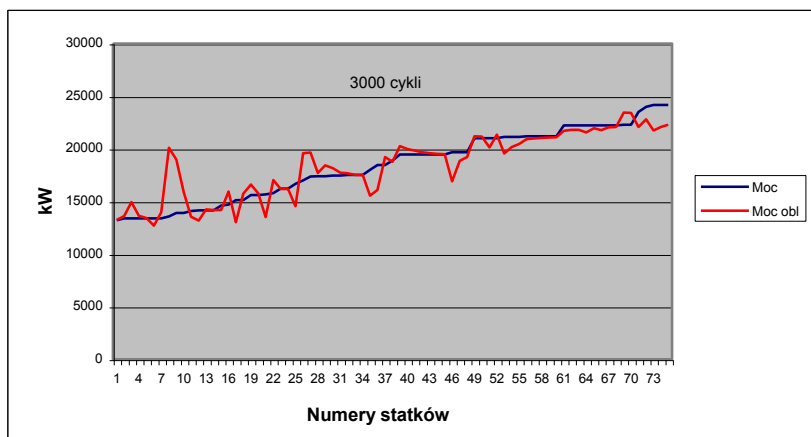
Dla porównania tych wyników przeprowadzono test uczenia sieci dla doboru mocy SG na podstawie jednego parametru wejściowego tj. prędkości statku, co przedstawiono na rys. 26. Test wykonano na zbiorze statków o mocy SG >13000 kW i <25000 kW.



**Rys. 26. Zależność mocy SG od prędkości statku dla wybranego zbioru statków**

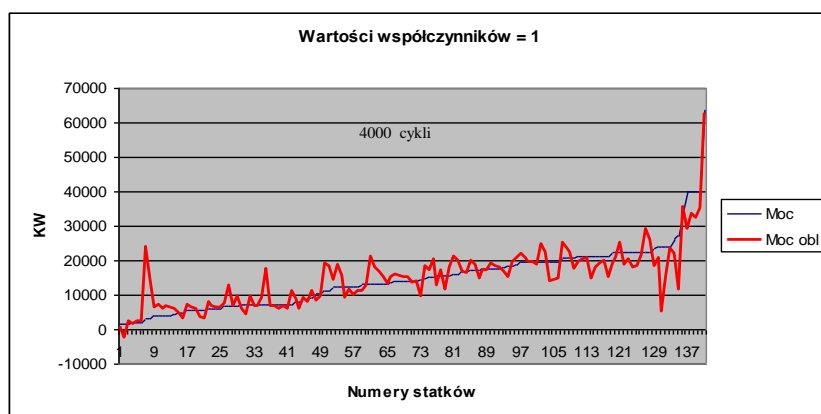
Zbieżność procesu uczenia dla doboru mocy SG na podstawie jednego parametru np. prędkości statku jest nieco lepsza, aniżeli na podstawie wielu parametrów projektowych.

Podobny test (na zbiorze statków o mocy SG >13000 kW i <25000 kW) wykonano dla wielu parametrów projektowych (DWT, LOA, B, D) dla  $\eta_1$   $\eta_2$ ,= odpowiednio 3 i 0,1, którego wyniki przedstawiono na rys. 27.



**Rys. 27. Zależność mocy SG od wielu parametrów projektowych dla wybranego zbioru statków-3000 cykli**

Dla wartości współczynników  $\eta_1$   $\eta_2$ : = 1, przy liczbie cykli równej 4000, zależność mocy SG od wielu parametrów projektowych przedstawia się następująco: (rys. 28).



**Rys. 28. Zależność mocy SG od wielu parametrów projektowych -4000 cykli**

W oparciu o wyniki przedstawionych przykładowych badań można sformułować następujące szczegółowe wnioski:

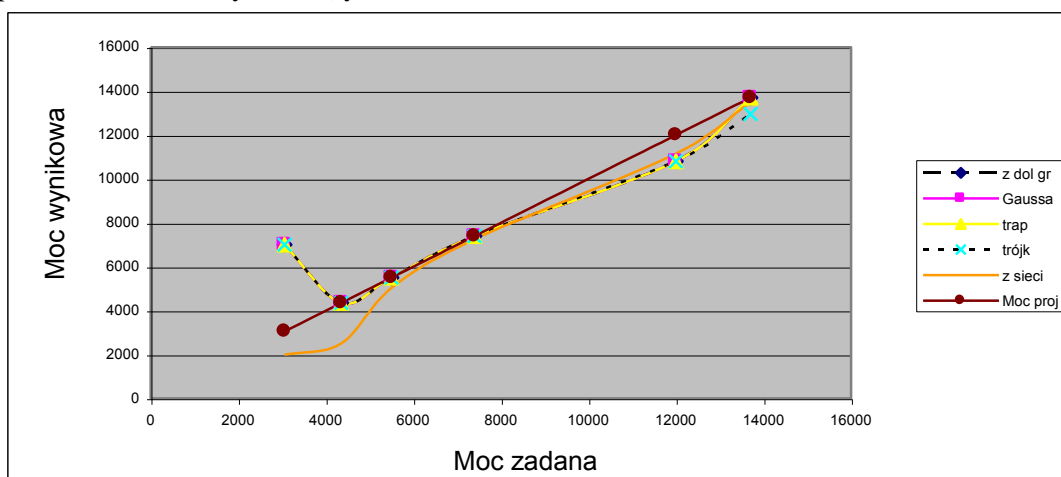
1. błąd średni maleje ze wzrostem liczby cykli obliczeń,
2. zwiększanie wartości współczynników uczenia nie daje lepszych rezultatów, aniżeli ich zmniejszanie (w drugim przypadku wzrost błędu średniego o 0,03),
3. zbieżność procesu uczenia prowadzonego na wyselekcjonowanym zbiorze statków dla jednego parametru np. prędkości statku jest nieco lepsza, aniżeli zbieżność na podstawie wielu parametrów projektowych,
4. zwiększanie liczby cykli powyżej pewnej granicy (30000 dla analizowanych przykładów) nie daje znaczącej poprawy uzyskanych efektów.

Wyniki opracowanych metod obliczania podobieństwa do wspomagania projektowania wstępnego statku zastosowane dla doboru mocy silnika głównego zestawione zostały w tabeli 32. W przypadku, gdy wyszukane z bazy danych wartości mocy SG statków według poszczególnych funkcji obliczania podobieństwa są identyczne z projektowanymi (przypadek: 2, 3, 4, 6) - tab. 32. wyniki uzyskane z sieci neuronowej są gorsze. Nie ma zatem potrzeby dokonania ich weryfikacji za pomocą sieci, która ma zastosowanie w przypadku, gdy nie znaleziono wystarczająco podobnych statków za pomocą metod obliczania podobieństwa w aplikacji bazy danych (przypadki: 1 i 5) –tab. 32. Wówczas ma miejsce proces weryfikacji tych wyników za pomocą sieci neuronowej.

**Tabela 32. Wartości mocy silnika głównego statków podobnych uzyskane przy użyciu różnych funkcji obliczania podobieństwa oraz z sieci neuronowej**

Moc SG statku projektowanego	Moc SG statku podobnego				
	Metodą z dolną granicą	Metodą z funkcją Gaussa	Metodą z funkcją trapezową	Metodą z funkcją trójkątną	Z sieci neuronowej
3057,00	7000,00	7000	7000,00	7000,00	1991,00
4350,00	4350,00	4350	4350,00	4350,00	2503,00
5500,00	5500,00	5500,00	5500,00	5500,00	5043,00
7400,00	7400,00	7400,00	7400,00	7400,00	7250,00
12000,00	10800,00	10800,00	10800,00	10800,00	11153,00
13700,00	13700,00	13700,00	13700,00	12960,00	13500,00

Porównanie uzyskanych przykładowych wyników dotyczących statków zbudowanych w polskich stocznich (wartości mocy SG statków o największym podobieństwie zawarte w tabeli 32) przedstawiono na wykresie (rys 29).



**Rys. 29.** Graficzne porównanie mocy SG statków podobnych zbudowanych w polskich stocznich według poszczególnych metod obliczania podobieństwa

Z zaprezentowanych przykładów wynika, iż uzyskane poszczególnymi metodami obliczania podobieństwa wartości mocy statków najbardziej podobnych nie zawsze są zbliżone do mocy zadanej statku projektowanego. Wynika to z faktu, iż statki podobne wyszukiwane są na podstawie podobieństw sumarycznych wszystkich parametrów wejściowych. Istotną rolę odgrywa tu właściwe ustalenie wartości wag parametrów, jak również wartości granic badanych zakresów i ich odchyłeń. Analizę podobieństwa przeprowadzono na podstawie statków różnych typów, zbudowanych w polskich stocznich. Analizie poddano również wyniki w zakresie doboru mocy SG uzyskane z sieci neuronowej. Różnice podobieństw uzyskanych przy zastosowaniu różnych funkcji wynikać mogą z następujących powodów:

- mocno zróżnicowana struktura badanego zbioru statków w bazie danych (różne typy, gabaryty, przeznaczenie),
- zbyt mała liczba statków poddanych analizie,
- zbyt mały zbiór statków w bazie danych, co rzutuje na wyniki uzyskane z sieci neuronowej.

W dalszych badaniach przewiduje się sukcesywną rozbudowę bazy danych statków celem zapewnienia pełnej weryfikacji wyników dla uzupełnienia metod obliczania podobieństwa statków.

### **3. PROJEKTOWANIE AUTOMATYKI SIŁOWNI OKRĘTOWEJ I ZAKRES JEGO WSPOMAGANIA**

W rozdziale tym scharakteryzowano proces projektowania automatyki siłowni statku, jego etapy (ofertowy, kontraktowy, techniczny, roboczy) wraz z opisem najważniejszych dokumentów projektowych takich jak: opis techniczny, zestawienie aparatury kontrolno-pomiarowej, warunki techniczne i in. Dla zilustrowania etapów tworzenia dokumentacji projektowej zaprezentowano schemat procesu projektowania automatyki na etapie projektu technicznego. W rozdziale tym określono również zakres wspomagania projektowania automatyki siłowni w opracowanym systemie; jego założenia i funkcje oraz strukturę bazy danych.

#### **3.1 Charakterystyka ogólna projektowania automatyki siłowni okrętowej**

##### ***3.1.1 Cechy procesu projektowania oraz klasyfikacja obiektów automatyki***

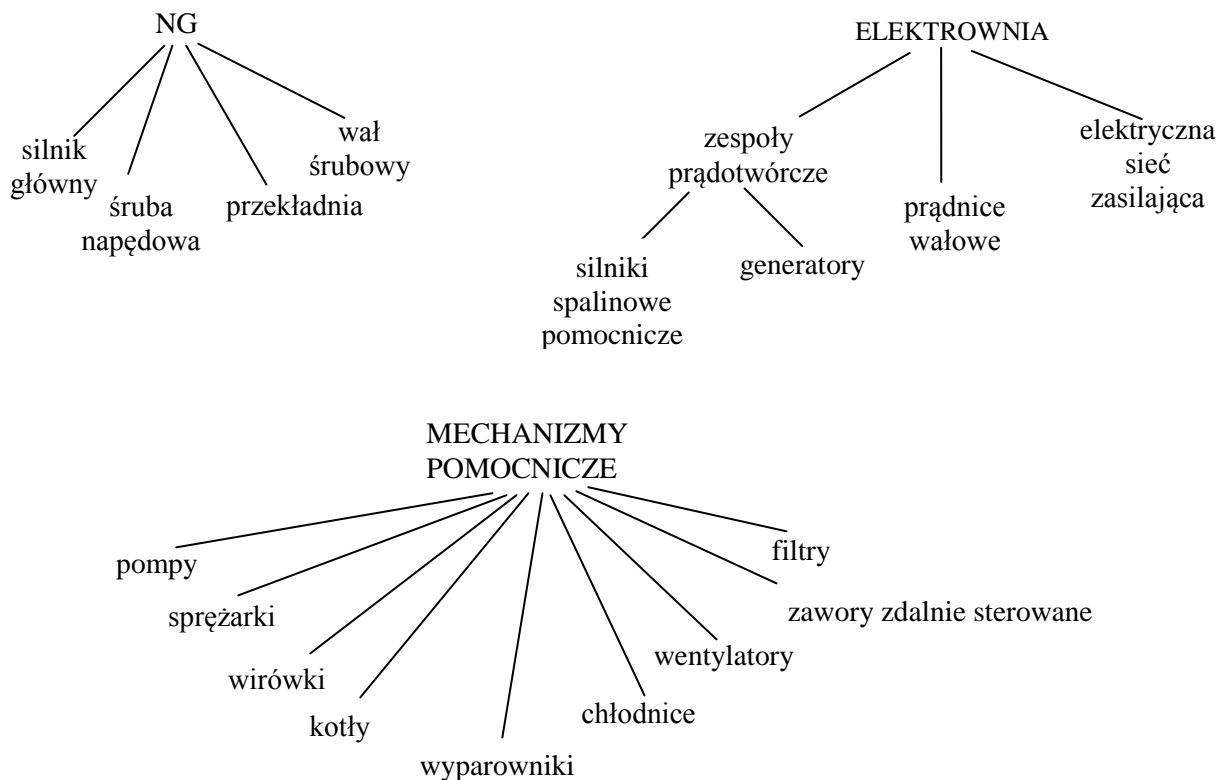
Jedną z dziedzin projektowania, wymagających stworzenia nowoczesnych narzędzi programowych, jest projektowanie automatyki integrującej różne systemy i obszary funkcjonalne statku. Projektowanie układów automatyki statku jest procesem pracochłonnym i złożonym. Wymaga ono przeanalizowania dużej ilości informacji, dotyczących różnych systemów i obiektów czerpanych z wielu źródeł i zebranie 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. Wynika to z następujących względów:

- systemy energetyczne instalowane na statku składają się z wielu podsystemów silnie wzajemnie powiązanych,
- nieprawidłowa praca tych systemów zagraża bezpośrednio bezpieczeństwu statku,
- układy automatyki spełniają różnorodne funkcje i składają się z wielu typów elementów i urządzeń,
- elementy i układy automatyki oferowane przez poszczególne firmy dla nowoczesnych statków ulegają ciągłym zmianom z powodu rosnących wymagań i szybkiego rozwoju techniki i technologii,
- w procesie projektowania winno się uwzględniać charakterystyki systemów energetycznych i obszerną wiedzę z zakresu automatyki i informatyki,
- proces projektowania musi uwzględniać wymagania towarzystw klasyfikacyjnych, konwencji międzynarodowych oraz życzenia armatora, a także możliwości stoczni i dostawców wyposażenia,
- proces ten jest ponadto skorelowany z procesem projektowania całego statku i powinien być zrealizowany w określonym i możliwie krótkim czasie.

Dla umożliwienia stosowania komputerowego wspomagania projektowania układów automatyki siłowni statków niezbędna jest klasyfikacja obiektów objętych automatyką oraz samych układów i elementów automatyki. W praktyce projektowej brak jest jednolitego sposobu takiej klasyfikacji. W związku z powyższym, w oparciu o wyniki konsultacji z projektantami układów automatyki przyjęto następujące klasy automatyzowanych obiektów:

- napęd główny (NG),
- elektrownia,
- mechanizmy pomocnicze,
- inne.

W obrębie poszczególnych klas przyjęto następujący podział obiektów, które przedstawione zostały na rys. 30.



**Rys. 30. Struktura obiektów automatyzacji**

Przyjęto, iż dobór elementów automatyki do obiektów realizowany jest w obrębie systemów okrętowych które, dla większości eksploatowanych statków, są następujące:

- system sterowania i zabezpieczeń SG,
- 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.

Dla celów komputerowego przetwarzania informacji i edycji dokumentacji technicznej automatyki przyjęto jednolity, alfanumeryczny sposób kodowania systemów i obiektów instalowanych w siłowniach statków. Natomiast elementy automatyki są kodowane zgodnie z normami międzynarodowymi.

Układy automatyki statku pełnią funkcje w zakresie: sterowania, regulacji oraz kontroli i zabezpieczenia. Realizacja tych funkcji odbywa się zwykle na dwóch poziomach - centralnym i lokalnym. Centralny układ sterowania, monitoringu i zabezpieczeń, obejmujący większość obiektów i systemów siłowni, bazuje najczęściej na sprzęcie komputerowym połączonym z konsolami operatorskimi i panelami alarmowymi. Elementy tego systemu rozmieszczone są w różnych pomieszczeniach: w centrali manewrowo kontrolnej, na mostku, w biurze pokładowym, w pomieszczeniach załogi. Układy lokalne obejmują funkcje dotyczące pojedynczych obiektów automatyki lub systemów i są zlokalizowane przy tych obiektach (systemach).

### 3.1.2 Etapy projektu automatyki siłowni

Prace projektowe dotyczące układów automatyki okrętowej w ramach procesu projektowania całego statku składają się z wielu etapów, w których prowadzone są uzgodnienia z armatorem oraz z towarzystwem klasyfikacyjnym i producentami wyposażenia. Na wszystkich etapach projektowania odbywa się wzajemny przepływ informacji.

Kolejne etapy projektowania charakteryzują się wzrostem wnikliwości i zakresu opracowań, a także formą i układem samej dokumentacji. W wyniku analizy dostępnych dokumentów projektowych oraz przeprowadzonych konsultacji z ekspertami projektantami automatyki wyodrębniono etapy procesu projektowania automatyki siłowni, które są następujące:

**Projekt ofertowy** – wykonywany jest w bardzo okrojonej formie dla wstępnych negocjacji z armatorem.

Po zapoznaniu się z zapytaniem ofertowym armatora opracowywane są Podstawowe założenia techniczne statku, w których podawane są: informacje o specyfice danego statku związane z przewożonym ładunkiem, towarzystwo klasyfikacyjne, pod którego nadzorem budowany będzie statek oraz inne przepisy, które muszą być spełnione dla danego statku. Często określony jest już typ napędu głównego statku, a także preferowani przez stocznię dostawcy ważniejszych urządzeń.

Na tej podstawie tworzony jest projekt ofertowy obejmujący ogólną koncepcję, zakres automatyzacji sterowania, kontroli oraz proponowanych rozwiązań technicznych i wstępny szacunek kosztów.

Na etapie projektu ofertowego projektant automatyki opracowuje następującą dokumentację:

- ogólny opis techniczny automatyki,
- wykaz mechanizmów i urządzeń w zakresie automatyki,
- warunki techniczne na ważniejsze urządzenia i zapytania ofertowe (dane do wyceny urządzeń automatyki) lub, jeśli czas na to nie pozwala – kalkulacja kosztów w oparciu o cenę podobnych urządzeń na wcześniej budowanych statkach,
- lista proponowanych dostawców wyposażenia automatyki,
- wstępna kalkulacja kosztów (przybliżona) na podstawie wcześniejszych rozwiązań na statkach zbudowanych.

**Projekt kontraktowy** – stanowi podstawę do zawarcia kontraktu i dalszych szczegółowych etapów projektowania. Podejmowane są ostateczne decyzje finansowe.

Po uwzględnieniu uwag armatora, które wymagają niekiedy weryfikowania projektu ofertowego, tworzony jest projekt kontraktowy zawierający opis techniczny, konkretyzujący typ napędu głównego i instalacji pomocniczych siłowni, zakres automatyzacji, zgodnie z wymaganiami nadzorującego towarzystwa klasyfikacyjnego oraz zawierający listę proponowanych producentów układów automatyki i kalkulację kosztów.

Projekt kontraktowy stanowi podstawę do zawarcia kontraktu i dalszych szczegółowych etapów projektowania.

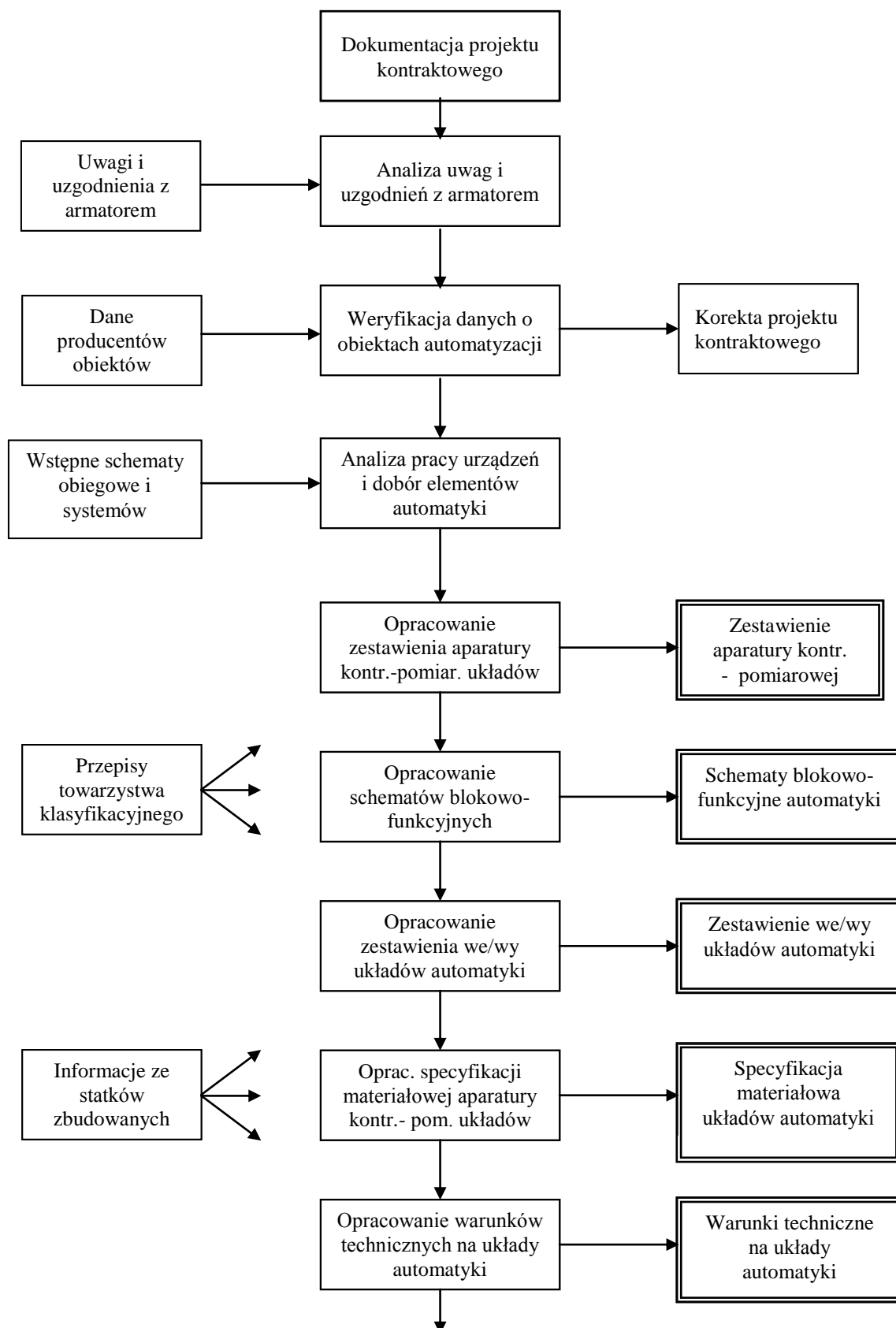
**Projekt techniczny** – pokazuje szczegółowo wszystkie ważniejsze, istotne dla projektu rozwiązania.

Po zatwierdzeniu projektu kontraktowego przez armatora i podpisaniu kontraktu opracowywany jest projekt techniczny. W ramach tego projektu określa się wszystkie rozwiązania dotyczące automatyki siłowni oraz przygotowuje się niezbędne dokumenty, w szczególności dla przeprowadzenia akcji ofertowej dotyczącej zakupów urządzeń okrętowych i dla zatwierdzenia przez armatora i towarzystwo klasyfikacyjne.

Na etapie projektu technicznego opracowywana jest bardziej szczegółowa dokumentacja obejmująca:

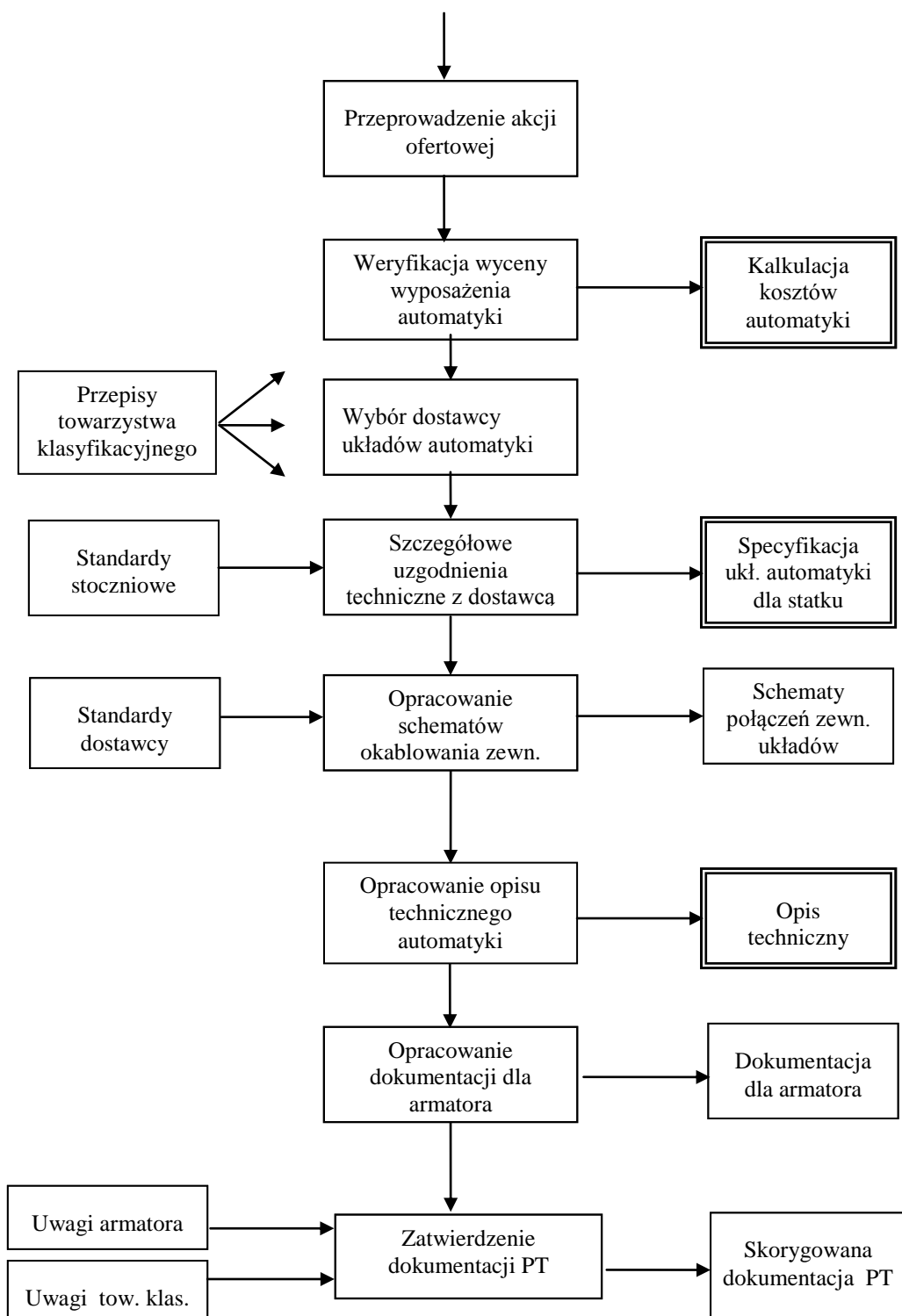
- szczegółowy opis techniczny automatyki,
- schematy blokowo-funkcyjne systemów oraz systemu komputerowego siłowni,
- zestawienie aparatury kontrolno-pomiarowej automatyki,
- zestawienie materiałowe automatyki,
- warunki techniczne na urządzenia i pulpity sterownicze,
- schematy sterowania urządzeń automatyki.

Szczegółowy schemat blokowy projektu technicznego przedstawiono na rys. 31 – 32.



**Rys. 31. Schemat blokowy procesu projektowania układów automatyki siłowni**





**Rys. 32. Schemat blokowy procesu projektowania układów automatyki silowni (c.d.)**

gdzie:



- główne dokumenty projektowe tworzone w systemie wspomagania projektowania automatyki



- inne dokumenty i czynności realizowane w systemie

Schemat ten ujmuje kolejność wykonywanych zadań oraz prezentuje główne źródła informacji (dokumenty wejściowe), a także dokumenty wyjściowe, stanowiące wynik procesu projektowania. Podstawowym dokumentem wejściowym tego procesu jest dokumentacja projektu kontraktowego. Głównym elementem tej dokumentacji jest opis techniczny statku. Zawiera on między innymi opis techniczny automatyki siłowni. Informacje, szczególnie dane liczbowe, które wcześniej były podane w opisie w sposób szacunkowy, w projekcie technicznym zostają zweryfikowane i określone dokładnie.

**Projekt roboczy** zawiera dokumentację warsztatową, materiałową i techniczną dla celów wykonawczych.

Przejście z etapu projektu technicznego do etapu projektu roboczego odbywa się płynnie, gdyż czas zatwierdzania dokumentów przez towarzystwo klasyfikacyjne i armatora jest wypełniony przygotowaniem danych i obliczeniami oraz uzgodnieniami z dostawcami wyposażenia. Aktualizuje się wykaz mechanizmów oraz wykonuje się zestawienie materiałów, a także weryfikuje się wycenę wyposażenia automatyki.

Na etapie projektu roboczego opracowuje się program prób urządzeń systemów i elementów automatyki na uwięzi i w morzu. Opracowuje się instrukcję obsługi automatyki siłowni oraz program okresowych prób elementów dokonywanych w czasie eksploatacji statku dla utrzymania klasy automatyki.

### **3.1.3 Opis dokumentacji projektowej**

W okrętownictwie został przyjęty podział procesu projektowania na kolejne etapy, którym są przyporządkowane określone zakresy dokumentacji.

We wstępnych etapach projektowania (projekt ofertowy – PO oraz projekt kontraktowy – PK) następuje ogólne określenie systemu automatyki zapisane w „opisie technicznym statku”, wyspecyfikowanie elementów systemu automatyki w „wykazie mechanizmów” z wytypowaniem potencjalnych dostawców w „liście dostawców” i wstępnym określeniu kosztów w „kalkulacji kosztów”. Dokumentacja wstępnych etapów projektowania służy głównie do prowadzenia uzgodnień z armatorami i wewnątrz biura projektowego stoczni.

Jednym z najważniejszych dokumentów projektowych jest opis techniczny automatyki.

- **Opis techniczny automatyki** – stanowi integralną część opisu technicznego statku i podstawowy dokument procesu projektowania automatyki. W fazie początkowej (projekt ofertowy) stanowi on główne źródło informacji do negocjacji z armatorem, a po uzgodnieniach na etapie projektu kontraktowego jest podstawą realizacji projektu technicznego.

Określa on:

- zakres automatyki, stanowiący podstawę dalszych prac projektowych i precyzujący zakres automatyzacji i sterowań,
- stanowiska sterowania,
- system zdalnego sterowania napędem głównym,
- system alarmowy i nadzoru nad pracą systemów i urządzeń statku,
- sterowanie systemami i urządzeniami siłowni,
- sterowanie systemami specjalnymi.

W opisie technicznym znajdują się ponadto takie informacje, jak: towarzystwo klasyfikacyjne, pod którego nadzorem projektowany jest statek, klasa sterowni, klasa automatyki, typ statku, nazwa stoczni budującej statek, sposób sterowania urządzeniami, konfiguracja systemu komputerowego, liczba wejść analogowych oraz cyfrowych, liczba stanowisk operatorskich, liczba paneli alarmowych itp.

**Lista dostawców** – załącznik do ofertowego opisu technicznego siłowni. Określa ona propozycje stoczni dotyczące producentów i typów układu monitoringu i automatyki oraz elementów automatyki, które zostały uwzględnione przy kalkulacji kosztów w ofercie statku.

**Kalkulacja kosztów automatyki** – jest jednym z bardzo ważnych zadań projektanta prowadzącego projekt i polega na właściwym oszacowaniu ceny proponowanych rozwiązań w pierwszym etapie projektowania, a następnie nieustannym śledzeniu kosztów w dalszych etapach, aż do zdania statku do eksploatacji. Oznacza ona:

- na etapie projektu ofertowego, kiedy brak jest jeszcze wielu danych technicznych, jak również ze względu na bardzo ograniczony czas na przygotowanie oferty, sprowadza się do przybliżonego szacowania kosztów na podstawie doświadczeń z kontraktacji wyposażenia na wcześniej zbudowane statki, przy uwzględnieniu zakresu wyposażenia zdefiniowanego w opisie technicznym statku.
- w dalszych etapach projektowania – podlega kolejnym korektom i uściśleniom oraz jest wykonywana kalkulacja kosztów w oparciu o uzyskane oferty na urządzenia i materiały od potencjalnych dostawców, a następnie w oparciu o wynegocjowane i zawarte kontrakty.

Z punktu widzenia stoczni wyposażenie automatyki projektowanego statku można podzielić na:

- wyposażenie automatyki kontraktowane i dostarczane przez producentów tych urządzeń,
- wyposażenie automatyki całych zintegrowanych systemów, oddzielnie projektowane dla konkretnego statku według wymagań armatora i kupowane oddzielnie przez stocznię.

Pierwsza z w/w grup wyposażenia interesuje projektanta automatyki głównie ze względu na parametry techniczne dotyczące powiązań z centralnym komputerowym układem automatyki siłowni, oraz wymaganiami związanymi z samą instalacją i zasilaniem tych urządzeń. Koszty automatyki tego wyposażenia nie są wyodrębniane, i są ujmowane łącznie z zamawianym wyposażeniem siłowni w innych grupach kalkulacyjnych.

Druga z tych grup wymaga szczegółowego rozpoznania automatyzowanych obiektów, sformułowania szczegółowych założeń dla dostawców układu komputerowego i jego całej infrastruktury włącznie z doбором elementów składowych, czujników, członów wykonawczych itp.

**Zestawienie aparatury kontrolno-pomiarowej** – stanowi dokument opracowywany na użytek stoczni, który jest niezbędny do: opracowywania Listy I/O, określenia zakresu i struktury systemu automatyki oraz zestawienia materiałowego elementów automatyki. Dokument ten powstaje w wyniku doboru elementów automatyki w postaci czujników, przetworników, itp. do poszczególnych punktów kontrolno-pomiarowych dotyczących obiektów statku.

Zestawienie aparatury dokonywane jest z podziałem na systemy oraz obiekty (wyszczególnione w p. 3.1.). Zawiera ono informację o funkcji aparatury i miejscu jej zainstalowania, sygnalizacji alarmowej stanu urządzeń, zdalnych pomiarach poziomów w zbiornikach, ciśnienia, lepkości, temperatury, mgły olejowej, przechyłów, itp.

W zakresie doboru elementów automatyki rejestrowane są takie informacje, jak: symbol elementu, jego nazwa, zakres nastawy, producent i typ, dostawca oraz miejsce odczytu.

• **Zestawienie materiałowe** – informujące o parametrach zastosowanych czujników dla poszczególnych punktów w obrębie systemów automatyki. Opracowywane jest jako niezbędne do:

- kalkulacji kosztów elementów automatyki,
- określenia listy dostawców elementów automatyki.

• **Schematy blokowo-funkcyjne systemów** – są zasadniczymi dokumentami tworzonymi we wczesnych etapach projektowania automatyki statku. Obejmują one:

- schematy blokowo-funkcyjne wszystkich systemów,
- schemat blokowy układu komputerowego siłowni.

Schematy blokowo-funkcyjne systemów zawierają wszystkie obiekty automatyzacji, ich wzajemne powiązania oraz wszystkie elementy automatyki tych systemów. Każdy z tych elementów, odpowiednio oznaczony znajduje swój odpowiednik w „Zestawieniu aparatury kontrolno-pomiarowej” stanowiącym podstawowy dokument do dalszego projektowania automatyki statku. Duża różnorodność stosowanych rozwiązań systemów siłowni na statkach, zależna od wielu czynników zewnętrznych, uniemożliwia automatyzację tworzenia schematów blokowo-funkcyjnych automatyki tych systemów. Możliwe jest jedynie ich wspomaganie oraz weryfikacja.

Schemat blokowy systemu komputerowego powstaje na etapie projektu ofertowego jako załącznik do opisu technicznego stanowiąc ogólną koncepcję rozwiązania automatyki na statku. Na etapie projektu

kontraktowego schemat obrazuje konkretne rozwiązanie systemu automatyki, pomiarów i monitorowania systemów, charakteryzując zakres wymaganej komputeryzacji statku.

- ***Lista I/O (zestawienie wejść-wyjść)*** – zawiera wykaz punktów kontrolno-pomiarowych z wyszczególnioną informacją dotyczącą wejść analogowych oraz wejść i wyjść cyfrowych. Jest to dokument niezbędny do kalkulacji ceny układu monitoringu i automatyki oraz układu automatyki elektrowni statku. Dane wynikowe z Listy I/O są wprowadzane do ofertowego opisu technicznego automatyki.

- ***Warunki techniczne na układy automatyki*** – dokument stanowiący załącznik do projektu technicznego i zapytania ofertowego w zakresie automatyki budowanego statku. Dotyczy on: układu zdalnego sterowania i bezpieczeństwa silnika głównego, układu automatyki elektrowni statku oraz układu alarmowego i sterowania urządzeniami pomocniczymi siłowni, systemu zdalnych pomiarów poziomów w zbiornikach, monitoringu i sygnalizacji alarmowej w siłowni oraz elementów automatyki. Zakres informacji tego dokumentu w znacznej części pokrywa się z zakresem informacji zawartych w opisie technicznym automatyki siłowni i systemów ogólnostatkowych.

Fragmenty przykładowych dokumentów projektowych zamieszczone zostały w Załączniku 1.

## **3.2 Zakres systemu wspomagania projektowania automatyki siłowni statku**

### **3.2.1 Założenia i funkcje systemu**

Wybrane metody sztucznej inteligencji takie jak: system ekspertowy, relacyjna baza danych oraz sieć neuronowa zastosowano w opracowanym hybrydowym systemie wspomagania projektowania automatyki siłowni okrętowej, który jest aplikacją ułatwiającą i usprawniającą w znacznym stopniu proces projektowania monitoringu i automatyki siłowni statku zarówno na etapie projektu ofertowego, jak i technicznego. Dla realizacji tego systemu określono specyfikę projektowania układów automatyki siłowni, zakres czynności projektantów w poszczególnych etapach procesu projektowania (projekty: ofertowy kontraktowy i techniczny) z określonymi przez towarzystwa klasyfikacyjne, armatorów i stocznie zakresami tworzonej dokumentacji przedstawionej w Załączniku 1.

Aplikacja stworzona została przy zastosowaniu systemu zarządzania bazą danych Access [11] i przewidziana jest do współpracy z systemem ekspertowym Exsys [58] jako jeden system wspomagania projektowania automatyki siłowni statku; może jednak stanowić również niezależne narzędzie funkcjonujące, w nieco ograniczonym zakresie, wyłącznie w bazie danych Access (bez zastosowania systemu ekspertowego), co obniża koszty aplikacji.

Utworzona baza danych zawiera dane o obiektach i systemach oraz układach, urządzeniach i elementach automatyki pochodzące z katalogów lub zastosowane na statkach wcześniej zbudowanych. Może ona dostarczać projektantowi informacji szczegółowych o układach i elementach automatyki zastosowanych na statkach zbudowanych, jak również informacji katalogowych o tych układach i elementach.

Tworzenie poszczególnych elementów projektu automatyki na podstawie informacji o statkach zbudowanych odbywa się przy zastosowaniu metod obliczania podobieństwa zaimplementowanych w bazie danych, a komplementarnie - w systemie ekspertowym za pomocą logiki rozmytej.

Opracowany system wspomagania projektowania automatyki siłowni realizuje różnorodne funkcje, do których należą [24, 30, 33]:

- gromadzenie i udostępnianie informacji liczbowych, tekstowych i graficznych dotyczących statków zbudowanych oraz informacji katalogowych o elementach i układach automatyki,
- wyszukiwanie w bazie danych statków najbardziej podobnych do statku projektowanego,
- tworzenie opisu technicznego automatyki siłowni i systemów ogólnostatkowych,
- dobór aparatury kontrolno-pomiarowej zawierającej elementy automatyki – czujniki, przetworniki itp.
- graficzna prezentacja obiektów do tworzenia schematów blokowo – funkcyjnych systemów automatyki z wykorzystaniem programu AutoCAD,
- korzystanie z bazy danych przepisów wybranych towarzystw klasyfikacyjnych,
- dobór układów automatyki oraz tworzenie warunków technicznych,

- szacowanie kosztów automatyki statku we wstępnych etapach projektowania i ich uściślanie na etapie projektu technicznego,
- sporządzanie innych dokumentów w postaci raportów wynikowych tworzonych w procesie projektowania układów automatyki.

Funkcje te realizowane są przy zastosowaniu metody wnioskowania na podstawie przypadków, opisanej w rozdziale 1, zarówno w trybie tworzenia projektu automatyki opartym na modelu dziedzinowym, jak i na projektach statków podobnych [13]. Niektóre z nich wykonywane są przez system ekspertowy, inne – przez aplikację bazy danych.

Projekt automatyki może zatem, być tworzony w dwojaki sposób:

- na podstawie informacji o statkach zbudowanych w aplikacji bazy danych,
- samodzielnie przez projektanta w wyniku odpowiedzi na pytania systemu ekspertowego na podstawie bazy wiedzy oraz modelu dziedzinowego, we współpracy z aplikacją bazy danych [27, 34].

Jednym z najważniejszych elementów projektu automatyki jest opis techniczny, który stanowi podstawę negocjacji z armatorem. Może on powstać w oparciu o bazę wiedzy i model dziedzinowy uzupełniany wymaganymi odpowiedziami projektanta na pytania systemu ekspertowego. Może również być tworzony w aplikacji bazy danych na podstawie opisów technicznych statków zbudowanych.

W biurach projektowych stoczni stosowane opisy różnią się pewnymi szczegółami. W związku z tym, po dokładnej analizie wielu wariantów projektów, które powstały w stoczniach: gdańskiej, gdyńskiej i szczecińskiej, opracowano wzorcową postać opisu technicznego układów automatyki siłowni statku. W opisie technicznym wyróżniono pewne wymienne fragmenty, których treść zależna jest od przyjętych rozwiązań dotyczących układów automatyki.

Wyszukanie opisu statku podobnego wymaga określenia przez projektanta podstawowych wymagań technicznych, takich jak: typ statku, jego nośność, struktura napędu głównego tj. liczba i rodzaj śrub napędowych, liczba i typ silnika głównego, struktura systemu elektrowni, np. liczba i moc zespołów prądotwórczych, towarzystwo klasyfikacyjne oraz klasa automatyki. Na podstawie tych parametrów system próbuje znaleźć statek podobny tj. najbardziej zbliżony do poszukiwanego. W wyniku znalezienia takiego statku i wyświetleniu na ekranie jego danych, po akceptacji projektanta, jego opis techniczny stanie się podstawą opisu statku projektowanego.

Opis techniczny automatyki siłowni może być tworzony na podstawie opisu innego statku określonego jako bazowy. Przyjęcie przez projektanta wariantu zastosowania projektu bazowego oznacza przywołanie projektu wskazanego statku z możliwością jego modyfikacji na podstawie danych o statkach zbudowanych. W tym przypadku ustalanie podobieństwa może być realizowane na poziomie: całego opisu innego statku, na poziomie opisu systemu automatyki, np. napęd główny, elektrownia lub pojedynczych parametrów automatyzowanego obiektu np. liczba śrub napędowych, typ silnika głównego, napięcie sieci. Na każdym poziomie dopuszczalne jest dokonanie zmian poszczególnych wartości przez projektanta.

Tworzenie opisu technicznego na podstawie modelu dziedzinowego przez system Exsys może dokonywać się w dwu wariantach:

- skróconym – dla projektu ofertowego,
- pełnym – dla projektu technicznego.

W każdym przypadku polega ono na wygenerowaniu odpowiedniego raportu po zakończeniu wnioskowania przez system ekspertowy. Proces wnioskowania realizowany jest zgodnie z regułami zapisanymi w bazie reguł, które określają jakie elementy wymienne mają być umieszczone w raporcie opisu technicznego w zależności od informacji udzielonych przez projektanta. Projektant dokonuje wyborów z wyświetlanych przez system zbiorów wartości (np. wybiera jedno towarzystwo klasyfikacyjne ze zbioru wszystkich towarzystw klasyfikacyjnych) lub podaje pewne wartości liczbowe.

Na podstawie opisu technicznego, a ponadto dodatkowych informacji wprowadzonych przez projektanta sporządzany jest także przez system Exsys kolejny ważny dokument, którym są warunki techniczne na urządzenia i elementy automatyki oraz kalkulacja kosztów automatyki.

Przy zastosowaniu modelu dziedzinowego możliwe jest również projektowanie automatyki poszczególnych systemów (instalacji), realizowane na etapie wstępnym w systemie ekspertowym, a w

następnym etapie - w aplikacji bazy danych, gdzie dostarczane są informacje o wytypowanych przez system ekspertowy punktach kontrolno - pomiarowych. W opracowanym systemie wspomaganie projektowania ograniczono do wybranej instalacji takiej jak: system sprężonego powietrza. Wymaga ona określenia przez projektanta parametrów wejściowych dotyczących głównie automatyzowanych obiektów statku, jak np. dla systemu sprężonego powietrza: typ, rodzaj sprężarek (główna, pomocnicza, gospodarcza), ich liczba oraz producent. Na podstawie tych parametrów generowany jest zbiór identyfikatorów punktów kontrolno-pomiarowych, który jest przekazywany do bazy danych celem uzyskania pełnej informacji dotyczącej wyspecyfikowanych punktów. Dla tych punktów projektant dokonuje następnie doboru elementów automatyki.

Projektowanie samodzielne automatyki SG, w oparciu o model dziedzinowy w aplikacji bazy danych, rozpoczyna się od określenia dostawcy SG, w wyniku czego projektant uzyskuje strukturę punktów kontrolno-pomiarowych przewidzianą dla tego dostawcy wraz z wyszczególnionymi elementami automatyki dostarczonymi przez producenta tego SG. Oprócz dostawcy SG projektant określa wartości parametrów początkowych, takich jak: liczba cylindrów SG oraz liczba turbodmuchaw, które służą do uaktualnienia opisów punktów.

Dobór aparatury na podstawie projektów statków zbudowanych może być oparty na zastosowaniu projektu bazowego statku zbudowanego lub bez projektu bazowego. Drugi wariant projektowania polega na „składaniu” projektów z pojedynczych systemów i (lub) obiektów automatyki statków przechowywanych w bazie danych. Może on wymagać usunięcia poprzednio wprowadzonego projektu, jeśli dotyczy to etapu początkowego projektowania lub może być kontynuacją wcześniejszego etapu i oznaczać proces dołączania aparatury następnych systemów lub obiektów do statku projektowanego.

Możliwe jest projektowanie automatyki na podstawie statków zbudowanych na przemian z projektowaniem samodzielnym, co ułatwia pracę projektantowi, dając możliwość dostępu zarówno do danych katalogowych, jak i danych o automatyce statków zbudowanych.

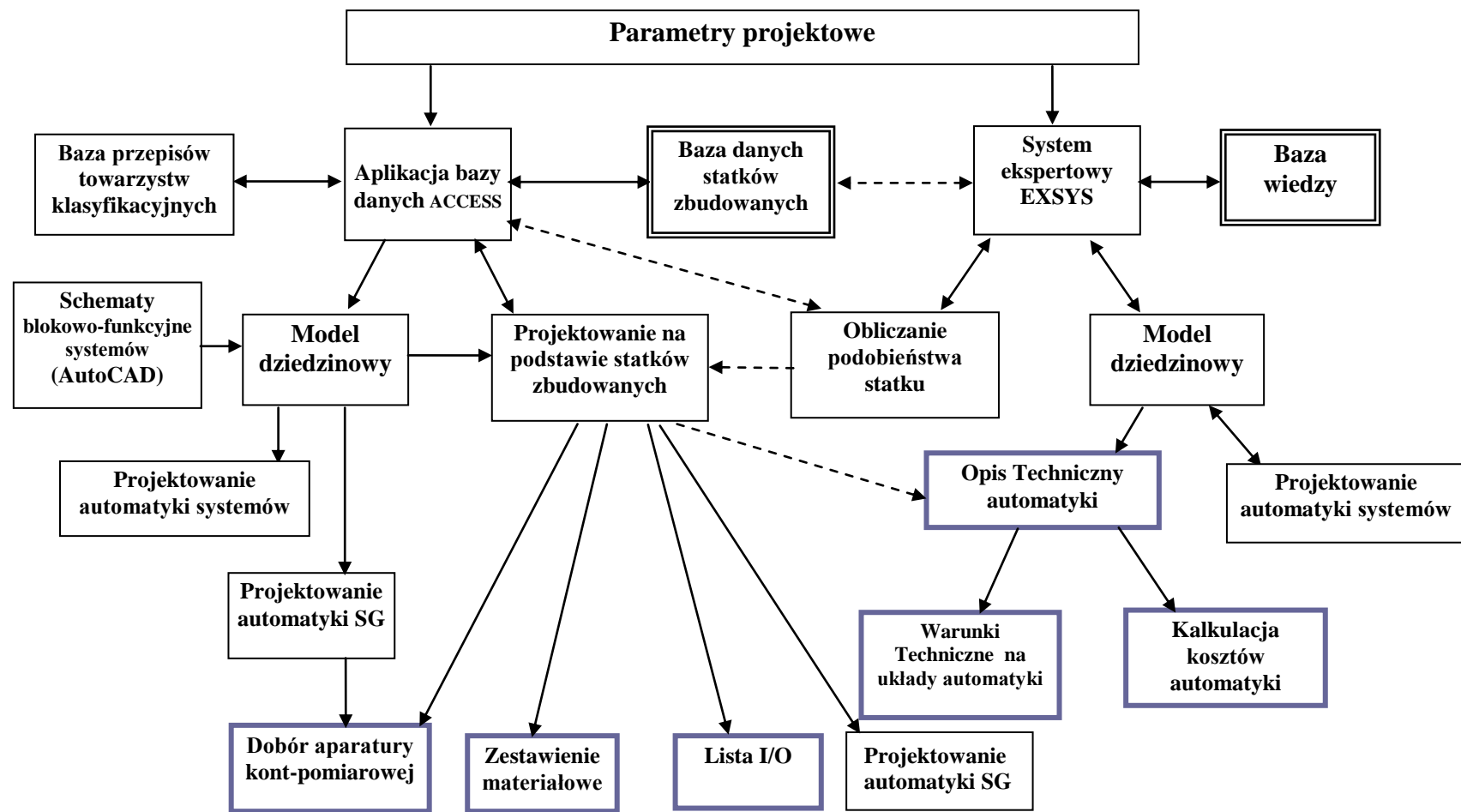
Projektowanie automatyki musi być zgodne z wymaganiami przepisów towarzystwa klasyfikacyjnego, pod którego nadzorem budowany jest statek. W tym celu opracowano aplikację, która na żądanie udostępnia bazę danych przepisów wybranego towarzystwa klasyfikacyjnego.

Sprawdzenie zgodności zastosowanych rozwiązań projektowych może być realizowane za pomocą bazy przepisów towarzystw klasyfikacyjnych. W celu zapewnienia dostępu do treści przepisów zapisano je w postaci kodu HTML, w plikach zewnętrznych, nie związanych z bazą. W aplikacji bazy danych umieszczono przeglądarkę HTML pozwalającą odczytać zapisane przepisy wybranych towarzystw klasyfikacyjnych: PRS oraz LRS..

Przy pomocy aplikacji bazy danych sporządza się jeden z ważniejszych dokumentów projektu automatyki, tj. Zestawienie Aparatury Kontrolno-Pomiarowej, a na jego podstawie: Zestawienie Materiałowe oraz Listę I/O. Zestawienie Aparatury Kontrolno-Pomiarowej może być tworzone zarówno w oparciu o model dziedzinowy, jak i projekty innych statków zbudowanych.

W opracowanym systemie bazy danych przewidziano także możliwość odwoływania się do modułu graficznego funkcjonującego w środowisku programu AutoCAD. 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, zapewniając projektantowi łatwy i dogodny sposób sporządzania uproszczonych schematów systemów automatyki siłowni (mimic pages). Schematy blokowo-funkcyjne tworzone są dla poszczególnych systemów siłowni i wszystkich automatyzowanych obiektów, ich wzajemne powiązania oraz wszystkie elementy automatyki tych systemów. Każdy z tych elementów, odpowiednio oznaczony, znajduje swój odpowiednik w Zestawieniu Aparatury Kontrolno-Pomiarowej stanowiącym podstawowy dokument do dalszego projektowania automatyki siłowni. Nowotworzone schematy systemów automatyki mogą być komponowane zarówno z pojedynczych symboli graficznych i całych bloków opracowanych dla poszczególnych obiektów.

Zakres opracowanego systemu wspomaganie projektowania automatyki siłowni statku został przedstawiony na rys. 33 [27, 31, 34].



Rys. 33. Schemat funkcjonalny systemu wspomagania projektowania automatyki silowni

Linie przerywane oznaczają: istnienie relacji w przypadku systemu zintegrowanego, brak relacji – w przypadku funkcjonowania samodzielnie aplikacji bazy danych Access.

Pełny zestaw danych dla zatwierdzonego projektu przekazywany jest zawsze do bazy celem zapisania go w tabeli statków zbudowanych. Niezbędna jest więc współpraca i ciągła wymiana informacji pomiędzy systemem ekspertowym i systemem bazy danych. Odbywa się ona za pośrednictwem plików tekstowych - system ekspertowy Exsys posiada bowiem możliwość zapisania w dowolnym pliku tekstowym wszystkich danych wejściowych, niezależnie, czy zostały one wprowadzone przez użytkownika, czy odczytane z pliku zapisanego przez aplikację bazy danych.

Współpraca bazy danych z systemem Exsys w zakresie tworzenia opisu technicznego oraz projektowania systemów automatyki siłowni obejmuje:

- w odniesieniu do opisu technicznego:
  - import danych opisu technicznego utworzonego w systemie Exsys do tabeli bazy danych opisów statków zbudowanych,
  - eksport danych opisu technicznego utworzonego w bazie danych do systemu Exsys w celu ewentualnego uzupełnienia go oraz wygenerowania raportu tego opisu.
- w odniesieniu do projektowania poszczególnych systemów automatyki siłowni, jak np. systemu sprężonego powietrza:
  - import z systemu Exsys takich parametrów jak: liczba sprężarek, dostawca SG oraz identyfikatorów punktów kontrolno-pomiarowych, które mają zostać wyszukane w bazie danych,
  - eksport z bazy danych zawartości wyspecyfikowanych punktów odpowiadających danemu dostawcy SG.

Inną funkcją systemu bazy danych jest dostarczanie informacji o zastosowanej automatyce siłowni na statkach zbudowanych, które polega na wyszukaniu:

- informacji tekstowych o układach, systemach i elementach automatyki na statkach zbudowanych według statków i ich typów oraz producentów elementów i układów,
- informacji graficznych w postaci schematów systemów ze statków zbudowanych,
- informacji katalogowych dotyczących układów i elementów automatyki.

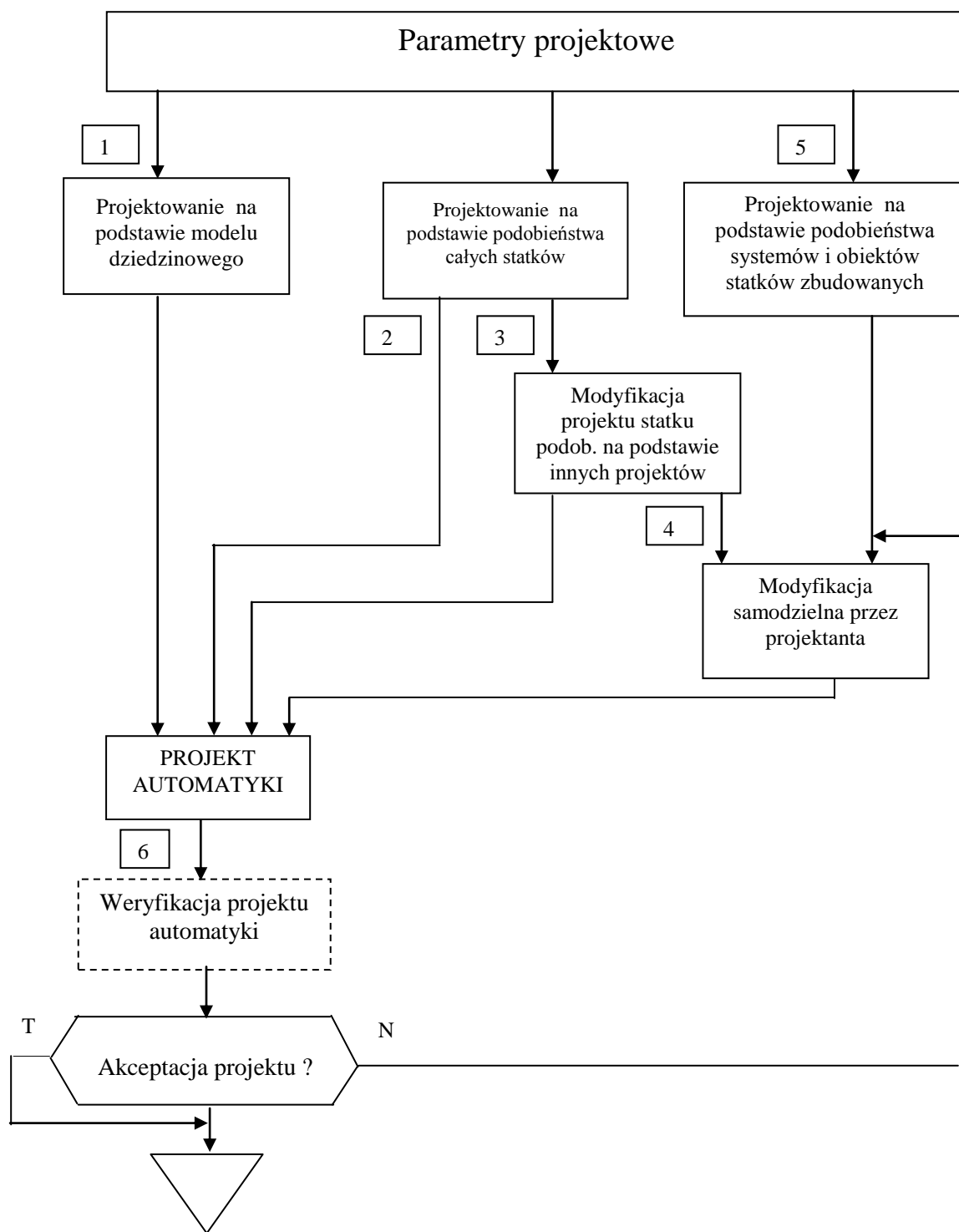
Dla danych tekstowych przewidziano zestawienia w postaci formularzy i raportów w różnych przekrojach tematycznych i na żądanie. Ponadto możliwe jest przywołanie całych gotowych schematów systemów ze statków zbudowanych przechowywanych w bazie danych.

W opracowanym systemie wspomagania projektowania automatyki siłowni statku przewidziano różne tryby pracy projektanta, a mianowicie:

1. na podstawie modelu dziedzicznego, który polega na samodzielnym doborze automatyki przez projektanta na podstawie jego odpowiedzi na zapytania systemu dotyczące np. producenta SG (inny jest zestaw punktów kontrolno-pomiarowych dla silników Sulzera, a inny dla MAN B&W), liczby cylindrów lub turbodmuchaw,
2. na podstawie podobieństwa statków, które polega na automatycznym wyszukaniu statku najbardziej podobnego do projektowanego na podstawie ważonego podobieństwa sumarycznego (całego statku),
3. jw.(p. 2), z możliwością modyfikacji projektu na podstawie automatyki innych statków zbudowanych, o których informacja jest przechowywana w bazie danych,
4. jw. (p.3), z możliwością samodzielnej modyfikacji przez projektanta na podstawie katalogu elementów automatyki,
5. na podstawie wybranych systemów (instalacji) i/lub obiektów automatyki statków zbudowanych, sukcesywnie włączanych do projektu, z możliwością ich samodzielnej modyfikacji przez projektanta,
6. ewentualna weryfikacja utworzonego projektu za pomocą sieci neuronowej.

Tryb tworzenia projektu automatyki w opracowanym systemie wspomagania projektowania automatyki siłowni statku został przedstawiony na rys. 34.





**Rys. 34. Tryb tworzenia projektu automatyki**

Weryfikacja projektu za pomocą sieci neuronowej ma miejsce w przypadku, gdy nie znaleziono statku podobnego, a w tworzonym projekcie występują elementy projektów pochodzące z różnych statków lub został on utworzony na podstawie modelu dziedzinowego.

### 3.2.2 Struktura bazy danych

Do wspomagania projektowania automatyki siłowni statku opracowano strukturę i utworzono relacyjną bazę danych. Struktura bazy danych oparta jest na następujących tabelach źródłowych (nie uwzględniając tabel pomocniczych):

- Tabele statków zbudowanych

*DANE OGÓLNE, NG, ELEKTROWNIA, INSTALACJE, AUTOMATYKA* (statków zbudowanych).

W tabelach tych zawarte są szczegółowe informacje o statkach zbudowanych wykorzystywane zarówno do wyszukiwania danych, jak i obliczania podobieństwa statków.

*OPISY TECH STAT ZBUD* – opisy techniczne statków zbudowanych,

*APAR STAT ZBUD* – struktura punktów kontrolno-pomiarowych zastosowana na statkach zbudowanych,

*SCHEM SYST STAT ZBUD* - schematy blokowo-funkcyjne systemów statków zbudowanych.

- Tabele aktualnie realizowanego projektu

*STATEK PROJ* – zawierająca *PODSTAWOWE WYMAGANIA TECHNICZNE* – narzucone przez armatora wymagane parametry statku projektowanego,

*OPIS TECH STAT PROJ* – opis techniczny statku projektowanego,

*APAR STAT PROJ* – punkty kontrolno-pomiarowe z dobranymi elementami automatyki w postaci czujników, będące podstawą najważniejszych dokumentów takich jak: zestawienie aparatury kontrolno-pomiarowej, zestawienia materiałowe oraz listy wejść/wyjść.

*OBIEKTY AUTOMATYZACJI* – wykaz automatyzowanych obiektów statku, którym przypisywane są elementy automatyki,

*APARATURA* – struktura punktów kontrolno-pomiarowych według producentów silnika głównego będąca podstawą przy doborze automatyki.

*KATALOG ELEM. AUT* – wykaz elementów automatyki różnych dostawców,

*KATALOG UKŁADÓW AUTOMATYKI* – informacje o układach automatyki różnych dostawców wraz ze schematami blokowo-funkcyjnymi.

- Tabele do współpracy bazy danych z systemem ekspertowym Exsys

*OPCJE ZAPISÓW* oraz

*WARIANTY ZAPISÓW* – tabele do tworzenia opisu technicznego w bazie danych we współpracy z systemem Exsys.

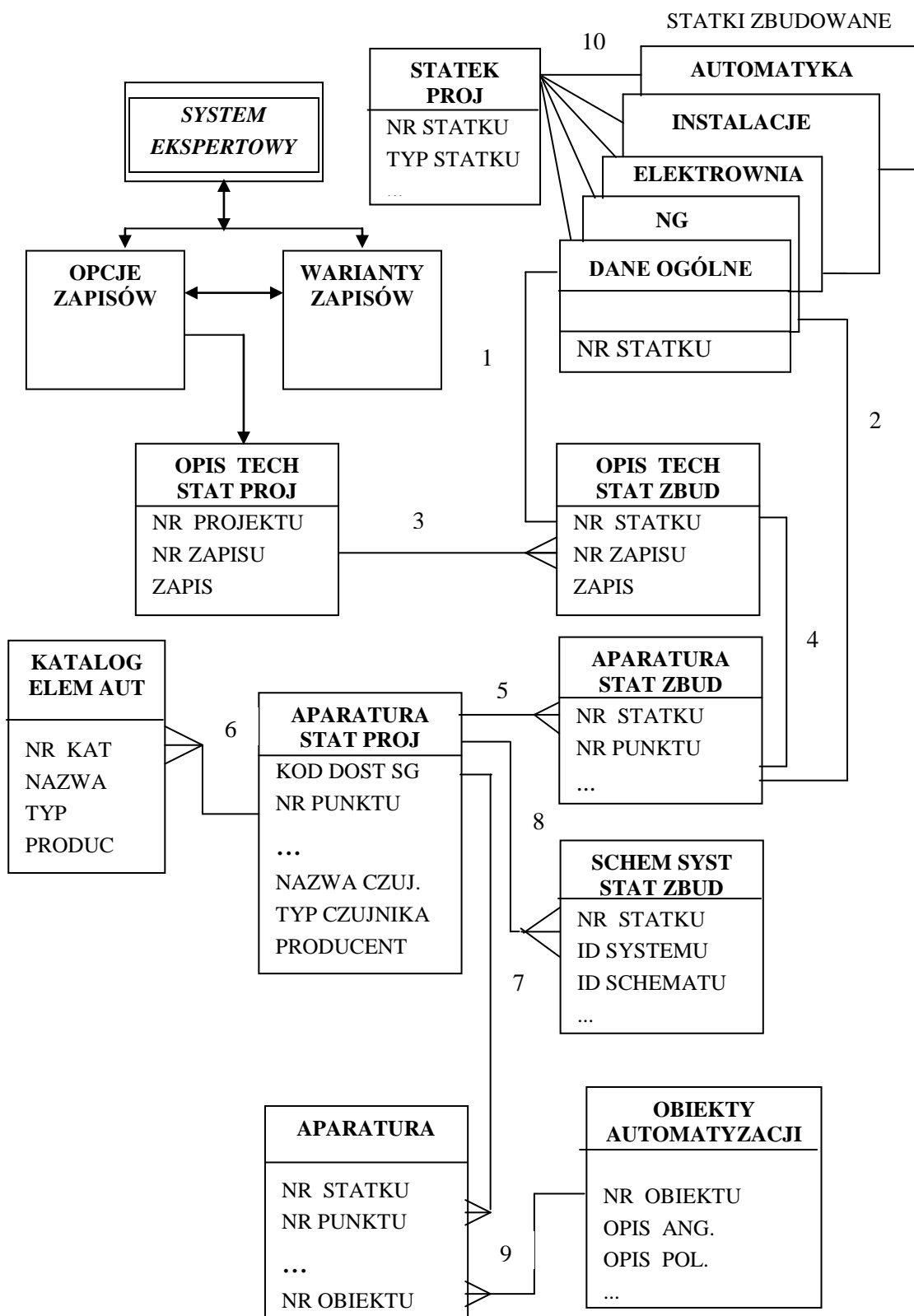
Szczegółowy opis wybranych tabel znajduje się w Załączniku 3.

Schemat struktury systemu bazy danych został przedstawiony na rys. 35, a wraz z uwzględnieniem opisu relacji między tabelami na rys. 36.

Tabele: *OPIS TECH STAT PROJ*, *OPISY TECH STAT ZBUD*, *OPCJE ZAPISÓW* oraz *WARIANTY ZAPISÓW* służą do realizacji opisu technicznego automatyki siłowni w aplikacji bazy danych na podstawie danych statków zbudowanych oraz we współpracy z systemem ekspertowym. W tabeli *OPIS TECH STAT PROJ* zawarte są informacje z zakresu tworzonego aktualnie nie zakończonego opisu technicznego, który może podlegać dalszym modyfikacjom aż do czasu jego definitywnego zakończenia. Wówczas, na polecenie projektanta, jego zawartość zostaje przepisana do tabeli *OPISY TECH STAT ZBUD*, skąd może służyć do tworzenia innych projektów opisu technicznego jako projekt bazowy. Tabela *WARIANTY ZAPISÓW* zawiera wszystkie możliwe rodzaje zapisów w Opisie technicznym projektu, a tabela *OPCJE ZAPISÓW* zawiera wybrane warianty aktualnego Opisu technicznego. Tabele te są niezbędne dla współpracy z systemem Exsys w zakresie tworzenia Opisów technicznych projektu.

7 kwiecień 2006





Rys. 36. Schemat strukturalny bazy danych (ważniejsze tabele i relacje)  
gdzie liczby 1-10 oznaczają numery relacji w bazie danych zawarte w tabeli 33.

Tabela APAR STAT PROJ służy do realizacji Zestawienia aparatury kontrolno-pomiarowej oraz Zestawienia materiałowego w aplikacji bazy danych. W tabeli tej zawarte są informacje o punktach kontrolno-pomiarowych dotyczące tworzonego projektu automatyki. Projekt ten może być realizowany na podstawie tabeli APAR STAT ZBUD, jeśli został wykorzystany projekt statku podobnego lub tabeli APARATURA, zawierającej punkty kontrolno-pomiarowe według producentów SG, jeśli zastosowano model dziedziny.

Oznaczenia ważniejszych pól tych tabel są następujące:

KOD SG /(NR PROJ)– symbol dostawcy silnika głównego (S – SULZER, B – MAN B&W) / numer statku projektowanego lub zbudowanego,

ITEM\_NO – identyfikator punktu kontrolno-pomiarowego (stanu pracy i punktów alarmowych) poprzedzony jednoliterowym oznaczeniem systemu np. C – oleju smarnego,

CODE – 2-6 znakowy kod czujnika według: rodzaju i funkcji stosowany na schematach. Wyjaśnienie poszczególnych pozycji znaków kodu zawarte jest w tabeli 56 (Załącznik 3).

NR OB. – numer automatyzowanego obiektu według tabeli obiektów, której fragment zawiera tabela 54 (Załącznik 3),

OPIS – opis stanu lub urządzenia kontrolowanego (często jest to rodzaj alarmu). Opis podawany jest zarówno w języku polskim, jak i angielskim,

SLD – poziom SLOW DOWN (redukcja prędkości obrotowej SG),

SHD – poziom SHUT DOWN (stop SG),

DIQ – liczba wejść cyfrowych,

AI – typ wejścia analogowego ( ON/OFF, 4-20 mA, PT 100, 0-10 V, potenc., NiCrNi ),

AIQ – liczba wejść analogowych,

ABR – grupy alarmowe – mostek, Wykaz grup alarmowych zawarty jest w tabeli 57 (Załącznik 3).

NAZWA ELEM – nazwa czujnika,

TYP ELEM – typ czujnika,

PRODUCENT – producent czujnika.

Pomocniczo wykorzystywane są tu tabele OBIEKTY AUTOMATYZACJI, które stanowią klasyfikację obiektów automatyzowanych na statku oraz SCHEM SYST STAT ZBUD zawarte w katalogu układów automatyki poszczególnych producentów i zastosowane na statkach zbudowanych. Podobną rolę spełnia tabela KATALOG ELEM AUT, która stanowi katalog czujników i innych elementów różnych producentów dla ich doboru do poszczególnych punktów kontrolno-pomiarowych zawartych w tabeli APAR STAT PROJ przepisywana jest do tabeli APAR STAT ZBUD, gdzie może służyć jako projekt bazowy dla innych projektów automatyki. Może również stanowić podstawę do realizacji najważniejszych dokumentów projektu technicznego, do których należą: Zestawienie aparatury kontrolno-pomiarowej oraz Zestawienie materiałowe.

W strukturze opracowanej bazy danych występuje wiele innych tabel, których tutaj nie przedstawiono z uwagi na ich drugorzędną rolę w tworzeniu projektów automatyki siłowni.

Relacje pomiędzy tabelami ponumerowane jako 1-10 na rys. 36 zostały przedstawione w tabeli 33.

**Tabela 33. Typy relacji w bazie danych**

NR RELACJI	TABELA 1	TABELA 2	TYPY RELACJI
1	DANE OGÓLNE	OPIS TECH STAT ZBUD	1 : 1
2	DANE OGÓLNE	APAR STAT ZBUD	1 : 1
3	OPIS TECH STAT PROJ	OPIS TECH STAT ZBUD	1 ::
4	OPIS TECH STAT ZBUD	APAR STAT ZBUD	1 : 1
5	APAR STAT PROJ	APAR STAT ZBUD	1 ::
6	APAR STAT PROJ	KATALOG	1 ::
7	APAR STAT PROJ	APARATURA	1 ::
8	APAR STAT PROJ	SCHEM SYST STAT ZBUD	1 ::
9	OBIEKTY AUTOMATYZACJI	APARATURA	1 ::
10	STATEK PROJ	DANE STAT ZBUD: OGÓLNE, NG, ELEKTROWNIA, INSTALACJE, AUTOMATYKA	1 ::

gdzie:

1 : 1 – relacja jeden - do – jednego,

1 :: - relacja jeden - do – wielu.

## **4. IMPLEMENTACJA METODY OBLICZANIA PODOBIENSTWA STATKÓW W SYSTEMIE WSPOMAGANIA PROJEKTOWANIA AUTOMATYKI SIŁOWNI**

W rozdziale przedstawiono sposób implementacji algorytmu wyszukiwania z bazy danych statków podobnych przy użyciu wybranych metod obliczania podobieństwa w projektowaniu wstępnym statku dla doboru automatyki siłowni.

Wyspecyfikowano funkcje w zakresie projektowania automatyki realizowane przez system ekspertowy oraz aplikację bazy danych oparte na wykorzystaniu metodologii wnioskowania na podstawie przypadków z logiką rozmytą. Określono ponadto zakres zastosowania modelu dziedzicznego do projektowania automatyki siłowni, który może służyć zarówno do adaptacji, jak i do samodzielnej realizacji przez projektanta statku podobnego.

### **4.1 Wspomaganie projektowania automatyki siłowni okrętowej na podstawie podobieństwa statków**

Projektowanie automatyki rozpoczyna się od określenia obiektów automatyzacji (statek, pędniki, silnik główny, itd.). Brak precyzyjnych informacji o obiektach automatyzacji z innych pracowni zmusza projektanta automatyka do korzystania we wstępnych etapach z doświadczeń ze statków podobnych zaprojektowanych wcześniej oraz standardów stoczni przyjmowanych w większości projektów. W tym celu opracowano algorytm określający podobieństwo, ze względu na automatyzowane systemy i obiekty, statku projektowanego do poszczególnych statków znajdujących się w bazie danych.

W systemie wspomagania projektowania automatyki statku podobieństwo odniesiono do cech charakteryzujących siłownię 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 rozbiciu na pewne grupy cech.

Zbiór rozpatrywanych cech (parametrów) statków został podzielony na podzbiory odnoszące się do: całego statku, napędu głównego, elektrowni oraz następujących systemów okrętowych (instalacji): paliwa, oleju smarowego, wody słodkiej, wody morskiej, sprężonego powietrza, kotłów i systemu pary, zęzowego, balastowego oraz innych.

Wyniki obliczeń podobieństw w zakresie tych podzbiorów określane są jako podobieństwa częściowe.

Badanie podobieństwa obejmuje wybrane parametry takie jak:

- dane ogólne: typ statku, nośność, liczba kontenerów chłodzonych, liczba przewożonych samochodów, towarzystwo klasyfikacyjne, klasa automatyki,
- napęd główny (NG): liczba silników głównych (SG), typ SG, moc SG, prędkość obrotowa SG, liczba śrub napędowych, rodzaj śrub napędowych, liczba przekładni;
- elektrownia: liczba zespołów prądotwórczych typu ZP1, typ ZP1, moc ZP1, prędkość obrotowa ZP1, liczba zespołów prądotwórczych typu ZP2, typ ZP2, moc ZP2, prędkość obrotowa ZP2, liczba prądnic wałowych;
- instalacja paliwa: liczba zaworów paliwa, liczba pomp paliwa, liczba wirówek, liczba filtrów;
- instalacja zęzowa: liczba zaworów zęzowych, liczba pomp zęzowych.

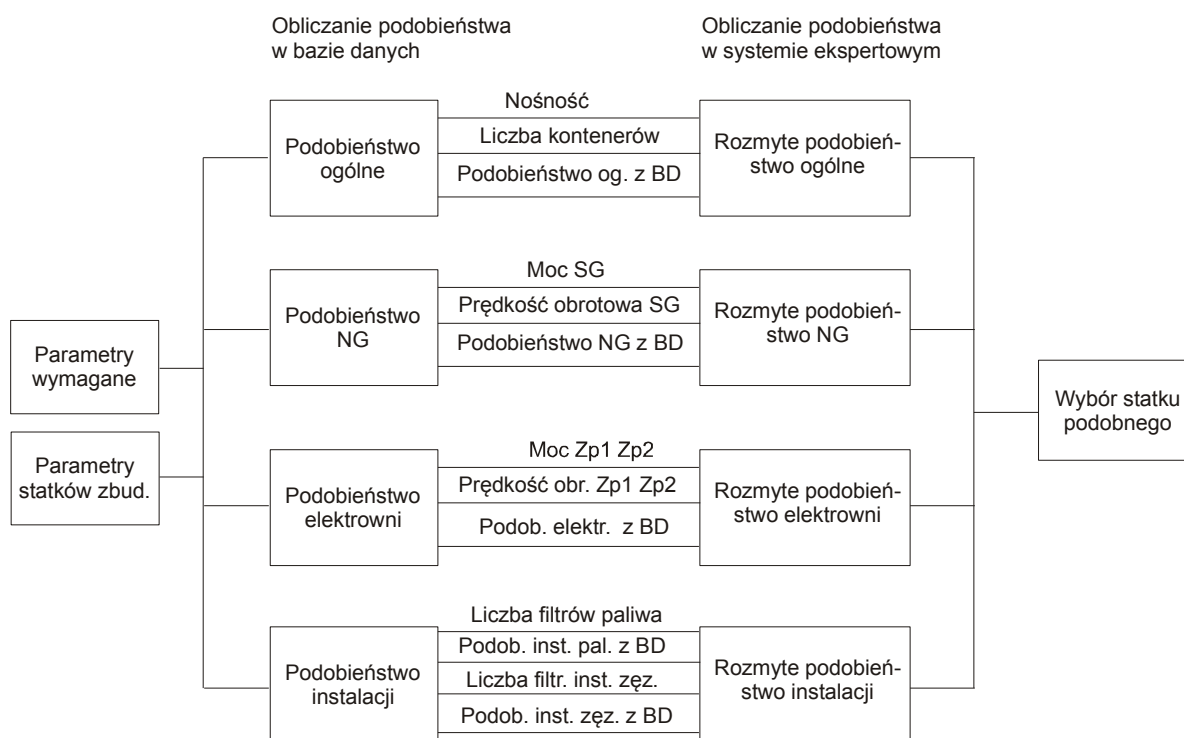
W początkowym etapie w bazie danych obliczane jest podobieństwo pojedynczych parametrów, z uwzględnieniem wag pól wg zależności opisanych w rozdziale 2. Na ich podstawie obliczane są podobieństwa częściowe: danych ogólnych, napędu głównego, elektrowni, wybranych instalacji (paliwa i zęzowej) oraz podobieństwo całego statku jako suma ważona podobieństw częściowych. Logikę rozmytą zastosowano do obliczania podobieństwa wybranych parametrów statku, a także do podobieństw częściowych obliczonych w bazie danych.

Obliczone podobieństwa w aplikacji bazy danych służą do wyszukiwania statków podobnych – w wariantcie bez systemu ekspertowego, lub w wariantcie szerszym – częściowe podobieństwa parametrów nieliczbowych i liczbowych, których wartości zmieniają się w bardzo małym zakresie, przekazywane są do systemu ekspertowego, gdzie poddawane są rozmyciu wraz z parametrami,

których podobieństwo obliczane jest bezpośrednio przy zastosowaniu logiki rozmytej opisanej w p. 2.2.3.

Z systemu Exsys do bazy danych przekazywane są wynikowe maksymalne podobieństwa częściowe wraz z identyfikatorami odpowiadających im statków oraz maksymalne podobieństwo sumaryczne statku jako suma podobieństw częściowych. Na tej podstawie system bazy danych wyszukuje dane tego statku jako statku podobnego.

Przykład schematu poszukiwania statku podobnego przedstawiony został na rys. 37, gdzie: NG – napęd główny, SG – silnik główny, ZP1- zespół prądotwórczy typu 1, ZP2 – zespół prądotwórczy typu 2.



**Rys. 37. Przykład schematu poszukiwania statku podobnego**

Projekt automatyki statku zbudowanego może zostać przyjęty bez żadnych zmian lub podlegać adaptacji zgodnie z wymaganiami projektanta automatyki. Adaptacja projektu statku zbudowanego może być realizowana dwojako:

- na podstawie innych projektów statków zbudowanych,
- w oparciu o model dziedziny.

Adaptacja na podstawie innych projektów statków zbudowanych ma miejsce wówczas, gdy podobieństwa częściowe poszczególnych systemów statku podobnego (o największym podobieństwie sumarycznym) są mniejsze od podobieństw pojedynczych systemów innych statków.

Adaptacja w oparciu o model dziedziny [4] ma miejsce wówczas, gdy w bazie danych nie znaleziono statku wystarczająco podobnego lub znaleziony statek wykazuje stosunkowo małe podobieństwo sumaryczne i projektant rezygnuje z dopasowywania istniejącego projektu na rzecz projektowania samodzielnego.

Na każdym etapie projektowania przewidywana jest możliwość ingerencji projektanta automatyki.

W opracowanym systemie wspomagania projektowania automatyki statku metodologia w zakresie obliczania stopnia podobieństwa oparta została na:

- adaptacji testu identyczności oraz funkcji symetrycznego podobieństwa z dolną granicą zalecaną (2), (3),
- zastosowaniu logiki rozmytej w odniesieniu do wybranych parametrów liczbowych,
- zastosowaniu własnych funkcji podobieństwa: trapezowej, trójkątnej i Gaussa.



Test identyczności zastosowano w odniesieniu do parametrów tekstowych: zal (2): takich jak: typ statku, towarzystwo klasyfikacyjne, klasa automatyki, typ SG, rodzaj śrub, typ ZP1, typ ZP2, typ prądnicy wałowej oraz niektórych parametrów liczbowych takich jak liczba śrub, liczba przekładni oraz liczba ZP1 i ZP2.

Funkcję symetrycznego podobieństwa z dolną granicą: zal (3) odniesiono 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.

Własne funkcje podobieństwa (trapezowa, trójkątna, Gaussa) zastosowano dla doboru NG na przykładzie obliczania podobieństwa SG.

#### **4.1.1 Zastosowanie funkcji obliczania podobieństwa w aplikacji bazy danych**

Do realizacji funkcji wykorzystujących informacje o statkach zbudowanych stosowany jest algorytm wyszukiwania statków podobnych w oparciu o opracowane metody obliczania podobieństwa. Do najważniejszych praktycznych zadań wspomagania projektowania przy zastosowaniu tego algorytmu należą:

- tworzenie opisu technicznego automatyki na podstawie projektów statków zbudowanych,
- dobór aparatury kontrolno-pomiarowej w oparciu o projekty innych statków,
- wyszukiwanie informacji dotyczących automatyki statków zbudowanych wraz z informacją graficzną w postaci schematów wykonaną przy użyciu programu AutoCAD.

Projekt automatyki na podstawie projektów statków zbudowanych może być realizowany:

- w oparciu o projekt statku podobnego lub statku wybranego,
- poprzez dołączanie pojedynczych systemów (obiektów) statków zbudowanych.

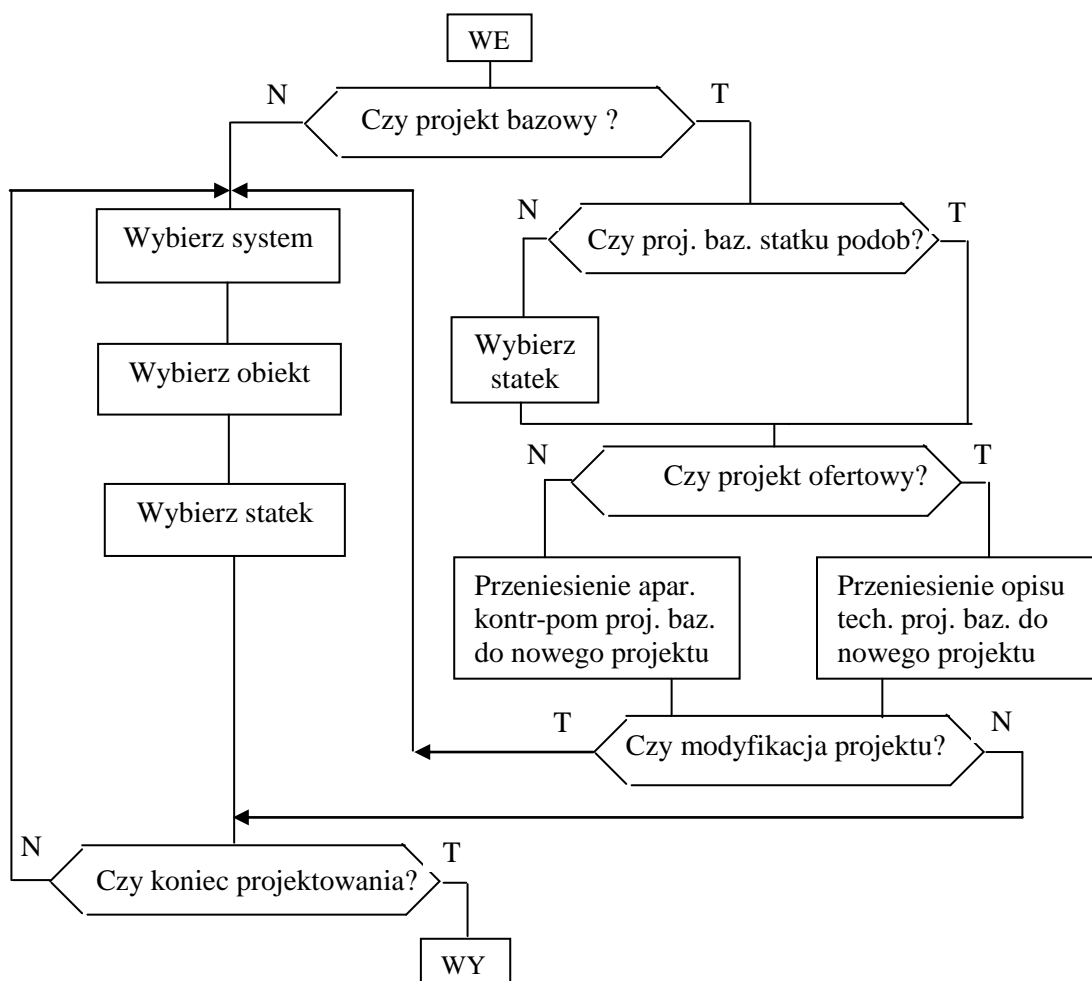
Możliwe tu jest przyjęcie całego projektu statku wcześniej zbudowanego (jako projektu bazowego) lub jego adaptacja na podstawie projektów pojedynczych systemów i (lub) obiektów innych statków przechowywanych w bazie danych.

Realizowany projekt może pochodzić ze statku podobnego tj. automatycznie wyszukanego jako najbardziej zbliżony do statku projektowanego lub może być projektem statku wybranego z listy statków zbudowanych przez projektanta. Wyszukanie statku podobnego odbywa się na podstawie podstawowych wymagań technicznych armatora (zapisanych w tabeli Statek projektowany) takich jak: typ statku, jego nośność, liczba kontenerów chłodzonych itd. Po wyszukaniu takiego statku mogą być realizowane operacje:

- na poziomie projektu ofertowego – przeniesienie opisu technicznego tego statku do tabeli opisu statku projektowanego jako projektu bazowego,
- na poziomie projektu technicznego – przeniesienie wykazu aparatury kontrolno pomiarowej układów automatyki tego statku do tabeli aparatury statku projektowanego jako projektu bazowego.

Projektem bazowym może być również projekt dowolnie wybranego przez projektanta statku zbudowanego, przechowywanego w bazie danych z listy statków zbudowanych, np. B191. W każdym wariancie korzystania z projektu bazowego może on być następnie wielokrotnie modyfikowany w oparciu o systemy i obiekty innych statków zbudowanych w zakresie zarówno opisu technicznego, jak i doboru aparatury, np. poprzez zamianę projektów systemów (obiektów) na pochodzące z innych statków lub może być uzupełniany i korygowany przez dodawanie nowych i (lub) usuwanie istniejących punktów kontrolno-pomiarowych.

Operacja wyszukiwania systemu lub obiektu automatyki statku zbudowanego realizowana jest dwuetapowo: w pierwszym etapie wyszukiwane są zapisy dotyczące poszukiwanego systemu (obiektu) na wszystkich statkach przechowywanych w bazie danych, w drugim etapie wyszukiwane są zapisy dotyczące danego systemu (obiektu) na wybranym statku. Wynik każdego etapu wyświetlany jest na ekranie, dając projektantowi możliwość dokonania przeglądu i porównania aparatury dotyczącej danego systemu (obiektu) na poszczególnych statkach przed ostatecznym wyborem. Na żądanie możliwe jest ponadto przywołanie schematu blokowo-funkcyjnego wybranego systemu statku podobnego. Sieć działań tego procesu przedstawiono na rys. 38.



**Rys. 38. Sieć działań algorytmu tworzenia projektu automatyki silowni**

W celu zilustrowania zastosowanych metod obliczania podobieństwa w aplikacji bazy danych przedstawiono przykładowe dane do projektowania automatyki dotyczące zarówno statków zbudowanych (tabela 35), jak i statku projektowanego (tabela 34).

Na podstawie tych danych mających charakter przykładowy, jako statek podobny, został wytypowany statek B500.

Częstkowe podobieństwa liczbowe przy zastosowaniu funkcji z dolną granicą zawarte są w tabeli 36.

**Tabela 34. Podobieństwa częściowe liczbowe obliczone przy użyciu funkcji z dolną granicą**

Statek	Podob OG	Podob NG	Podob EL	Podob INST	Podob SUM
B191	0,53	0,98	0,70	0,80	0,75
B222	0,29	0,30	0,81	0,94	0,59
B369	0,35	0,81	0,65	0,93	0,68
<b>B500</b>	<b>0,80</b>	<b>0,95</b>	<b>0,91</b>	<b>0,91</b>	<b>0,89</b>
B501	0,19	0,47	0,90	0,85	0,60
B683	0,25	0,73	0,76	0,73	0,62
B684	0,26	0,79	0,68	0,95	0,67

Wynikowe podobieństwa o największej wartości, zarówno częściowe, jak i sumaryczne podobieństwo całego statku, obliczone przy zastosowaniu funkcji z dolną granicą zamieszczono w tabeli 37.

Tabela 35. Wartość parametrów statku projektowanego

Statek	Typ statku	Nośn	Licz kont chl	Licz sam	Tow klas	Kl aut	Licz SG	Typ SG	Moc SG (kW)	Pr obr SG	Licz przekł	Licz śrub nap	Rodz śrub nap	Licz ZP1	Typ ZP1	Moc ZP1	Pr obr ZP1	Licz ZP2	Typ ZP2	Moc ZP2	Pr obr ZP2	Typ PW	Stocznia	Licz zaw pal	Licz zaw zęz
BXXX	konten.	25000	200	100	BV	AUT	1	6RTA 76	16500	110	1	1	stała	3	6ATL25 H	1500	1000	2		1850	800		Gdańska	28	30

Tabela 36. Wartości parametrów statków zbudowanych

Statek	Typ statku	Nośn	Licz kont chl	Licz sam	Tow klas	Kl aut	Licz SG	Typ SG	Moc SG	Pr obr SG	Licz przekł	Licz śrub nap	Rodz śrub nap	Licz ZP1	Typ ZP1	Moc ZP1	Pr obr ZP1	Licz ZP2	Typ ZP2	Moc ZP2	Pr obr ZP2	Typ PW
B191	kontenerowiec	22148	200	100	DNV	AUT	1	6L70	16200	107	1	1	stała	3	8S20 H	1160	1440	1	6S20	950	1000	
B222	masowiec	14800	0	0	LRS	UMS	2	6L46	6300	500	1	1	nast.	3	6L20C	1080	1000	2		1200	920	
B369	chłodniowiec	9860	60	0	DNV	UMS	1	6RTA	11400	102	2	1	stała	3	6ATL	1000	920	1		850	1440	
<b>B500</b>	<b>kontenerowiec</b>	<b>29600</b>	<b>150</b>	<b>120</b>	<b>BV</b>	<b>AUT</b>	<b>1</b>	<b>6RTA</b>	<b>17220</b>	<b>104</b>	<b>0</b>	<b>1</b>	<b>stała</b>	<b>4</b>	<b>HCP</b>	<b>1200</b>	<b>920</b>	<b>1</b>	<b>6S20</b>	<b>1700</b>	<b>800</b>	<b>xxx</b>
B501	RO-RO PAS	9760	0	80	DNV	E0	4	8ZAL	23040	510	2	2	nast.	2	GR 22	1170	1000	2	8R 22	1750	920	
B683	masowiec	49000	0	0	DNV	E0	1	5RTA	8670	102	0	1	stała	3	GR 20	920	920	2		1300	1000	
B684	masowiec	48000	0	0	DNV	E0	1	5S 60	10200	105	2	1	stała	3	KRG-6	1010	2880	1		1260	800	

PW – prądnica wałowa

**Tabela 37. Podobieństwa cząstkowe nieliczbowe oraz wynikowe (przy użyciu funkcji z dolną granicą)**

Statek	Podob OG	Pod wyn OG	Podob NG	Pod wyn NG	Podob EL	Pod wyn EL	Pod INST pal	Pod INST zez	Pod wyn INST	Pod SUM
B191	0,70	0,62	0,50	0,74	0,30	0,50	0,69	0,41	0,55	0,60
B222	0,00	0,15	0,35	0,33	0,60	<b>0,70</b>	<b>0,94</b>	<b>0,55</b>	<b>0,75</b>	0,48
B369	0,00	0,17	0,40	0,60	0,30	0,48	0,83	0,53	0,68	0,48
<b>B500</b>	1,00	<b>0,90</b>	0,60	<b>0,78</b>	0,20	0,55	<b>0,94</b>	0,52	0,73	<b>0,74</b>
B501	0,00	0,10	0,03	0,25	0,45	0,67	0,58	0,45	0,51	0,38
B683	0,00	0,13	0,40	0,56	0,60	0,68	0,60	0,40	0,50	0,47
B684	0,00	0,13	0,40	0,59	0,30	0,49	0,73	0,48	0,61	0,45

Podobieństwa cząstkowe o największej wartości pochodzące z różnych statków przedstawiono w tabeli 38.

**Tabela 38. Największe podobieństwa cząstkowe**

Rodzaj podob	Statek	Wartość podob
POD OG	B500	0,90
POD NG	B500	0,78
POD EL	B222	0,70
POD IN	B222	0,75
POD SUM	B500	0,74

Na podstawie uzyskanych wyników można stwierdzić, iż jako najbardziej podobny został wytypowany statek B500 (jego podobieństwo sumaryczne wynosi 0,74). Pod względem danych ogólnych oraz NG wybrany został ten sam statek. Natomiast ze względu na elektrownię oraz instalacje (inne systemy statku) najbardziej podobny okazał się statek B222, co wynika z tab. 37 i z tab. 38.

#### **4.1.2 Zastosowanie logiki rozmytej do obliczania podobieństwa statków**

Podobne zakresy funkcji przynależności, jak dla NG, które opisano w p. 2.2.2, przewidziane zostały dla innych podobieństw cząstkowych: ogólnego statku, elektrowni oraz instalacji. W celu zilustrowania zastosowanych metod obliczania podobieństwa w aplikacji bazy danych oraz systemie ekspertowym użyto danych dotyczących statku projektowanego, zawartych w tabeli 34, a danych statków zbudowanych – w tabeli 35. W tabeli 40 zamieszczono wybrane dane źródłowe wraz z podobieństwami obliczonymi w aplikacji bazy danych.

Wyniki obliczeń podobieństwa statków w systemie Exsys przedstawione zostały w tabelach: 39 oraz 41. Podobieństwa cząstkowe statku podobnego zawarte w tabeli 39 zostały obliczone z uwzględnieniem przykładowych wag:

**Tabela 39. Podobieństwa cząstkowe statku podobnego**

Rodzaj Podobieństwa	Waga Parametru	Wartość Podobieństwa
POD OG	0,1	0,343
POD NG	0,4	0,420
POD ELEKTROWNI	0,3	0,168
POD INSTALACJI	0,2	0,260

Przykładowe wartości wag dla poszczególnych grup parametrów przyjęte zostały w wyniku arbitralnej decyzji projektanta na podstawie posiadanego doświadczenia.

**Tabela 40. Wartości wybranych parametrów oraz podobieństwa cząstkowe parametrów nieliczbowych przekazywane z aplikacji bazy danych do systemu Exsys**

NR statku	ID statku	Typ statku	Nośn	Licz kont chl	Licz sam	Podob OG	Moc SG (kW)	Pr obr SG	Podob NG	Moc ZP1	Pr obr ZP1	Moc ZP2	Pr obr ZP2	Podob EL	Licz zaw INST pal	Podob INST pal	Licz zaw INST zęz	Podob INST zęz	Podob INST
1	B191	kontenerowiec	22148	200	100	0,70	16200	107	0,50	1160	1440	950	1000	0,30	22	0,60	25	0,00	0,30
2	B369	chłodniowiec	9860	60	0	0,00	11400	102	0,40	1000	920	850	1440	0,30	24	0,80	30	0,07	0,43
3	B501	RO-RO PAS	9760	0	80	0,00	23040	510	0,03	1170	1000	1750	920	0,45	35	0,37	27	0,00	0,18
4	B683	masowiec	49000	0	0	0,00	8670	102	0,40	920	920	1300	1000	0,60	40	0,50	23	0,05	0,28
5	B684	masowiec	48000	0	0	0,00	10200	105	0,40	1010	2880	1260	800	0,30	28	0,47	33	0,05	0,26
6	B500	kontenerowiec	29600	150	120	1,00	17220	104	0,60	1200	920	1700	800	0,20	25	1,00	28	0,10	0,55
7	B222	masowiec	14800	0	0	0,00	6300	500	0,35	1080	1000	1200	920	0,60	25	1,00	30	0,10	0,55

Podobieństwa częściowe o największych wartościach, pochodzące z różnych statków zawarto w tabeli 41.

**Tabela 41. Podobieństwa częściowe o największych wartościach**

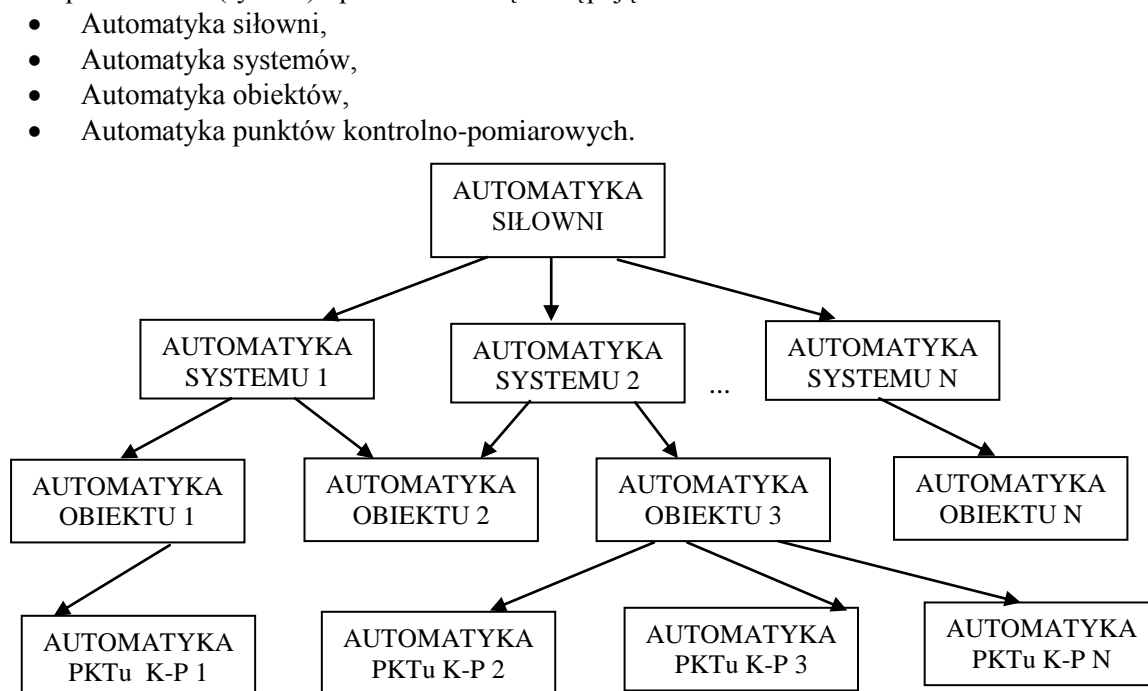
Rodzaj Podobieństwa	Statek	Wartość Podobieństwa
POD OG	B500	0,41
POD NG	B191	0,42
POD ELEKTROWNI	B222	0,24
POD INSTALACJI	B684	0,35
POD SUMARYCZNE	B191	0,30

W systemie Exsys, jako statek najbardziej podobny wytypowany został statek B191 (maksymalne podobieństwo sumaryczne oraz NG), natomiast pod względem danych ogólnych statku został wybrany B500, ze względu na elektrownię - B222, a ze względu na wszystkie instalacje (łącznie) - B684. Projektant automatyki może zatem wybrać, jako bazowy, cały projekt automatyki statku B191, do ewentualnej adaptacji lub może skorzystać z części projektów odpowiednich statków tj: w zakresie ogólnym ze statku B500, NG – B191, elektrowni – B222 oraz instalacji – B684, dokonując oceny możliwości ich zastosowania w realizowanym projekcie. Taka ocena przez system wspomagania projektowania byłaby możliwa w przypadku zbudowania szczegółowego całościowego modelu dziedzicznego do projektowania automatyki siłowni statku.

## 4.2 Optymalizacja projektowania automatyki siłowni

W przypadku znalezienia wielu statków podobnych na podstawie ich parametrów ogólnych przewidziany jest następny etap realizacji poszukiwania najlepszego rozwiązania w oparciu o informacje zawarte w opisie technicznym oraz zestawieniu aparatury kontrolno-pomiarowej zastosowanej na tych statkach.

W tym etapie poszukiwany jest statek o możliwie dużym nasyceniu automatyką przy stosunkowo niedużych jej kosztach – rozmyte kryterium optymalizacji. Dla realizacji tego zadania dokonano klasyfikacji struktury automatyki, która jest wielopoziomowa (rys. 39) i przedstawia się następująco:



**Rys. 39. Poziomy projektowania automatyki siłowni**

Z uwagi na liczne wymagania dotyczące niezawodności, bezpieczeństwa i ekonomiki rozwiązań w kompleksowych systemach automatyki statku najczęściej stosuje się konfigurację rozproszoną z zastosowaniem mikroprocesorowych sterowników programowalnych, lokalne stacje procesowe oraz panele operatorskie połączone interfejsami sieciowymi.

Na poziomie najniższym (sterowników) realizowana jest bezpośrednio funkcja sterowania za pomocą odpowiednich algorytmów dla poszczególnych urządzeń. Pośredni poziom sterowania realizuje funkcje optymalizacji i adaptacji algorytmów sterowania dla całych zespołów urządzeń. Kolejny poziom służy do wizualizacji – system SCADA. Najwyższy poziom sterowania (zarządzania) pełni jedynie funkcję kontrolną.

Dla realizacji algorytmu wspomagania projektowania automatyki siłowni opracowano złożoną strukturę systemu obejmującą:

- Poziomy automatykacji statku: siłowni okrętowej, jej systemów, obiektów i elementów automatyki,
- Warstwy układów automatyki:
  - zerowa – rozproszone jednostki procesowe i sterowniki programowalne,
  - pierwsza – stacje robocze,
  - druga – systemy komputerowe do wizualizacji (system SCADA),
  - trzecia – system zarządzania przebiegiem procesu.

Każdemu poziomowi struktury odpowiadają relacje opisujące zależności strukturalne pomiędzy elementami struktury. Relacje te są następujące:

- statek – system
- system – obiekt
- obiekt – czujnik

Każda z tych relacji zawiera pola z danymi jednoznacznie identyfikującymi statki, systemy, obiekty i czujniki oraz odpowiadające im dwie ceny: katalogowe i ofertowe.

Podobnie w relacjach - między czujnikami, warstwą zerową systemu automatyki i pozostałymi warstwami - występują pola z danymi identyfikującymi jednostki rozproszone, sterowniki programowalne i inne podzespoły oraz ich ceny.

Schemat blokowy projektowania struktury automatyki przedstawiono na rys. 40.

Hierarchiczną strukturę systemu uzyskano przy pomocy zmodyfikowanych relacji jeden do wielu. W tym celu do relacyjnej bazy danych wprowadzono moduł pozwalający na odwołania do tabel poprzez ich nazwy. Źródłem danych dla systemu projektowania są zawarte w tabelach katalogi urządzeń, układów i elementów automatyki. W celu umożliwienia dostępu do tych katalogów, dla realizacji automatycznego wyszukiwania, dla każdego parametru przyjęto jednoznaczny identyfikator. Powiązaniom między poziomami odpowiadają również relacje jeden do wielu.

Dla projektowania automatyki statku opracowano koncepcję algorytmu optymalizacji wielokryterialnej, którego zadania są następujące:

1. Poszukiwanie podobieństwa między strukturami automatyki,
2. Optymalizacja kosztów i zakresu automatyki,
3. Weryfikacja projektu automatyki.

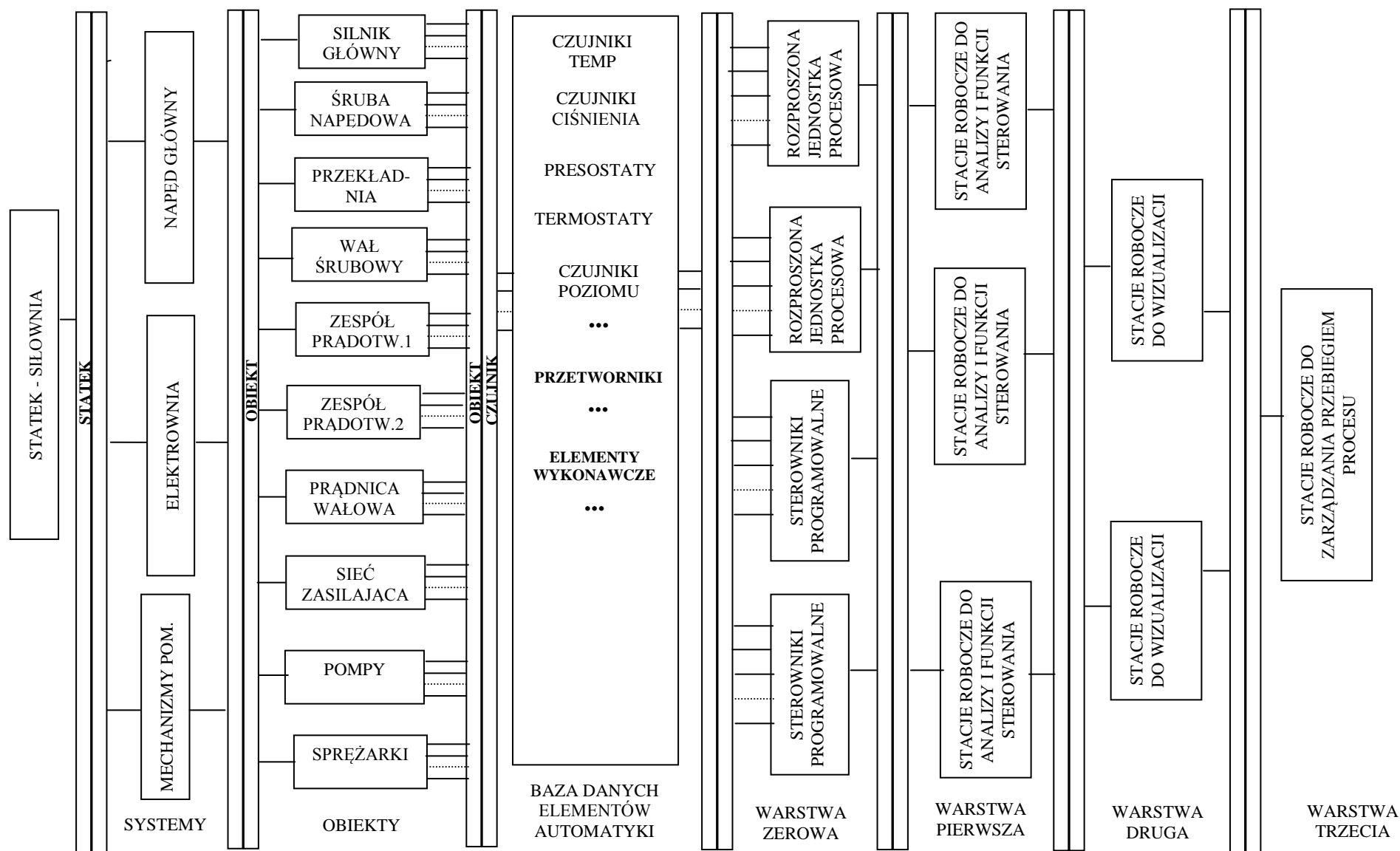
W pierwszym etapie algorytmu poszukiwana jest struktura automatyki statku najbardziej podobnego opisanego liczbą elementów występujących w układzie automatyki (liczba obiektów, czujników, itd.). Poprzez porównanie ze strukturą automatyki innych statków zbudowanych klasyfikuje się ją w kategoriach rozmytych jako: identyczną, lepszą lub gorszą.

W drugim etapie algorytmu, w oparciu o istniejącą strukturę, wyszukuje się w katalogach bazy danych układy i urządzenia automatyki, minimalizując koszty i maksymalizując współczynnik możliwości (zakresu) automatyki do tych kosztów.

W trzecim etapie projektant rozbudowuje uzyskaną strukturę automatyki lub ją upraszcza. Na podstawie powyżej opisanych relacji można uzyskać informacje ogólne dotyczące automatyki siłowni oraz systemów (instalacji) podobne do tych, jakie zawarte są w opisie technicznym.

Poziom **siłowni** opisywany jest tutaj następującymi parametrami:

- liczba wejść analogowych w układzie alarmowym i monitorowania siłowni i systemów ogólnostatkowych,
- liczba wejść binarnych w układzie alarmowym i monitorowania siłowni i systemów



Rys. 40. Schemat blokowy systemu projektowania automatyki



- ogólnostatkowych,
- liczba stanowisk operatorskich w CMK,
- liczba stanowisk operatorskich w sterowni,
- liczba stanowisk operatorskich w biurze pokładowym.
- liczba paneli w pomieszczeniach ogólnych,
- liczba paneli w kabinach mechaników wachtowych,
- liczba regulatorów temperatury w obiegach siłowni,
- liczba wentylatorów siłowni,
- liczba wejść analogowych sterowania systemami i urządzeniami siłowni,
- liczba wejść binarnych sterowania systemami i urządzeniami siłowni,
- liczba wyjść binarnych sterowania systemami i urządzeniami siłowni,
- liczba kontenerów chłodzonych, monitorowanych,
- liczba wejść analogowych w sterowaniu przechylami,
- liczba wejść binarnych w sterowaniu przechylami,
- liczba wyjść binarnych w sterowaniu przechylami
- i in.

Na poziomie **systemu** (instalacji) analizowane są takie parametry jak:

- liczba regulatorów lepkości paliwa,
- liczba sterowań sprężarek powietrza,
- liczba pomp zęzowych głównych,
- liczba pomp zęzowych resztkowych,
- liczba pomp systemu balastowego,
- liczba zaworów sterowanych zdalnie systemu balastowego,
- liczba pomp systemu p. pożarowego,
- liczba zaworów sterowanych zdalnie systemu p. pożarowego,
- liczba zaworów sterowanych zdalnie systemu zęzowego,
- liczba pomp transportu paliwa,
- liczba zaworów transportu paliwa,
- i inne.

Przykładowe wartości poszczególnych parametrów liczbowych zawarte są w Załączniku 3 jako Dane dla opisu technicznego

Informacje dotyczące automatyki obiektów oraz punktów kontrolno-pomiarowych pochodzą z zestawienia aparatury kontrolno-pomiarowej. Są to takie parametry jak:

AI – typ wejścia analogowego ( ON/OFF, 4-20 mA, PT 100, 0-10 V, potenc., NiCrNi ),

AIQ – liczba wejść analogowych,

SEN\_NAME – nazwa czujnika,

SEN\_TYPE – typ czujnika,

RANGE – zakres pracy czujnika

Q-TY – liczba czujników danego typu.

Do **obektów** bezpośrednio odnoszą się następujące parametry:

- NR OB. - numer automatyzowanego obiektu według tabeli obiektów, której fragment zawiera tabela 54 (Załącznik 3),
- DIQ - liczba wejść cyfrowych,
- DOQ - liczba wyjść cyfrowych.

Wykaz liczby wejść oraz wyjść binarnych dla wybranych obiektów przedstawiono w tabeli 42:

**Tabela 42. Przykład wejść i wyjść binarnych dla wybranych obiektów statku**

NR OB	NAZWA	Suma wejść binarnych	Suma wyjść binarnych
1	SILNIK GŁÓWNY /LEWA STR./ L.B.	27	
30	KOCIOŁ POMOCNICZY OPAL.PALIWEM	4	
50	ZESPÓŁ PRĄDOTWÓRCZY	12	
60	POMPA GŁÓWNA WODY MORSKIEJ	5	4
61	POMPA GŁÓWNA WODY SŁODKIEJ N.T.	5	4
101	POMPA ZASILAJĄCA PALIWEM CIĘŻKIM S.G.	5	4
102	FILTR PALIWA S.G. – AUTOMATYCZNY	2	
104	LICZNIK PALIWA S.G.		1
106	WISKOZYMETR PALIWA S.G.		2
125	POMPA TRANSPORTOWA PALIWA	2	2

W drugim etapie zliczane są poszczególne rodzaje wejść analogowych, które występują jako:

- AI - rodzaj wejścia analogowego,
- AIQ - liczba wejść analogowych,

Zliczanie poszczególnych rodzajów wejść, wyjść oraz czujników według systemów i obiektów statku stosowane jest do porównania zakresu automatyki na poszczególnych statkach dla obliczenia ich podobieństwa.

Przykładowe dane dotyczące rodzajów wejść analogowych oraz ich sumarycznych wartości dla poszczególnych obiektów statku przedstawiono w tabeli 43.

**Tabela 43. Wykaz wejść analogowych dla wybranych obiektów statku**

NR OB	NAZWA	AI	Razem AI
1	SILNIK GŁÓWNY /LEWA STR./ L.B.	Pt-100	101
		4-20mA	18
50	ZESPÓŁ PRĄDOTWÓRCZY	4-20mA	3
		Pt-100	4
106	WISKOZYMETR PALIWA S.G.	potenc	1
		4-20mA	1
206	ZBIORNIK POWIETRZA ROZRUCHOWEGO DLA Z.P.	ON/OFF	1
235	POMPA ZEŹOWA /WIROWA/	4-20mA	1

W trzecim etapie sumowane są ilości czujników według rodzajów oraz typów i zakresów pracy jako:

- SEN\_NAME - nazwa czujnika,
- SEN\_TYPE - typ czujnika,
- RANGE - zakres pracy czujnika,
- Q-TY - liczba czujników danego typu.

Wykaz obiektów oraz przypisanej im liczby czujników (według nazwy) dla wybranego statku przedstawiono w tabeli 44.

**Tabela 44. Wykaz i liczba czujników dla wybranych obiektów statku**

NR OB	NAZWA	Nazwa czujnika	Suma czujników
1	SILNIK GŁÓWNY /LEWA STR./ L.B.	4-20mA	1
		detector	3
		diff.presost.	1
		float	1
		flow sensor	2
		level sensor	3
		NICRAL	2
		pickup	1
		presostat	9
		Pt-100	18
		thermostat	1
		transducer	7
30	KOCIOŁ POMOCNICZY OPAL.PALIWEM	level sensor	3
		transducer	1
50	ZESPÓŁ PRĄDOTWÓRCZY	diff.presost.	1
		presostat	2
		Pt-100	3
		thermostat	1
		transducer	1
60	POMPA GŁÓWNA WODY MORSKIEJ	presostat	1
		transducer	1

W odniesieniu do **punktów kontrolno-pomiarowych** analizowane są następujące informacje:  
 ITEM\_NO – identyfikator punktu kontrolno-pomiarowego (stanu pracy i punktów alarmowych)  
 poprzedzony jednoliterowym oznaczeniem systemu np. C – oleju smarnego,  
 CODE – 2-6 znakowy kod czujnika według: rodzaju i funkcji stosowany na schematach, Wyjaśnienie poszczególnych pozycji znaków kodu zawarte jest w tabeli 56 (Załącznik 3).

#### **4.3 Tworzenie dokumentacji projektowej automatyki siłowni w systemie ekspertowym oraz aplikacji bazy danych**

Zastosowanie systemu ekspertowego do wspomagania projektowania automatyki siłowni statku znacznie wspomaga proces projektowy poprzez wykorzystanie reguł wiedzy opracowanego systemu oraz dużego zbioru informacji zawartego w bazie danych o statkach zbudowanych, ich obiektach, elementach i układach automatyki. Realizując system z bazą wiedzy wspomagający tworzenie projektu układów automatyki skoncentrowano się na opracowaniu metodologii procesu projektowania wybranych i charakterystycznych fragmentów automatyki statków.

Wspomaganie projektowania automatyki w tym systemie obejmuje :

- tworzenie opisu technicznego automatyki w zakresie projektu technicznego i ofertowego,
- tworzenie warunków technicznych i zapytań ofertowych na urządzenia automatyki,
- kalkulację kosztów automatyki,
- opracowanie zestawienia aparatury kontrolno-pomiarowej oraz zestawienia materiałowego,

- projektowanie instalacji na przykładzie systemu sprężonego powietrza.

#### 4.3.1 Tworzenie opisu technicznego

Wspomaganie tworzenia opisu technicznego automatyki siłowni statku przez system ekspertowy dotyczy projektu samodzielnego bez korzystania z rozwiązań podobnych. Na podstawie odpowiedzi projektanta powstaje opis techniczny pełny, przewidziany dla projektu technicznego. Na jego podstawie tworzony jest automatycznie opis skrócony dla projektu ofertowego.

Przy tworzeniu opisu technicznego przyjęte zostały następujące założenia:

- opis techniczny ofertowy powinien być możliwie krótki, ale projektant który go opracowuje, musi przeanalizować pełny zakres automatyki. Na żądanie system wygeneruje jego skróconą wersję, jako opis techniczny ofertowy.
- na etapie projektu technicznego opis techniczny jest opisem ofertowym zatwierdzonym przez armatora po ewentualnej jego korekcie,
- na poziomie projektu kontraktowego opis techniczny jest identyczny z opisem technicznym na poziomie projektu technicznego.

Opis techniczny tworzony w systemie ekspertowym określony jest w pełni przez zestaw danych wejściowych wprowadzonych do tego systemu. Dane te mogą być w całości przekazane przez użytkownika lub pobrane z bazy danych, w całości lub w części (wówczas uzupełniającą część informacji wejściowych musi wprowadzić użytkownik).

W bazie wiedzy systemu zawarte są reguły określające jakie fragmenty tekstu będą wstawione w odpowiednie miejsca opisu technicznego, w zależności od informacji wejściowej. Wydruk fragmentu bazy wiedzy dla wspomaganie tworzenia opisu technicznego zamieszczony został poniżej. Utworzona baza wiedzy została wstępnie zweryfikowana przez projektantów automatyki okrętowej.

1 TOWARZYSTWO\_KLASYFIKACYJNE może być jednym z następujących: PRS, DNV, GL, LR, BV, RS.

2 KLASA\_STEROWNI identyfikowana jako: N, W1, W1-OC lub brak.

3 MIEJSCE\_INSTALOWANIA\_PANELI\_AUTOMATYKI\_ELEKTROWNI może przyjmować wartość w pulpicie automatyki lub w rozdzielnicy głównej.

4 SPOSÓB\_STEROWANIA\_URZĄDZENIAMI\_SIŁOWNI może być:

- zintegrowany z komputerowym układem alarmów, monitoringu i sterowania
- w oparciu o sterowniki programowalne (PLC)
- przy pomocy niezależnych układów sterowania

5 DRUKARKA\_STANÓW\_ALARMOWYCH\_I\_REJESTRACJI\_DANYCH występuje lub jej brak.

6 CZĘSTOTLIWOŚĆ\_SIECI\_STATKOWEJ może przyjmować wartość 50 Hz lub 60 Hz.

7 MIERNIKI\_WAŻNIEJSZYCH\_PARAMETRÓW\_SYSTEMÓW\_SIŁOWNIANYCH występują w pulpicie CMK lub nie występują.

8 RODZAJ\_ŚRUBY: stała lub nastawna.

9 LICZBA\_SILNIKÓW\_GŁÓWNYCH: 1 lub >1.

10 PRĄDNICA\_WAŁOWA: jest lub brak.

11 RODZAJ\_REGULATORA\_PRĘDKOŚCI\_OBROTOWEJ\_SG: Elektroniczny lub Hydrauliczny.

12 POWIĄZANIE\_ZDALNEGO\_STEROWANIA\_NAPĘDEM\_GŁÓWNYM\_ZE\_ZINTEGROWANYM\_SYS  
TEMEM\_NAWIGACYJNYM\_(INS): istnieje lub brak.

13 FUNKCJE\_PMS: Automatyka "Black-Out Start" lub Pełna automatyka.

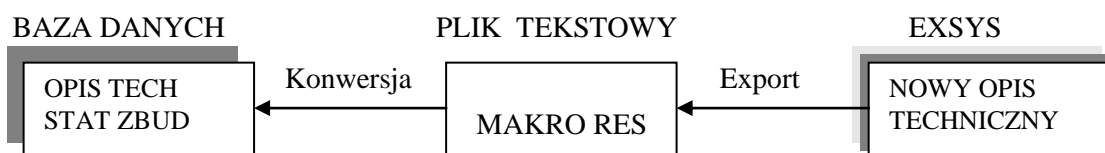
14 FUNKCJE\_PMS\_DODATKOWE\_-\_PRZYGOTOWANIE\_REZERWY\_MOCY: jest lub brak.

15 FUNKCJE\_PMS\_DODATKOWE\_-\_ "SECURED\_RUNNING": jest lub brak.

Pełny zestaw danych, dla zatwierdzonego projektu (i opisu) przekazywany jest zawsze z systemu ekspertowego do aplikacji bazy, celem zapisania go w tabeli statków zbudowanych. Niezbędna jest więc współpraca i ciągła wymiana informacji pomiędzy systemem ekspertowym i bazą danych.

Współpraca systemu Exsys z bazą danych obejmuje:

- przekazanie (export) danych nowego opisu technicznego z systemu Exsys do bazy danych, za pośrednictwem makra RES, jako części projektu statku zbudowanego (rys. 41),
- import danych z bazy danych do systemu Exsys dla dokonania modyfikacji lub uzupełnienia opisu i sporządzenia raportu za pośrednictwem pliku tekstowego OPIS TECH.txt (rys. 42).



**Rys. 41. Export danych opisu technicznego z systemu Exsys do bazy danych**



**Rys. 42.. Import danych opisu technicznego z bazy danych do systemu Exsys**

Przykładowy zestaw danych przekazywanych przez system Exsys do bazy danych zamieszczony został w Załączniku 3. W zestawie tym, w pierwszej części, występują poszczególne pytania oraz wybrane dla nich odpowiedzi.

System ekspertowy nie zawsze musi uruchamiać oprogramowanie bazy danych Access. Może to mieć miejsce w przypadku tworzenia opisu technicznego próbnego (lub wariantowego) w oparciu o wcześniej przygotowane dane, zapisane w pliku lub podawane na bieżąco. Próbne lub wariantowe opisy techniczne nie powinny być zapisywane w bazie danych. Access może być również uruchomiony bezpośrednio przez użytkownika (niezależnie od systemu Exsys) w celu przygotowania pliku z danymi do opisu, lub zapisania go w bazie danych.

Proces przygotowania opisu technicznego, realizowany przez system ekspertowy, przedstawić można w postaci schematu blokowego (rys. 43).

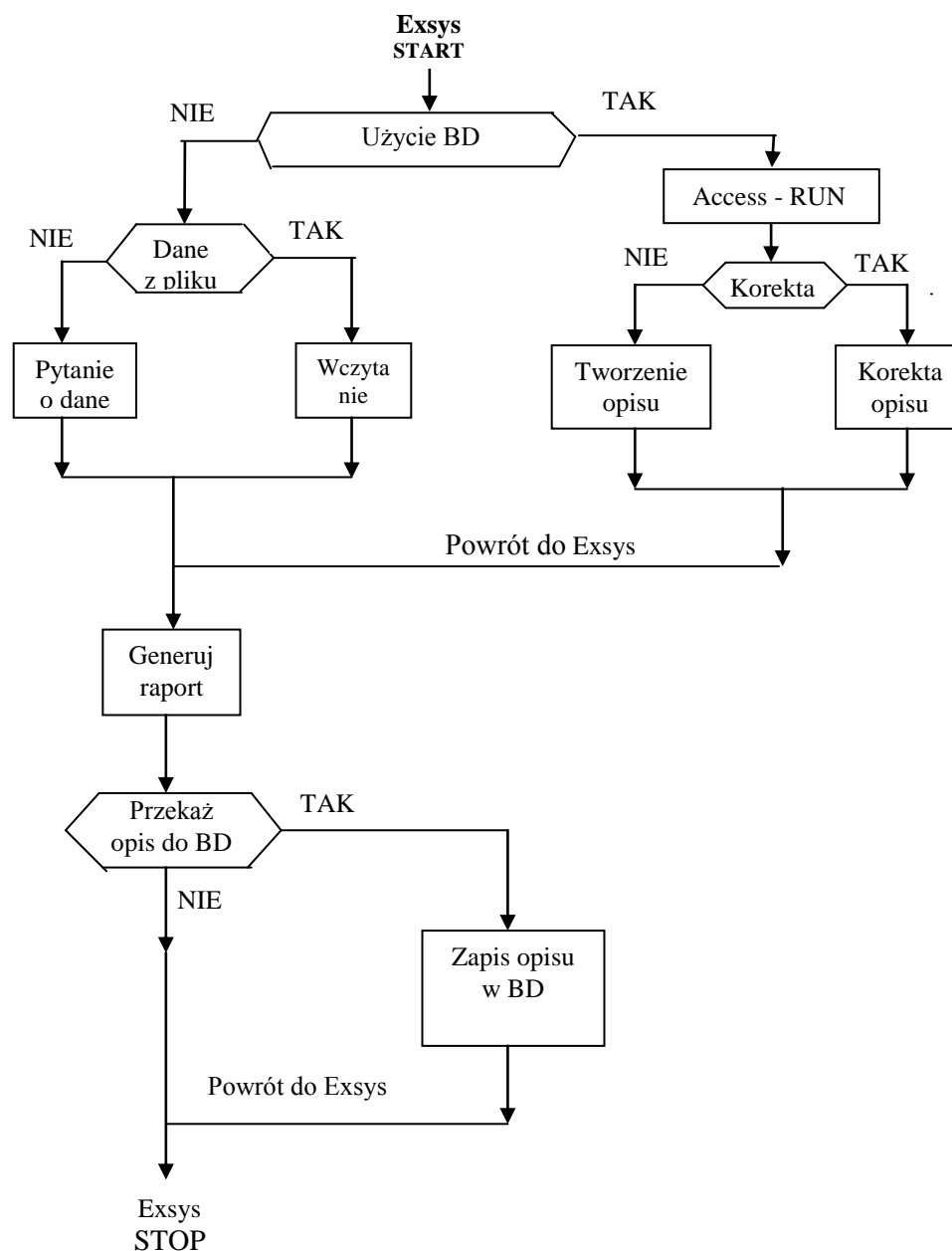
Opis techniczny może być również tworzony na podstawie przechowywanych w bazie danych opisów dotyczących statków zbudowanych. Opis techniczny składa się bowiem z części stałej oraz z elementów wymiennych zawierających zapisy charakterystyczne dla danego statku. W bazie danych zapisy te, w zakresie dotyczącym projektowania automatyki zostały zapisane jako Opcje zapisów (aktualne elementy zmienne opisu technicznego) (Załącznik 3 - tab. 65). Wszystkie możliwe odpowiedzi użytkownika zapisywane są jako Warianty zapisów zawarte w tabeli 66 - (Załącznik 3).

Fragment pliku danych przykładowego opisu technicznego statku został przedstawiony w tabeli 45.

Projektant może dokonać zmian istniejącego opisu dokonując bezpośrednio zmiany treści zapisów lub skorzystać z możliwości zastąpienia wybranych zapisów na pochodzące z innych statków.

Kompletowanie danych dla opisu technicznego może odbywać się na poziomie:

- całego statku,
- grupy zapisów, np. dotyczących NG, elektrowni, innych systemów statku,
- pojedynczych zapisów, np. sterowanie NG, tryb pracy siłowni.



**Rys. 43. Schemat blokowy działania systemu**

Opis techniczny może być tworzony na podstawie opisów statków zbudowanych kilkoma sposobami:

- na podstawie opisu statku najbardziej podobnego do projektowanego (STATEK PODOBNY).
- na podstawie opisu wybranego statku zbudowanego (z listy wszystkich statków zbudowanych, których opisy techniczne przechowywane są w bazie danych) jako opisu bazowego (Projekt bazowy).
- poprzez sukcesywne dołączanie fragmentów opisów dotyczących poszczególnych grup zapisów (Dołączenie systemu).
- w dalszym etapie opis techniczny może być modyfikowany dwojako:
- ręcznie – przez projektanta w formie korekty dokonanej w obrębie całej grupy zapisów (Wybór systemu do aktualizacji) lub pojedynczych zapisów np. zmiana zapisu „towarzystwo klasyfikacyjne” z DNV na GL (Zapis do zmiany).

**Tabela 45. Fragment opisu technicznego statku w aplikacji bazy danych**

PROJEKT	NR ZAPISU	OPCJA	ZAPIS
B500	1	TOWARZYSTWO_KLASYFIKACYJNE	BV
B500	2	KLASA_STEROWNI	W1-OC
B500	3	MIEJSCE_INSTALOWANIA_PANELI_AUTOMATYKI_ELEKTR	w pulpicie automatyki
B500	4	SPOSÓB_STEROWANIA_URZĄDZENIAMI_SIŁOWNI	zintegrowany z
B500	5	DRUKARKA_STANÓW_ALARMOWYCH_I_REJESTRACJI_DAN	występuje
B500	6	CZĘSTOTLIWOŚĆ_SIECI_STATKOWEJ	50 Hz
B500	7	MIERNIKI_WAŻNIEJSZYCH_PARAMETRÓW_SYSTEMÓW_SIŁ	występują w pulpicie
B500	8	RODZAJ_ŚRUBY	nastawna
B500	9	LICZBA_SILNIKÓW_GŁÓWNYCH	>1
B500	10	PRĄDNICA_WAŁOWA	jest
B500	11	RODZAJ_REGULATORA_PRĘDKOŚCI_OBROTOWEJ_SG	Elektroniczny
B500	12	POWIĄZANIE_ZDALNEGO_STEROWANIA_NAPĘDEM_GŁ.M.	istnieje
B500	13	FUNKCJE_PMS	Pełna automatyka
B500	14	FUNKCJE_PMS_DODATKOWE_-	jest
B500	15	FUNKCJE_PMS_DODATKOWE_- "SECURED_RUNNING"	jest
B500	16	WYPOSAŻENIE_STATKU_W_REJESTRATOR_MANEWRÓW_Z	występuje
B500	17	ZDALNY_POMIAR_POZIOMÓW_CIECZY_W_ZBIORNIKACH	jest
B500	18	KONFIGURACJA_SYSTEMU_KOMPUTEROWEGO	scentralizowany
B500	19	STANOWISKO_OPERATORSKIE_W_STEROWNI	jest
B500	20	STANOWISKO_OPERATORSKIE_W_BIURZE_POKŁADOWYM	jest

- automatycznie - poprzez wymianę całej grupy zapisów na zapisy pochodzące z innego wybranego statku np. zapisy dotyczące elektrowni będą pochodzić ze statku B501, zapisy dotyczące napędu głównego – ze statku B369 (Zmiana systemu na wybrany ze statku).

Opis techniczny może być także tworzony bez projektu bazowego poprzez kolejne dołączanie grup zapisów pochodzących z wybranych statków, np. zapisy dotyczące elektrowni - ze statku B191, a instalacji – ze statku B501 (Dołączenie systemu).

Możliwość użycia tych opcji ilustruje rys. 57 - Załącznik 2, (menu tworzenia opisu technicznego).

Opis techniczny utworzony w aplikacji bazy danych może zostać przekazany do systemu ekspertowego Exsys, gdzie sporządzony zostanie odpowiedni raport tego dokumentu.

Dane określające szczegóły opisu technicznego (wybrane przez projektanta odpowiedzi na pytania i podane wartości liczbowe) będą wykorzystane przy tworzeniu warunków technicznych dołączanych do zapytania ofertowego dotyczącego układu automatyki.

#### **4.3.2 Wspomaganie tworzenia warunków technicznych na układy automatyki**

Warunki techniczne na układy automatyki siłowni statku stanowią dokument tekstowy będący załącznikiem do zapytania ofertowego w zakresie automatyki budowanego statku. Duża część informacji tego dokumentu pokrywa się z informacjami zawartymi w opisie technicznym. Przyjęto, że warunki techniczne mogą być tworzone po wykonaniu opisu technicznego. Dotyczą one zazwyczaj następujących układów:

- układu zdalnego sterowania napędem głównym,
- układu automatyki elektrowni statku,
- układu alarmowego i sterowania urządzeniami pomocniczymi siłowni.

Głównym zadaniem systemu jest generowanie tekstu dla określenia warunków technicznych na układy automatyki. Odbywa się to zgodnie ze specyfikacją napisaną w specjalnym języku i zawartą w pliku tekstowym. Uzyskany dokument zapisany zostaje w pliku tekstowym.

Fragmenty bazy wiedzy dla tworzenia warunków technicznych na układy automatyki przedstawiono poniżej. Poprzedzająca część bazy wiedzy jest analogiczna, jak przy tworzeniu opisu technicznego.

#### 55 DODATKOWE OBOWIĄZUJĄCE PRZEPISY

SOLAS 1974

MARPOL 73/78

Rules of navigation of Suez Canal Authority

Rules of navigation of Panama Canal Authority

Maritime laws and regulations of Bahama Islands

56 Wyposażenie każdego zespołu prądotwórczego przez producenta :w niezbędne czujniki i elementy wykonawcze do współpracy z układem automatyki elektrowni lub w autonomiczny układ rozruchu, nadzoru i bezpieczeństwa

57 RODZAJ\_SILNIKA\_GŁÓWNEGO: rewersyjny lub nierewersyjny

58 Praca równoległa zespołów prądotwórczych z prądnicą wałową: krótkotrwała lub długotrwała

137 KLASA\_STATKU

138 ZAKRES\_PLYWANIA

139 BANDERA

140 ARMATOR

141 L\_ZESP\_PR (Liczba zespołów prądotwórczych)

142 TEMP\_OT (Maksymalna temperatura otoczenia dla ciągłej pracy instalacji elektrycznej)

143 JEZYK\_DOK (Język dokumentacji technicznej - na pierwszy statek)

144 TERM\_DOST\_DOK (Termin dostarczenia dokumentacji - np. 21 dni od podpisania kontraktu)

145 RODZAJ\_SG (Rodzaj silnika głównego np. nierewersyjny)

146 TYP\_SG (Typ silnika głównego np. MAN/B&W 6L 58/64)

147 MOC\_SG (Moc silnika głównego w kW)

148 OBROTY\_SG (Prędkość obrotowa silnika głównego w obr/min)

149 PRODUCENT\_SG (Producent silnika głównego (np. H. Cegielski Poznań)

150 TYP\_REG\_OBR (Typ regulatora obrotów silnika głównego np. DEGO III)

151 PROD\_REG\_OBR (Producent regulatora obrotów silnika głównego np. ABB)

### 4.3.3 Kalkulacja kosztów automatyki

Jednym z bardzo ważnych zadań projektanta prowadzącego projekt w pierwszym etapie projektowania jest optymalne oszacowanie ceny proponowanych rozwiązań oraz nieustanne śledzenie kosztów w następnych etapach aż do zdania statku do eksploatacji. Zawyżenie kosztów projektu może spowodować utratę kontraktu, a zbyt niskie koszty mogą prowadzić do jego nieopłacalności.

Zakres wyposażenia automatyki projektowanego statku, zawarty jest w bazie danych, jest wcześniej definiowany w opisie technicznym tworzonemu przy zastosowaniu systemu ekspertowego na podstawie odpowiedzi projektanta, który typuje dostawców głównych urządzeń automatyki. Obliczenia szacunkowe kosztów automatyki mogą być dokonywane prawie całkowicie w oparciu o informacje zawarte w opisie technicznym automatyki. Z tego powodu jego realizacja oparta została o istniejącą już bazę wiedzy dla opisu technicznego.

Przed przystąpieniem do obliczania kosztów wyposażenia automatyki projektant powinien podać jeszcze kilka niezbędnych danych technicznych zawartych w innych rozdziałach opisu technicznego i nie zawartych w bazie danych oraz informacje o producentach.



Na etapie projektu ofertowego, ze względu na brak jeszcze wielu danych technicznych, a także na bardzo ograniczony czas na opracowanie oferty kalkulacja cenowa polega na przybliżonym oszacowaniu kosztów na podstawie kontraktów statków wcześniej zbudowanych, uwzględniając zakres wyposażenia ujęty w opisie technicznym statku.

Zadaniem projektanta na tym etapie jest zebranie jak najwięcej informacji dla opracowania wstępnej koncepcji rozwiązań technicznych, niezbędnych elementów układu i ich wyceny. Dla wysondowania cen u dostawców tworzone są warunki techniczne na ważne i kosztowne urządzenia, jeśli czas na to pozwala.

Dokumentacja techniczna projektu ofertowego podlega następnie dalszym uściśleniom i korektom, a kalkulacja kosztów wykonywana jest w oparciu o uzyskane oferty na urządzenia, i materiały, początkowo od potencjalnych dostawców, a następnie w oparciu o zawarte kontrakty.

Wyposażenie automatyki projektowanego statku, z punktu widzenia stoczni, obejmuje:

- wyposażenie automatyki dostarczane razem z urządzeniami siłowni przez producentów tych urządzeń,
- wyposażenie automatyki zintegrowanych systemów siłowni dla konkretnego statku według wymagań armatora, kupowane oddzielnie przez stocznię.

W pierwszej z wymienionych grup koszty automatyki wyposażenia nie są wyodrębniane i są ujmowane razem z zamawianym wyposażeniem siłowni w innych grupach kalkulacyjnych.

Druga grupa wyposażenia wymaga opracowania szczegółowych założeń dla dostawców układu komputerowego oraz jego całej infrastruktury. Standardowa lista tego wyposażenia zawarta jest w Załączniku 1 jako Kalkulacja kosztów automatyki.

Dla celów kalkulacji ważniejsze cenowo pozycje zostały wyróżnione przez podanie kodów kilku dostawców, oraz cen standardowych podawanych przez tych dostawców. Ceny standardowe odnoszą się do przeciętnie oferowanego zakresu wyposażenia automatyki. Są one korygowane w górę lub w dół w zależności od statku i jego stopnia automatyzacji, co wynika z jego opisu technicznego, Skorygowana cena stanowi tzw. cenę obliczeniową.

Prowadzenie obliczeń kosztów może być dokonywane dwiema metodami:

- metodą szacunkową – we wstępnych etapach projektowania, na podstawie opisu technicznego i cen standardowych,
- metodą dokładną – w dalszych etapach projektowania, na podstawie zestawienia aparatury kontrolno-pomiarowej i zestawienia materiałów oraz danych z ofert i kontraktów na zakup wyposażenia automatyki.

Wyniki obliczeń przeprowadzonych metodą szacunkową w systemie ekspertowym są zapisywane w bazie danych, gdzie będą systematycznie aktualizowane. celem wygenerowania wyników końcowych.

W oparciu o dane dla opisu technicznego szacowana jest cena automatyki. . Bazę wiedzy dla opisu technicznego rozszerzono o niezbędne dodatkowe pytania, zmienne i reguły zawarte w prezentowanym poniżej fragmencie.

56. ANALIZATOR\_MGŁY\_OLEJOWEJ: występuje lub brak

57 ANALIZATOR\_ZAOLEJENIA\_ZĘZ: występuje lub brak

58 SYSTEM\_OBWODÓW\_ISKROBEZPIECZNYCH: występuje lub brak

59 BARIERY\_ZENERA\_EX: występują lub brak

60 UKŁAD\_DIAGNOSTYKI\_SG: występuje lub brak

61 PULPIT\_ZĘZOWO\_BALASTOWY: występuje lub brak

62 WYBIERZ DOSTAWCĘ KOPUTEROWEGO UKŁADU ALARMÓW I MONITORINGU: DA1, DA2, DA3

63 WYBIERZ DOSTAWCĘ UKŁADÓW AUTOMATYKI I STEROWANIA URZĄDZEŃ SIŁOWNI: DB1, DB2, DB3

64 WYBIERZ DOSTAWCĘ ZINTEGROWANEGO UKŁADU ALARMÓW, STEROWANIA I MONITORINGU: DA1, DA2, DA3

...

ZMIENNE:

132 CSD: cena standardowa pulpitu CMK

133 CDWY: cena wynikowa pulpitu CMK

145 CSE1: cena standardowa układu zdalnego sterowania SG – DOSTAWCA 1

146 CEWY: cena wynikowa układu zdalnego sterowania SG

155 CSF: cena standardowa układu diagnostyki SG

156 CFWY: cena wynikowa układu diagnostyki SG.

#### **4.3.4 Tworzenie zestawienia aparatury kontrolno-pomiarowej w aplikacji bazy danych**

##### ***(Dobór elementów automatyki do punktów kontrolno-pomiarowych)***

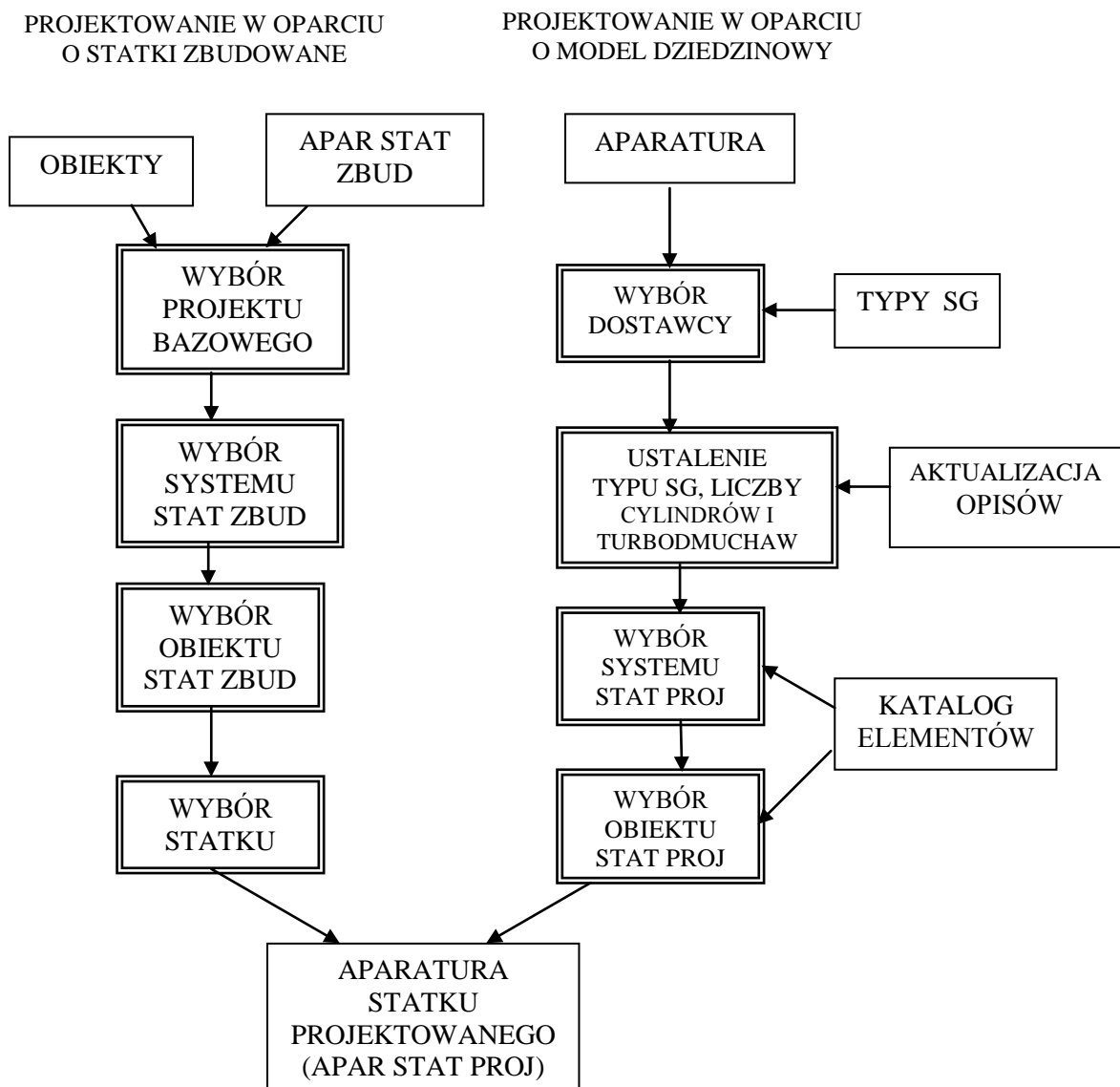
W opracowanej aplikacji bazy danych, oprócz metody wykorzystującej informacje o statkach zbudowanych i wcześniejszych projektach tych statków przechowywanych w bazie danych, realizowane mogą być funkcje oparte na projektowaniu samodzielnym projektanta. Należy do nich dobór elementów automatyki do punktów kontrolno-pomiarowych poszczególnych systemów lub obiektów statku na etapie projektu technicznego. W tym zakresie model dziedziny obejmuje tabele zawierające informacje dotyczące projektów automatyki takie jak: APARATURA, APARATURA STATKU PROJEKTOWANEGO (APAR STAT PROJ) i APARATURA STATKÓW ZBUDOWANYCH (APAR STAT ZBUD). Struktura tych tabel (różniaca się jedną informacją dotyczącą kodu dostawcy SG lub numeru statku) wraz z wybranymi informacjami z bazy danych dla silników SULZERA przedstawiona została w tabeli 47.

Informacje z tych tabel, w zależności od przyjętego trybu projektowania (z tabeli APARATURA – w przypadku projektowania samodzielnego, a z tabeli APARATURA STATKÓW ZBUDOWANYCH – w przypadku projektowania na podstawie projektów tych statków) są, na żądanie projektanta, umieszczane w tworzonej projekcie za pomocą odpowiednich makr systemu Access. Z uwagi na to, iż model relacyjnej bazy danych oparty jest na strukturze tabelarycznej, w której wszystkie dane przechowywane są w tabelach, opracowany model dziedziny systemu wspomagania projektowania automatyki ma również strukturę tabelaryczną, a prezentowany na rys. 44 zakres funkcjonalny tego modelu dotyczy doboru aparatury kontrolno-pomiarowej w procesie projektowania automatyki.

**Projektowanie samodzielne automatyki** napędu głównego rozpoczyna się od dokonania wyboru dostawcy SG, w wyniku czego projektant uzyskuje na podstawie tabeli APARATURA strukturę punktów kontrolno-pomiarowych przewidzianą przez tego dostawcę wraz z wyszczególnionymi elementami automatyki dostarczonymi przez producenta SG. Fragment tabeli zawierającej punkty kontrolno-pomiarowe silników Sulzera (identyfikowanego symbolem S w polu KOD SG) przedstawiono w tab. 58 i 59 w Załączniku 3.

Po wyszczególnieniu dostawcy SG projektant podaje pewne dodatkowe wartości parametrów, takie jak: liczba cylindrów SG, liczba turbodmuchaw lub liczba sprężarek z napędem elektrycznym, na podstawie których uaktualniane są w tabeli APAR STAT PROJ pola: OPIS oraz DESCRIPTION (opis stanu lub urządzenia kontrolowanego; często jest to rodzaj alarmu; w języku polskim oraz angielskim). Przykładowe opisy punktów kontrolno-pomiarowych zawarte zostały w tabeli 60 (Załącznik 3). Na podstawie typu SG uaktualniane są wartości pól SLD oraz SHD w odpowiednich punktach kontrolno-pomiarowych.

Aktualizacja opisów uzależniona jest od wartości pola ZAL (C-liczba cylindrów, T-liczba turbodmuchaw) Na żądanie, dokonywana jest aktualizacja pól SLD (poziom slow down – redukcja obrotów) i SHD (poziom shut down – stop SG), których wartości uzależnione są od typu SG, co przedstawione zostało w tabeli 46.



Rys. 44. Ogólny schemat doboru automatyki w systemie bazy danych

Tabela 46. Wartości pól SLD i SHD dla wybranych typów SG

TYP SG	ID PUNKTU	WART SLD	WART SHD
RTA52U	C2001S	2,6	2,6
RTA62	C2001S	2,3	2,3
RTA64	C2001S	2,3	2,3
RTA72	C2001S	2,3	2,3
RTA84	C2001S	1,8	1,8
RTA84M	C2001S	2,3	2,3

W dalszym etapie możliwy jest dobór odpowiednich czujników do punktów, w których decyzja należy do projektanta (elementy do zakupu przez stocznię) na podstawie katalogu elementów automatyki.

Wybrane dane projektowe po dokonaniu doboru automatyki samodzielnie przez projektanta przedstawiono w tabeli 47.

**Tabela 47. Fragment tabeli projektowej statku dla silnika Sulzera – systemu sterowania i zabezpieczeń SG**

KOD	ITEM_NO	CODE	OPIS	NR OB	SLD	SH D	AI	AIQ	DIQ	SEN_TYPE	SEN_NA ME	SEN_PRODUC
S	A3731-2A	TIAH	S.G. TURBOSPŘEŻ. Nr 1-3 GAZY WYD.TEMP.dol	1			4- 20mA	2		MB158S286 K25	NICRAL	AUTRONICA
S	A4031-2A	TIAHL	S.G. POWIETRZE DOŁAD.ZA CHŁOD. Nr1 -temp.	1			Pt-100	1		MN524S200 U	Pt-100	AUTRONICA
S	A4041C	PI	S.G. POWIETRZE DOŁADOW. W ZASOBNIKU-cisř.	1			4- 20mA				transducer	
S	A4051-2L	PCS	S.G. POWIETRZE DOŁADOW. W ZASOBNIKU-cisř.	1							presostat	
S	A4071A	LAH	S.G. ZASOBNIK POW.DOŁADOWANI A-WODA -poz.	1					1	ALV1.5VUL 120	level sensor	H.KUEBLER AG
S	A4081-8A	TIAH	S.G.PRZESTRZEŃ POD TŁOKIEM NR 1- 11 -temp.	1			Pt-100	8		*	Pt-100	AUTRONICA
S	A4081-8S	TISH	S.G. PRZESTRZEŃ POD TŁOKIEM Nr 1- 11 -temp.	1	120		Pt-100	8		MB286S200 U	Pt-100	AUTRONICA
S	A5003C	X	S.G. POŁOŻENIE STOP DŹWIGNI PALIWOWEJ	1								

*Projektowanie automatyki w oparciu o statki zbudowane* rozpoczyna się wyborem projektu statku bazowego na podstawie tabeli: APAR STAT ZBUD, którego dane są umieszczane w tabeli APAR STAT PROJ oraz tabeli OBIEKTY zawierającej wykaz obiektów siłowni statku.

Każdy z systemów (instalacji) projektu bazowego może zostać zastąpiony przez punkty kontrolno-pomiarowe systemu pochodzącego z innego statku, wskazanego przez projektanta z listy systemów różnych statków, lub ze statku podobnego (Wybór systemu statku zbudowanego). W podobny sposób mogą być zastępowane obiekty tam występujące zbiorem punktów kontrolno-pomiarowych należących do tego obiektu, pochodzących z innych statków. (Wybór obiektu statku zbudowanego). W następnej kolejności projektant wybiera statek z listy wszystkich statków zawierających odpowiednie punkty kontrolno - pomiarowe analizowanego obiektu.

Jako podstawę realizowanego projektu zestawienia aparatury kontrolno-pomiarowej przyjęto projekt statku wcześniej zbudowanego, którego fragment dotyczący aparatury kontrolno-pomiarowej systemu sterowania i zabezpieczeń SG zawarto w tabeli 48.

Możliwe jest projektowanie samodzielne na przemian z wykorzystaniem danych projektowych statków zbudowanych, co stanowi znaczące udogodnienie dla projektanta, który. może zmodyfikować projekt automatyki pochodzący z innego statku lub uzupełnić projekt samodzielny elementami automatyki wybranego systemu lub obiektu innego statku.

**Tabela 48. Fragment tabeli aparatury statku zbudowanego – systemu sterowania i zabezpieczeń SG**

NR PROJ	ITEM_NO	CODE	OPIS	NR OB	SLD	SHD	AI	AIQ	DIQ	SEN_TYPE	SEN_NAME	SEN_PRODUC
B500	A4041	LAH	S.G. ZASOBNIK POW.DOŁADOWANIA-WODA -poz.	1					1	ALV1.5VUL120	level sensor	H.KUEBLER AG
B500	A4141	TAH	S.G. POWIETRZE DOŁAD.-temp.	1			Pt-100			MN524S200U	Pt-100	AUTRONICA
B500	A4151-8	TIAH	S.G. PRZESTRZEŃ POD TŁOKIEM Nr1-8 - temp.	1			Pt-100	8	*		Pt-100	AUTRONICA
B500	A4161-8	TISH	S.G. PRZESTRZEŃ POD TŁOKIEM Nr1-8 - temp.	1	120		Pt-100	8		MB286S200U	Pt-100	AUTRONICA
B500	A4181	PCS	S.G. POWIETRZE DOŁADOW. W ZASOBNIKU-cisń.	1							presostat	
B500	A4271-8A	TIAH	S.G. GAZY WYD.CYL.Nr 1-8 TEMPERATURA-odl	1	530		4-20mA	8		MB158S286K25	NICRAL	AUTRONICA
B500	A4291-8A	TIAH	S.G. GAZY WYD.CYL.Nr 1-8 ODCHYLEŃKA TEMP.-odl	1	+/- 70							
B500	A4331-3A	TIAH	S.G.TURBOSPREŻ.Nr1-3 GAZY WYD.TEMPER.-odl	1			4-20mA	2		MB158S286K25	NICRAL	AUTRONICA
B500	A4391-3		S.G. TURBOSPREŻARKA Nr 1-3 - pr.obrotowa						*		transducer	DISA

**Tabela 49. Fragment tabeli projektowej systemu paliwa zmodyfikowany na podstawie innych statków**

NR STATKU	ITEM_NO	OPIS	NR OB
B369	B 258/1-	WIROWKA P.D. No1- -awaryjne odstawienie	141
B369	B 259	WIROWKA P.D. No1- -awaria	141
S	B 260	PALNIK KOTŁA VX - rozdz. sterowania	130
S	B 261	PALNIK KOTŁA VX - praca	130
S	B 262	PALNIK KOTŁA VX - awaria	130
B500	B 300	POMPA TRANSPORTOWA.PAL.CIEŻ. - start	125
B500	B 301	POMPA TRANSPORTOWA.PAL.CIEŻ. - stop	125
B500	B 302	POMPA TRANSPORTOWA.PAL.CIEŻ. - praca	125
B500	B 303	POMPA TRANSPORTOWA.PAL.CIEŻ. - zd.ster.	125
B500	B 304	POMPA TRANSPORTOWA.PAL.CIEŻ. - awaria	125
B500	B 305	POMPA TRANSPORTOWA.PAL.CIEŻ. - aw. zd.st	125
B500	B 308	POMPA TRANSP.PAL.CIEŻ.- ciśn.tłoczenia	125
S	B 310	POMPA TRANSPORTOWA. PAL. DIESEL. - start	126
S	B311	POMPA TRANSPORTOWA. PAL. DIESEL. - stop	126

#### **4.3.5 Wspomaganie projektowania automatyki wybranych systemów (instalacji) statku na przykładzie systemu sprężonego powietrza**

Zastosowanie opracowanego systemu wspomagania projektowania automatyki siłowni do zadań czysto projektowych rozpoczęto od projektowania automatyki instalacji sprężonego powietrza. Jest to jedna z najprostszych instalacji siłowni statku, która jednocześnie pełni bardzo ważne funkcje - dostarcza powietrze o odpowiednich parametrach dla uruchamiania silnika głównego i silników zespołów prądotwórczych oraz dla innych celów technicznych i gospodarczych. Głównymi elementami tej instalacji są sprężarki (główne, pomocnicze i gospodarcze) oraz butle sprężonego powietrza (głównie dla zespołów prądotwórczych).

Ze względu na wyżej wymienione funkcje omawianej instalacji towarzystwa klasyfikacyjne, producenci jej elementów oraz producenci innych obiektów siłowni statku (w szczególności silnika głównego) stawiają ścisłe wymagania dotyczące automatyki tej instalacji.

Zadaniem systemu ekspertowego wspomagania projektowania automatyki instalacji powietrza sprężonego jest specyfikacja jej punktów kontrolno-pomiarowych. Specyfikacja ta przekazywana jest do bazy danych. Dane wejściowe do systemu obejmują:

- producenta i liczbę sprężarek głównych,
- producenta i liczbę sprężarek pomocniczych,
- producenta i liczbę sprężarek gospodarczych,
- producenta silnika głównego,
- towarzystwo klasyfikacyjne.

Przykład opracowanego modelu dziedziny dotyczy systemu sprężonego powietrza, który ograniczono do dwóch producentów sprężarek, jednego producenta silnika głównego i trzech towarzystw klasyfikacyjnych. Jego działanie ogranicza się do odpowiedzi na pytania zadawane przez system, a system generuje specyfikację punktów kontrolno-pomiarowych w postaci raportu, który przekazuje do aplikacji bazy danych w postaci pliku tekstowego.

System wspomagania projektowania automatyki instalacji powietrza sprężonego został sprawdzony na przykładzie rzeczywistych danych projektowych. Charakterystyczną cechą bazy wiedzy w tym zastosowaniu jest jej prosta jednopoziomowa (lub jednostopniowa) struktura. Oznacza to, że reguły nie są wzajemnie zależne, nie tworzą bardziej złożonych ciągów decyzyjnych. Strukturę tę zobrazowano na przykładzie trzech reguł (R4, R11 i R6) - rys. 45.

Wszystkie reguły modelu dziedziny tego systemu zawarte są w bazie wiedzy, której reguły przedstawiono w Załączniku 4:

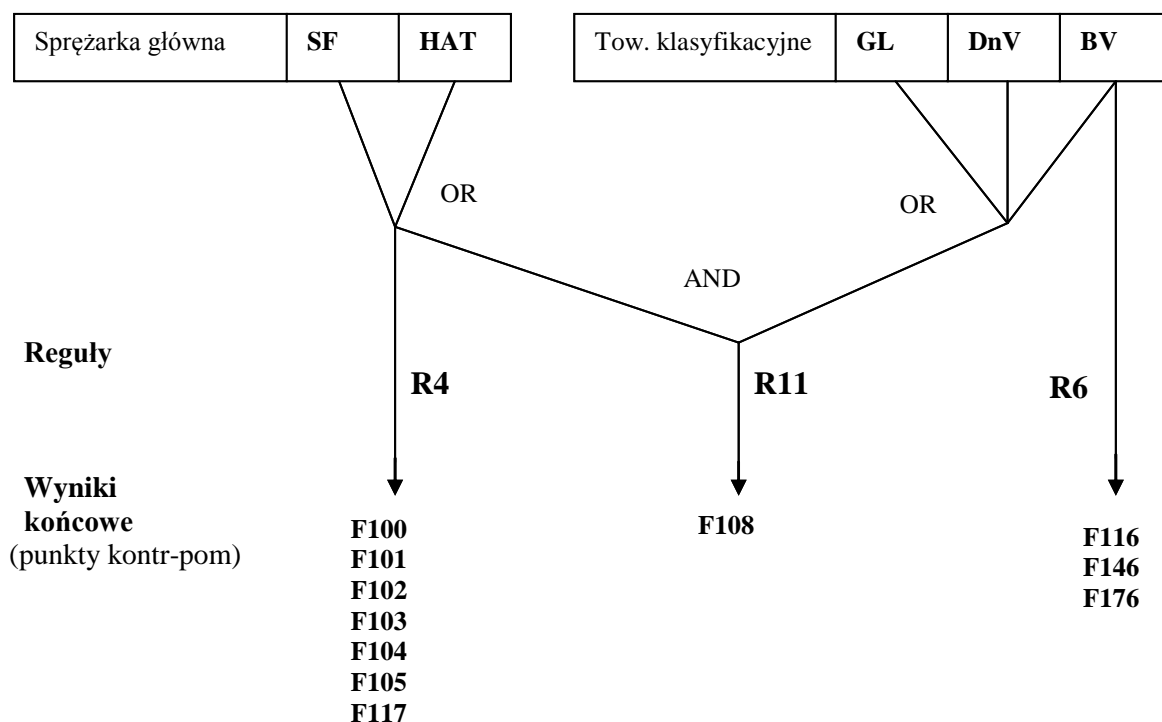
Zawartość bazy wiedzy systemu ekspertowego dla projektowania instalacji sprężonego powietrza jest następująca:

##### **PYTANIA:**

- 1 Główna sprężarka powietrza rozruchowego: SF, HAT
- 2 Towarzystwo klasyfikacyjne: GL, DnV, BV
- 3 Pomocnicza sprężarka powietrza: SF, HAT
- 4 Silnik Główny - SULZER
- 5 Gospodarcza sprężarka powietrza: SF, HAT
- 6 Zbiorniki powietrza: Butla Nr 1, Butla Nr 2, Butla zespołu prądotwórczego

Maximum acceptable = 3

- 7 Liczba sprężarek głównych: 1, 2, 3, 4
- 8 Liczba sprężarek pomocniczych: 1, 2, 3, 4
- 9 Liczba sprężarek gospodarczych: 1, 2
- 10 Pomocnicze - TAK



**Rys. 45. Przykład reguł obrazujących jednopoziomową strukturę bazy wiedzy**

#### **ZMIENNE:**

- 1 F2: Ciśnienie powietrza rozruchowego SG - dolot
- 2 F20: Ciśnienie powietrza rozruchowego SG w zbiorniku nr 1
- 3 F22: Ciśnienie powietrza rozruchowego SG w zbiorniku nr 2
- 4 F50: Ciśnienie w zbiorniku powietrza rozruchowego zespołów prądotwórczych
- 5 F100: Główna sprężarka powietrza rozruchowego - start
- 6 F101: Główna sprężarka powietrza rozruchowego - stop
- 7 F102: Główna sprężarka powietrza rozruchowego - praca
- 8 F103: Główna sprężarka powietrza rozruchowego - zdalne sterowanie
- 9 F104: Główna sprężarka powietrza rozruchowego - awaria

Przyjęte nazwy zmiennych odpowiadają identyfikatorom punktów kontrolno-pomiarowych.

Poniżej przedstawiono fragment pliku wynikowego systemu ekspertowego przekazywany do aplikacji bazy danych.

Główna sprężarka powietrza rozruchowego: SF  
 2 Towarzystwo klasyfikacyjne: DnV  
 3 Pomocnicza sprężarka powietrza: SF  
 4 Silnik Główny - SULZER  
 5 Gospodarcza sprężarka powietrza: SF  
 6 Zbiorniki powietrza: Butla Nr 1  
 Liczba sprężarek głównych 2  
 Liczba sprężarek pomocniczych 3

Liczba sprężarek gospodarczych 1

F2, F20, F22, F50, F130, F131, F132, F133, F135, F138, F141, F147, F160, F161, F162, F163, F164, F165, F168, F171, F172, F173, F177, F250, F4301A, F4301C, F4321A, F4341S, F4342S, F4401A, F4421S, F5001C.

Projektowanie automatyki systemu sprężonego powietrza może mieć również miejsce w aplikacji bazy danych. Polega ono na automatycznym doborze punktów kontrolno-pomiarowych w zależności od wytypowanej przez projektanta sprężarki (HT, SF) i dostawcy SG. Rodzajem sprężarki może być: główna (G), pomocnicza (P) i gospodarcza (D). Przykładowe punkty kontrolno-pomiarowe odpowiadające poszczególnym rodzajom i typom sprężarek przedstawione zostały w tabeli 50.

**Tabela 50. Wykaz wybranych punktów kontrolno-pomiarowych według dostawcy SG, rodzaju oraz typu sprężarki**

Dost SG	Rodz spręż	Typ spręż	Punkt k-p
B	G	SF	F 100/1-
B	G	SF	F 101/1-
S	G	HT	F 100/1-
S	G	HT	F 101/1-
S	G	HT	F 102/1-
S	G	SF	F 100/1-
S	G	SF	F 101/1-
S	P	SF	F 130/1-
S	P	SF	F 131/1-
S	P	SF	F 132/1-
S	D	SF	F 160/1-
S	D	SF	F 161/1-
S	D	SF	F 162/1-
S	D	SF	F 163/1-

W tabeli projektowej systemu sprężonego powietrza umieszczone zostały punkty kontrolno-pomiarowe sprężarki według typu (w analizowanym przykładzie – HT), co ilustruje tabela 51.

**Tabela 51. Punkty kontrolno-pomiarowe dla sprężarek według typu (HT)**

Typ ob	KOD SG	WYB ITEM_NO	OPIS	NR OB	OP_RANG E	S_RANG E	UNI T	DI Q	DO Q	A I	ABR	SEN_N AME	SEN_TY PE	SEN_D EALER
HT	S	F 100/1-	SPREZARKA POW. ROZRUCH. Nr 1- - start	200					2					
HT	S	F 101/1-	SPREZARKA POW. ROZRUCH. Nr 1- - stop	200					2					
HT	S	F 102/1-	SPREZARKA POW. ROZRUCH. Nr 1- - praca	200				2						
HT	S	F 103/1-	SPREZARKA POW. ROZRUCH. Nr 1- - zd.st.	200				2						
HT	S	F 104/1-	SPREZARKA POW. ROZRUCH. Nr 1- - awaria	200						5				
HT	S	F 105/1-	SPREZARKA POW. ROZRUCH. Nr 1- - aw.st.	200						5				
HT	S	F 108	SPREZARKI POW. ROZRUCH.- cisl.	200	0 - 30	0 -40	bar	1				presost at		yard
HT	S	F 117/1-	SPREZARKA POW.ROZR.Nr1-_ - temp.wody odl.	200	0 -100	0 -	C	2		5		termost at		yard

Punkty kontrolno-pomiarowe dotyczące systemu sprężonego powietrza dla wytypowanego SG mogą być modyfikowane na podstawie danych statków zbudowanych, co przedstawia tabela 52, w której punkty dla sprężarki pomocniczej zmodyfikowano w oparciu o dane statku B369.



**Tabela 52. Fragment tabeli projektowej systemu sprężonego powietrza zmodyfikowany**

NR PROJ	ITEM_NO	CODE	DIQ	OPIS	NR OB	SEN_NAME
S	F 111/1-	PSL	2	SPREZARKA POW.ROZR.Nr1-_-cisl.tloczenia	200	presostat
S	F 112/1-	PSL	2	SPREZARKA POW.ROZR.No1-_-cisl.miedzyst.	200	presostat
S	F 113/1-	PSH	2	SPREZARKA POW.ROZR.No1-_-cisl.miedzyst.	200	presostat
S	F 116/1-	TAH	2	SPREZARKA POW.ROZR.Nr1-_-temp.pow.odlot	200	termostat
S	F 117/1-	TAH	2	SPREZARKA POW.ROZR.Nr1-_-temp.wody odl.	200	termostat
B369	F 130/1-			POMOCN. SPREZARKA POW. Nr 1- -start	201	
B369	F 131/1-			POMOCN. SPREZARKA POW. Nr 1- -stop	201	
B369	F 132/1-		1	POMOCN. SPREZARKA POW. Nr 1- -praca	201	
B369	F 133/1-		1	POMOCN. SPREZARKA POW. Nr 1- -zd.ster.	201	
B369	F 134/1-			POMOCN. SPREZARKA POW. Nr 1- -awaria	201	
B369	F 135/1-			POMOCN.SPREZARKA POW.Nr 1- -awaria ster.	201	
B369	F 138/1-	PCS	1	POMOCN.SPREZARKA POW.Nr1- - cisl. pow.	201	presostat
B369	F 141/1-	PSL	1	POM. SPREZARKA POW.Nr1- -cisl.tloczenia	201	presostat
B369	F 142/1-	PSL	1	POM. SPREZARKA POW.No1- -cisl.miedzyst.	201	presostat

#### **4.3.6 Wspomaganie tworzenia schematów blokowo-funkcyjnych**

Projektant może w uproszczony sposób wykonać schemat blokowo-funkcyjny projektowanego systemu automatyki przy pomocy opracowanej do tego celu aplikacji w programie AutoCAD. Program AutoCAD jest najpowszechniej stosowanym w stoczniowych biurach projektowo-konstrukcyjnych edytorem do wspomaganie tworzenia dokumentów rysunkowych w formie schematów.

Zasadniczymi dokumentami schematowymi, tworzonymi we wczesnych etapach projektowania automatyki siłowni statku są schematy blokowo-funkcyjne wszystkich systemów oraz schemat blokowy układu komputerowego siłowni.

Schematy blokowo-funkcyjne tworzone są dla poszczególnych systemów siłowni i zawierają wszystkie obiekty automatyzacji, ich wzajemne powiązania oraz wszystkie elementy automatyki tych systemów. Każdy z tych elementów, odpowiednio oznaczony, występuje w Zestawieniu aparatury kontrolno-pomiarowej- stanowiącym podstawowy dokument do dalszego projektowania automatyki siłowni statku.

##### **Wspomaganie tworzenia schematów oparte jest na:**

- utworzonych zbiorach symboli graficznych stosowanych elementów,
- utworzonych zbiorach typowych bloków schematowych dla schematów poszczególnych systemów siłowni,
- utworzonych zbiorach przykładowych rozwiązań schematowych poszczególnych systemów, które będą następnie wzbogacane o kolejne projekty systemów siłowni,
- przygotowaniu ekranu do tworzenia schematów poszczególnych systemów, z gotową formatką jako miejscem powstawania nowego rysunku, z umieszczonymi na niej typowymi obiektami oraz wokół niej rozmieszczonymi symbolami, blokami i przykładowymi schematami podobnych systemów.

Przykładowe schematy blokowe: silnika głównego oraz instalacji oleju smarnego zawarte zostały w Załączniku 1.

#### **4.3.7 Zastosowanie bazy przepisów towarzystw klasyfikacyjnych**

Projektowanie automatyki musi być zgodne z wymaganiami przepisów towarzystwa klasyfikacyjnego, pod którego nadzorem budowany jest statek. W tym celu opracowano aplikację, która na żądanie udostępnia bazę danych przepisów wybranego towarzystwa klasyfikacyjnego.

Klasyfikacja przepisów dokonana została w odniesieniu do systemów i układów automatyki lub hasel, według których możliwe jest ich wyszukiwanie. Fragment bazy przepisów PRS dotyczących systemu sterowania i zabezpieczeń SG znajduje się w tabeli 63 (Załącznik 3),

### **5. PODSUMOWANIE**

W pracy zaprezentowano zastosowanie wybranych metod sztucznej inteligencji, takich jak: sieć neuronowa, relacyjna baza danych oraz system ekspertowy i logika rozmyta [48], do poprawy efektywności procesu projektowania automatyki siłowni statku. Dokonano przeglądu ich dotychczasowych zastosowań w okrętownictwie oraz możliwości wykorzystania do wspomagania projektowania napędu głównego dla doboru automatyki statku. W tym celu przeprowadzono analizę istniejących funkcji obliczania podobieństwa przypadków i wykazano, że nie są one wystarczające, zwłaszcza, gdy znalezione rozwiązanie projektowe nie w pełni odpowiada wymaganiom projektanta (w bazie danych nie ma statku dostatecznie podobnego).

W ramach projektu badawczego KBN nr 8T11A00813 opracowano hybrydowy algorytm wyszukiwania statków podobnych oparty na metodzie optymalizacji wielokryterialnej (z zastosowanymi funkcjami podobieństwa: prostokątną, trapezową, trójkątną i Gaussa), który zaimplementowano w aplikacji bazy danych Access we współpracy z systemem ekspertowym Exsys. Wyprecyzowano korzyści wynikające z zastosowania tych funkcji podobieństwa (w odróżnieniu od funkcji prezentowanych w literaturze) dotyczące możliwości doboru zakresu poszukiwań statków podobnych poprzez elastyczne określanie wartości parametrów wejściowych takich jak: granice (dolna i górna) oraz odchylenia standardowe i graniczne (dolne i górne), jak również w zakresie doboru wag parametrów wejściowych. Zastosowane klasyczne metody optymalizacji wielokryterialnej charakteryzują się arbitralnym doбором wag, co daje projektantowi możliwość przyjmowania dowolnych wartości tych współczynników, jak również ograniczeń górnych i dolnych oraz wartości progowych funkcji - na podstawie posiadanego doświadczenia.

Opracowany system hybrydowy stanowi nowatorskie rozwiązanie aplikacyjne z uwagi na zintegrowanie metodologii i narzędzi wspomagających projektowanie, a także szeroki, nie stosowany dotąd, zakres prac objęty systemem. Powstał on po dokonaniu szczegółowej analizy procesu projektowania prowadzonej w ścisłej współpracy z projektantami automatyki, jako ekspertami, na których doświadczeniu i intuicji opiera się dotychczasowe projektowanie automatyki statku. System ten umożliwia przekształcenie wiedzy w sformalizowane reguły, zapewniając poprawę wyników procesu projektowania wraz z aplikacją bazy danych, która stanowi narzędzie wspomagające w znacznym stopniu proces projektowania automatyki na etapie projektu ofertowego, kontraktowego i technicznego.

Aplikacja stworzona została przy zastosowaniu systemu zarządzania bazą danych Access we współpracy z systemem ekspertowym Exsys; może jednak stanowić niezależne narzędzie funkcjonujące wyłącznie w systemie Access (bez zastosowania systemu ekspertowego) ze względu na jego niski koszt oraz powszechną dostępność, jak również prostotę interfejsu dla użytkownika. Używanie jej dla nowych projektów i ich umieszczenie w bazie danych spowoduje jej samorozbudowę i zwiększenie użyteczności z każdym nowym projektem. Aplikacja ta może również pełnić rolę uzupełniającą dla systemu ekspertowego, dostarczając projektantowi informacji szczegółowych o układach i elementach automatyki zastosowanych na statkach zbudowanych, jak również informacji katalogowych o tych układach.

Utworzona aplikacja bazy danych wspomaga proces projektowania w zakresie najbardziej pracochłonnych czynności, przyczyniając się do znacznej poprawy efektywności procesu projektowania automatyki siłowni. Pozwala ona nawet wielokrotnie (z kilku tygodni do kilku dni) skrócić proces doboru elementów automatyki do punktów kontrolno-pomiarowych w zestawieniu

aparatury, co potwierdzone zostało przez ekspertów podczas praktycznej realizacji tego dokumentu projektowego na przykładzie wybranego statku zbudowanego w stoczni.

Użyteczność i skuteczność opracowanego algorytmu wyszukiwania statków podobnych została potwierdzona w opracowanym systemie wspomagania projektowania automatyki siłowni okrętowej. Wyniki uzyskane z analizy porównawczej metod obliczania podobieństwa statków funkcjonujących w aplikacji bazy danych i sieci neuronowej zostały zastosowane i zaprezentowane na przykładzie projektowania automatyki okrętowej, który stanowi nowe rozwiązanie zarówno pod względem tematycznym, jak i metodologicznym. W projektowaniu automatyki często stosuje się rozwiązania projektowe statków podobnych, stanowi ono bowiem końcową fazę projektowania, w której istnieje konieczność uwzględniania szerokiego zakresu informacji przez projektanta automatyki w stosunkowo krótkim czasie.

Zastosowana, w opracowanym systemie, metodologia określania podobieństwa statków do celów projektowania zapewnia lepszą miarę podobieństwa, dając możliwość wyboru przez projektanta funkcji podobieństwa odpowiednio do wymagań i rodzaju analizowanego parametru. Funkcje te, stanowiąc rodzaj filtru, przyczyniają się do zwiększenia elastyczności w projektowaniu automatyki, gdzie często wartości parametrów technicznych przyjmowane są z większą lub mniejszą tolerancją ze względu na kryteria ekonomiczne projektu, bowiem zastosowany algorytm optymalizacji wielokryterialnej, w przypadku znalezienia wielu statków podobnych na podstawie parametrów ogólnych siłowni, poszukuje statku o możliwie dużym nasyceniu automatyką przy stosunkowo niedużych jej kosztach, stosując rozmyte kryterium optymalizacji. Dla realizacji tego algorytmu przewidziano wielopoziomą strukturę automatyki z zastosowaniem mikroprocesorowych sterowników programowalnych, lokalnych stacji procesowych oraz paneli operatorskich połączonych interfejsami sieciowymi.

Istotnym elementem związanym z formalną reprezentacją przypadków jest zdefiniowanie sposobu ich porównania i wyszukiwania. Współczesne systemy baz danych stosują algorytmy wyszukiwania oparte na spełnieniu określonych w pytaniu warunków logicznych w logice dwuwartościowej, co jest niewystarczające dla systemów opartych na analizie przypadków [61]. Z uwagi na to, iż obliczanie podobieństwa statków w aplikacji bazy danych dotyczy tylko pojedynczych parametrów, nie umożliwiając równoległego przetwarzania wszystkich parametrów wejściowych zastosowano metodę logiki rozmytej, służącej do określania podobieństwa przypadków w systemie ekspertowym Exsys oraz sieć neuronową ze wsteczną propagacją błędów. Logika rozmyta zwiększa ponadto wydajność systemu ekspertowego [8], a dodatkowo umożliwia przetwarzanie wiedzy niepewnej i nieprecyzyjnej. W następnym etapie, wykorzystując elementy logiki rozmytej, można byłoby wprowadzić operatory przybliżonego porównania pozwalające porównywać atrybuty, które nie są liczbami, a stworzony system hybrydowy wspomagania projektowania zapewniłby efektywną i kompleksową analizę logiczną danych dla dużych baz danych i wiedzy z możliwością dedukcji nowych informacji.

W pracy dokonano oceny zastosowania logiki rozmytej do projektowania automatyki siłowni. Zastosowano także sieć neuronową dla doboru mocy oraz prędkości obrotowej silnika głównego, na podstawie parametrów ogólnych statku m.in. jego wymiarów do wytypowania rozwiązania w przypadku, gdy znalezione w bazie danych statki podobne nie spełniają oczekiwań projektanta (nie są wystarczająco podobne). Uzyskane wyniki z sieci neuronowej porównano z wartościami wynikowymi znalezionych statków podobnych w bazie danych. Sieć neuronowa, wyuczona na podstawie wcześniejszych rozwiązań na statkach zbudowanych, w oparciu o ogólne dane projektowe statku może służyć do uzupełnienia (weryfikacji) metod określania podobieństwa w aplikacji bazy danych lub systemie ekspertowym w przypadku braku rozwiązań podobnych.

Utworzenie baz danych i baz wiedzy oraz dialogowego systemu ekspertowego umożliwi gromadzenie doświadczeń, systematyzowanie i porównywanie dużych ilości informacji o już wykonanych projektach, o wymaganiach towarzystw klasyfikacyjnych, automatyzowanych urządzeniach statku, a także o produkowanych układach i elementach automatyki dla obecnych i przyszłych projektów. Używanie jej dla nowych projektów i ich umieszczenie w bazie danych spowoduje jej samorozbudowę i zwiększenie użyteczności z każdym nowym projektem.

Mimo, iż zrealizowany zakres wspomagania projektowania statku ogranicza się tylko do zagadnień związanych z napędem głównym i automatyką to na podstawie otrzymanych rezultatów w

postaci działającego oprogramowania możliwe będzie rozszerzenie projektowania statków na ujęcie całościowe.

Celem sprawdzenia poprawności i efektywności opracowanego systemu przeprowadzono testowanie jego funkcji. Uzyskane wyniki potwierdziły zgodność z dostępną dokumentacją stoczniową. System ten może zatem zostać zastosowany w biurze projektowym stoczni lub wspomagać pracę innych projektantów automatyki statku. Pierwsze próby w tym zakresie zostały przeprowadzone przez ekspertów z biur projektowych.

Szeroki zakres użytkowy opracowanego systemu wyszukiwania statków podobnych dla wspomagania projektowania wstępnego i automatyki siłowni oraz zastosowane do tego celu elementy sztucznej inteligencji, takie jak: system ekspertowy z logiką rozmytą, relacyjna baza danych oraz sieć neuronowa przyczyniają się do nowoczesnego i wysoce efektywnego rozwiązania problemów projektowania statków.

Zaprezentowane przykłady zastosowania tych metod do określonych zadań projektowych w okrętownictwie potwierdzają ich dużą skuteczność i efektywność. Złożoność projektowanych obiektów, jakimi są statki, wymaga jednak dalszych prac w tym zakresie, szczególnie w rozszerzeniu na inne elementy procesu projektowania.

## 6. LITERATURA

1. AAMODT A., LANGSETH H.: Integrating Bayesian Networks into Knowledge – Intensive CBR. Case-based reasoning integrations; AI Press, Menlo Park, 1998.
2. AAMODT A., PLAZA E.: Case-Based Reasoning, Foundation issues, methodological variations, and system approaches. Artificial Intelligence Communications, 1994, Vol, 7, No, 1, 39-59.
3. BALACHANDRAN M.: Knowledge-Based Optimum Design Topics in Engineering, Computational Mechanics Publications, Southampton UK, Boston USA 1993, Vol 10.
4. BILSKI J.: New algorithms for learning of the feedforward neural networks, Neural Networks and Their Applications, Szczyrk 1996, Vol 1.
5. BOSE A., GINI M., RILEY D.: A case-based approach to planar linkage design, Artificial Intelligence in Engineering 1997, No 2, Vol 11.
6. BROUWER R.K.: A feed-forward network for input that is both categorical and quantitative, Neural Networks 2002, No 15.
7. CALLAHAN E.: MS Access 2002. Visual Basic, Microsoft Press, Warszawa 2000.
8. CEPOWSKI T., SZELANGIEWICZ T.: Sztuczne sieci neuronowe w badaniu właściwości morskich okrętu, Budownictwo Okrętowe 2002 nr 5.
9. CHROMIEC J., STRZEMIECZNA E.: Sztuczna inteligencja, Metody konstrukcji i analizy systemów eksperckich, Akademicka Oficyna Wydawnicza, W-wa 1994.
10. CLAUSEN H.B., LUTZEN M., FRIIS-HANSEN A., BJORNEBOE N.: Bayesian and neural networks for preliminary ship design, Marine Technology 2001, No, 4.
11. DOBSON R.: Programowanie MS Access 2000, Microsoft Press, Warszawa 2000.
12. DONGKON LEE, KYUNG – HO LEE. An approach to case-based system for conceptual ship design assistant, Expert Systems with Applications 16, 1999.
13. GAWRIŁOWA T.A., CZERWINSKAJA K.P.: Izwleczenie i strukturyzowanie wiedzy dla ekspertnych system, Radio i Swiaz, Moskwa 1992.
14. HEIAT A.: Comparison of artificial neural network and regression models for estimating software development effort, Information and software Technology, vol, 44, 2002, 911-922.
15. HSIAO S.W., HUANG H.C.: A neural network based approach for product form design, Design Studies 2002, No 23.
16. KORBICZ J., OBUCHOWICZ A., UCINŚKI D.: Sztuczne sieci neuronowe, Podstawy i zastosowania, Akademicka Oficyna Wydawnicza, W-wa 1994.
17. KORBICZ J., KOŚCIELNY J., KOWALCZUK Z., CHOLEWA W.: Diagnostyka procesów, Modele, Metody sztucznej inteligencji. Zastosowania WNT, Warszawa 2002.
18. KOWALSKI Z., MELER-KAPCIA M. i in.: System z bazą wiedzy dla wspomagania projektowania układów automatyki okrętowej. Projekt badawczy KBN nr 8T11A008 13, Gdańsk 2000.
19. KOWALSKI Z., ARENDT R., MELER-KAPCIA M., ZIELIŃSKI S.: An Expert System for Ship Automation Aided Design. The Second International Scientific Symposium on Automatic Control of Ship Propulsion and Ocean Engineering Systems, Gdańsk PROPCON'98, Nov, 1998.
20. KOWALSKI Z., MELER-KAPCIA M., ZIELIŃSKI S.: Baza danych dla systemu ekspertowego wspomagania projektowania ofertowego automatyki siłowni statku. III Ogólnopolska Konferencja nt, Sztuczna Inteligencja CIR-13'98, Warszawa – Siedlce 1998.
21. KOWALSKI Z., ARENDT R., MELER-KAPCIA M., ZIELIŃSKI S.: System z bazą wiedzy do wspomagania projektowania układów automatyki systemów energetycznych statków. III Ogólnopolska Konferencja nt, Sztuczna Inteligencja CIR'99, Warszawa – Siedlce 1999.
22. KOWALSKI Z., ARENDT R., MELER-KAPCIA M., ZIELIŃSKI S.: Prototypowy system ekspercki dla wspomagania projektowania układów automatyki statków. Materiały konf, N-T Automatyzacja-Nowości i Perspektywy AUTOMATION'99, Warszawa 1999.
23. KOWALSKI Z., ZIELIŃSKI S., DZIWORSKI J., ARENDT R., MELER-KAPCIA M., OLEJNIK B., PIOTROWSKI J.: System ekspercki do wspomagania projektowania układów automatyki siłowni statku, Okrętownictwo i Żegluga Nr 9 (482), Gdańsk 1999.

- 24.KOWALSKI Z., ARENDT R., MELER-KAPCIA M., ZIELIŃSKI S.: Ship automation aided design expert system. III International Conference and Exhibition on Marine Intellectual Technologies, St. Petersburg, Russia 1999.
- 25.KOWALSKI Z., MELER-KAPCIA M., ZIELIŃSKI S.: System wspomagania projektowania automatyki siłowni statku z wykorzystaniem bazy danych Access we współpracy z systemem eksperckim ReSolver. II Krajowa Konferencja „Metody i systemy komputerowe w badaniach naukowych i projektowaniu inżynierskim”, AGH Kraków 1999.
- 26.KOWALSKI Z., ARENDT R., MELER-KAPCIA M., ZIELIŃSKI S.: Knowledge-Based System for ship automation aided design. Proceedings 4th UEES'99 Fourth International Conference on Unconventional Electromechanical and Electric Systems 21-24 June 1999, St Petersburg, Russia, 1999.
- 27.KOWALSKI Z., ARENDT R., MELER-KAPCIA M., ZIELIŃSKI S.: System ekspertowy wspomagania projektowania układów automatyki statków. Zeszyty Naukowe Politechniki Gdańskiej 2000 nr 583 seria Elektryka nr 86.
- 28.KOWALSKI Z., MELER-KAPCIA M., ZIELIŃSKI S.: Metoda określania podobieństwa statków w procesie doboru układów automatyki systemów energetycznych. Zeszyty Naukowe Wydz. Mechanicznego Politechniki Koszalińskiej, Mielno 2000 nr 27.
- 29.KOWALSKI Z., ARENDT R., MELER-KAPCIA M., ZIELIŃSKI S.: Wybrane problemy tworzenia systemu z bazą wiedzy dla wspomagania projektowania układów automatyki okrętowej. Konferencja NT Automatyzacja – Nowości i Perspektywy AUTOMATION 2000, Warszawa 2000.
- 30.KOWALSKI Z., ARENDT R., MELER-KAPCIA M., ZIELIŃSKI S.: System ekspertowy wspomagania projektowania układów automatyki statków. IV Krajowa Konferencja N-T „Inżynieria wiedzy i systemy ekspertowe”, Wrocław 13-15 czerwca 2000.
- 31.KOWALSKI Z., ARENDT R., MELER-KAPCIA M., ZIELIŃSKI S.: Ekspertnaja sistema podderzki projektirovanija sudovych sistem avtomatiki. Konferencja „Upravlenije w Technicheskich Sistemach, Rosja Kislovodsk 2000.
- 32.KOWALSKI Z., ARENDT R., MELER-KAPCIA M., ZIELIŃSKI S.: System ekspertowy projektowania automatyki statków. Konferencja NT Automatyzacja – Nowości i Perspektywy AUTOMATION 2001, Warszawa 2001.
- 33.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.
- 34.KOWALSKI Z., ARENDT R., MELER-KAPCIA M., ZIELIŃSKI S.: System z bazą wiedzy dla wspomagania projektowania automatyki statków. Jubileuszowa Konferencja Naukowa CTO, Jurata 2001, cz.III.
- 35.KOWALSKI Z., MELER-KAPCIA M., ZIELIŃSKI S.: Zastosowanie metodologii wnioskowania na podstawie przypadków w projektowaniu automatyki siłowni okrętowej. Jubileuszowa Konferencja Naukowa CTO, cz.II, Jurata wrzesień 2001.
- 36.KOWALSKI Z., ARENDT R., MELER-KAPCIA M., ZIELIŃSKI S.: System ekspercki projektowania automatyki statków, Pomiary, Automatyka, Robotyka Nr 7-8 2001, 6-9.
- 37.KOWALSKI Z., MELER-KAPCIA M., ZIELIŃSKI S.: Dobór funkcji podobieństwa w systemie eksperckim dla projektowania automatyki statków. Konferencja NT Automatyzacja – Nowości i Perspektywy AUTOMATION 2002.
- 38.KOWALSKI Z., ZIELIŃSKI S., MELER-KAPCIA M.: Problemy sztucznej inteligencji w projektowaniu statków, Konferencja NT Automatyzacja – Nowości i Perspektywy AUTOMATION'2003, Warszawa 2003.
- 39.KOWALSKI Z., MELER-KAPCIA M., ZIELIŃSKI S., DREWKA M.: CBR methodology application in an expert system for aided design ship's engine room automation, Expert Systems with Applications 29, 2005, 256-263.
- 40.LEE D., LEE K., H.: An approach to case-based system for conceptual ship design assistant. Expert Systems with Applications,16 (1999).
- 41.LEE J.K., OH S.B., SHIN J.C.: UNIK-FCST: Knowledge – Assisted Adjustment of Statistical Forecasts. Expert Systems with Applications, 1990, No 1.
- 42.MAHER M.L., GOMEZ de SILVA GARZA A.: Case-Based Reasoning in Design. IEEE Expert 1997, No 2, Vol 12.

43. MEDSKER L.R.: Hybrid Intelligent Systems, Engineering Applications of Artificial Intelligence. The International Journal of Intelligent Real-Time Automation 1997, No 1, Vol 10.
44. MELER-KAPCIA M., ZIELIŃSKI S., KOWALSKI Z.: "On application of the Case-Based Reasoning methods in ship automation design". Polish Maritime Research 2003 no 2.
45. MELER-KAPCIA M., ZIELIŃSKI S., KOWALSKI Z.: Wspomaganie projektowania automatyki siłowni statku przy zastosowaniu metody CBR. Materiały Konferencji Naukowo-Technicznej AUTOMATION 2004., PIAP, Warszawa 2004.
46. MELER-KAPCIA M., ZIELIŃSKI S., KOWALSKI Z.: On application of some artificial intelligence methods in ship design. Polish Maritime Research 2005 no 1.
47. MIN SEO SUH, WON CHUL JHEE, YOUNG KWAN KO, A. LEE.: A case-based expert system approach for quality design, Expert system with Application, 15, 1998.
48. MULAŁKA J.: Systemy ekspertowe, WN-T, Warszawa 1996.
49. PELPLIŃSKI H.: System ekspercki do wspomagania projektowania układów automatyki siłowni statku. Proces decyzyjny projektowania automatyki elektrowni okrętowej, Politechnika Gdańska, Wydział Elektrotechniki i Automatyki, Katedra Automatyki, Gdańsk, luty 2000.
50. PIEGAT A.: Modelowanie i sterowanie rozmyte. Akademicka Oficyna Wydawnicza EXIT, Warszawa 1999.
51. REICH Y., BARAI S.V.: A methodology for building neural networks models from empirical engineering data, Engineering Applications of Artificial Intelligence, vol, 13, 2000, 685-694.
52. RUTKOWSKA D., PILIŃSKI M., RUTKOWSKI L. Sieci neuronowe, algorytmy genetyczne i systemy rozmyte, WN-T, Warszawa 1999.
53. SHI Z., ZHOU H., WANG J.: Applying case-based reasoning to engine oil design. Artificial Intelligence in Engineering 1997, No 11.
54. SIMPSON A., OLSON E.: ACCESS dla Windows 95, HELION, Gliwice 1997.
55. 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.
56. SUH M. S. i in.: A case-based expert system approach for quality design. Expert Systems with Applications, 15 (1998).
57. TADEUSIEWICZ R.: Sieci neuronowe. Akademicka Oficyna Wydawnicza, Warszawa 1993,
58. USER MANUAL EXSYS Professional - Expert System Development Software, MULTILOGIC, May 1997.
59. WATSON I.: Case-Based Reasoning is a methodology not a technology. Knowledge-Based Systems, 12 (1999).
60. ZAKARIAN V.L., KAISER M.J.: An embedded hybrid neural network and expert system in a computer-aided design system. Expert Systems with Applications, Vol 16, 1999.
61. 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,.
62. ŻURADA J., BARSKI M., JĘDRUCH W.: Sztuczne sieci neuronowe. Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa 1996.
63. YAGER R.R., FILEV D. P.: Podstawy modelowania i sterowania rozmytego WNT, Warszawa 1999.
64. LISOWSKI J., MOSZCZYŃSKI P.: Rozproszony system monitoringu i sterowania siłowni okrętowej. Zeszyty Naukowe Wydziału ETI Politechniki Gdańskiej, Seria - Technologie Informacyjne, nr 3, 2005, s.721-730.

## **7. Załącznik 1. Przykład dokumentacji projektowej automatyki siłowni wybranego statku**

Dla zilustrowania możliwości opracowanego systemu zamieszczono przykład dokumentacji projektowej automatyki siłowni wykonanej przy zastosowaniu tego systemu dla statku B500 zbudowanego w Stoczni Gdańskiej na podstawie uzyskanych danych.

Do najważniejszych dokumentów projektowych, które sporządzono przy użyciu zaprojektowanego systemu należą:

- Opis techniczny automatyki siłowni
- Zestawienie aparatury kontrolno-pomiarowej
- Zestawienie materiałowe elementów automatyki
- Przykładowe schematy blokowo-funkcyjne systemów
- Lista dostawców
- Kalkulacja kosztów wyposażenia automatyki
- Warunki techniczne na układy automatyki

### **Opis techniczny automatyki siłowni**

Nazwa stoczni: STOCZNIA GDAŃSKA

Przeznaczenie statku: Kontenerowiec

Nośność statku: 29600 DWT

Numer projektu: B500

#### **OPIS TECHNICZNY**

#### **AUTOMATYKI SIŁOWNI SYSTEMÓW OGÓLNOSTATKOWYCH**

#### **Projekt techniczny**

#### **Spis treści**

#### **67. AUTOMATYKA SIŁOWNI I SYSTEMÓW OGÓLNOSTATKOWYCH**

##### **67.0. ZAKRES AUTOMATYZACJI**

##### **67.1. STANOWISKA STEROWANIA**

###### **67.1.1. Centrala Manewrowo-Kontrolna (CMK)**

###### **67.1.2. Sterownia**

###### **67.1.3. Skrzydła mostka**

###### **67.1.4. Stanowisko sterowania lokalnego napędem głównym**

###### **67.1.5. Biuro pokładowe**

##### **67.2. UKŁAD ZDALNEGO STEROWANIA NAPĘDEM GŁÓWNYM**

##### **67.3. AUTOMATYKA. ELEKTROWNI STATKU**

##### **67.4. UKŁAD ALARMOWY, MONITOROWANIE SIŁOWNI I SYSTEMÓW OGÓLNOSTATKOWYCH**

##### **67.5. STEROWANIE SYSTEMAMI I URZĄDZENIAMI SIŁOWNI**

##### **67.6. STEROWANIE SYSTEMAMI SPECJALNYMI**

###### **67.6.1. Sterowanie wentylatorami ładowni**

###### **67.6.2. Sterowanie układem wyrównania przechyłów statku**



## 67. AUTOMATYKA SIŁOWNI I SYSTEMÓW OGÓLNOSTATKOWYCH

### 67.0. ZAKRES AUTOMATYZACJI

Automatyczne sterowanie, zdalne sterowanie, układy bezpieczeństwa i monitorowanie urządzeń będą wykonane w zakresie umożliwiającym pracę siłowni statku w czasie normalnych warunków żeglugi.

Zakres automatyzacji będzie zgodny z wymaganiami przepisów BV, dla klasy AUT - PORT.

Uruchomienie siłowni i przygotowanie do pracy dokonywane będzie lokalnie w siłowni przez obsługę.

Niezależnie od układów automatyki i zdalnego sterowania urządzenia wyposażone będą w lokalne stanowiska sterowania z niezbędnymi wskaźnikami, umożliwiające sterowanie ręczne w przypadku awarii układów automatyki.

### 67.1. STANOWISKA STEROWANIA

#### 67.1.1. Centrala Manewrowo-Kontrolna (CMK)

W siłowni statku przewidziane będzie specjalne pomieszczenie izolowane akustycznie i klimatyzowane, w którym znajdą się wszystkie niezbędne urządzenia umożliwiające zdalne lub automatyczne sterowanie systemów siłowni.

W CMK będą instalowane:

- Rozdzielnica Główna (RG)
- Rozdzielnice Pomocnicze (RP)
- Pulpit Automatyki zawierający niżej wymienione wyposażenie związane ze sterowaniem napędu głównego i mechanizmów pomocniczych siłowni oraz sygnalizacją stanów ich pracy:
- stanowisko zdalnego sterowania napędem głównym
- panel układu bezpieczeństwa silnika głównego
- stanowiska operatorskie układu alarmowego, monitorowania i sterowania systemami i urządzeniami siłowni
- mierniki ważniejszych parametrów siłowni.
- panel sygnalizacji grupowej, wyboru mechanika wachtowego i przywołania mechaników
- panel kontroli wachty (Dead Man)
- drukarka stanów alarmowych i rejestracji danych
- rozdział napięcia sterującego 220 V 60 Hz z obwodu głównego i zasilania awaryjnego
- rozdział napięcia 24V DC/AC
- Panele automatyki elektrowni statku umieszczone w rozdzielnicy głównej.

#### 67.1.2. Sterownia

Usytuowanie i rozplanowanie sterowni będzie wykonane zgodnie z wymaganiami przepisów dla klasy sterowni.

Następujące wyposażenie związane ze sterowaniem napędem głównym i pracą siłowni będzie umieszczone w sterowni:

- stanowisko zdalnego sterowania napędem głównym
- panel układu bezpieczeństwa silnika głównego
- panel sygnalizacji grupowej i przywołania mechanika
- stanowisko operatorskie układu alarmowego,
- monitorowania i sterowania systemami i mechanizmami siłowni
- wymagane przepisami wskaźniki i przyrządy pomiarowe.

#### 67.1.3. Skrzydła mostka

Następujące wyposażenie związane z napędem głównym będzie umieszczone na skrzydłach mostka:

- stanowisko zdalnego sterowania napędem głównym
- panel układu bezpieczeństwa silnika głównego
- wymagane przepisami wskaźniki i przyrządy pomiarowe.

#### 67.1.4. Stanowisko sterowania lokalnego napędem głównym

Przewidziane jest stanowisko lokalnego, awaryjnego sterowania napędem siłowni  
- lokalne stanowisko sterowania silnikiem głównym.

#### 67.1.5 Biuro pokładowe

Stanowisko sterowania i sygnalizacji związane z obsługą ładunku statku.

#### 67.2. UKŁAD ZDALNEGO STEROWANIA NAPIĘDEM GŁÓWNYM

Układ zdalnego sterowania napędem głównym oparty będzie na technice mikroprocesorowej i będzie działał niezależnie od innych układów. Będzie też powiązany z układem alarmowym siłowni.

Napęd główny będzie sterowany ze stanowiska w sterowni i ze skrzydeł mostka, względnie ze stanowiska w CMK. Stanowiska te umożliwiają realizację następujących funkcji:

##### A. Sterownia i skrzydła mostka:

- Start/Stop silnika głównego
- Zmiana kierunku prędkości obrotowej silnika głównego
- Sterowanie prędkością obrotową silnika głównego
- Awaryjny STOP silnika głównego
- Awaryjny RUCH silnika głównego

##### B. CMK

- Start/Stop silnika głównego.
- Zmiana prędkości i kierunku prędkości obrotowej silnika głównego przy pomocy dźwigni – manipulatora SG
- Awaryjny STOP silnika głównego
- Awaryjny RUCH silnika głównego

Przełączanie miejsca sterowania będzie dokonywane ze stanowiska CMK.

W przypadku awarii zdalnego sterowania napędu głównego możliwe będzie manewrowanie silnikiem głównym ze stanowiska lokalnego na silniku.

Zainstalowany też będzie elektroniczny regulator prędkości obrotowej silnika głównego.

Do przekazywania komend z mostka, w przypadku awarii zdalnego sterowania napędu głównego, zainstalowany będzie telegraf maszynowy z nadajnikiem w sterowni i odbiornikami w CMK i przy lokalnym stanowisku sterowania silnika głównego.

Ponadto system telegrafu maszynowego będzie posiadał następujące dodatkowe komendy: „Uwaga” oraz „Koniec manewrów”.

Na mostku będzie zainstalowany rejestrator manewrów napędem głównym z drukarką.

System zdalnego sterowania napędem głównym wyposażony będzie w układ bezpieczeństwa powodujący awaryjne zatrzymanie lub redukcję obciążenia silnika głównego (SG) w przypadku przekroczenia granicznych wartości parametrów pracy silnika głównego, zgodnie z zaleceniami producenta tych urządzeń.

Stanowiska sterowania napędem głównym w sterowni, na skrzydłach mostka i w CMK wyposażone będą w przycisk „Awaryjnego Stopu” napędu. Ponadto stanowiska te będą wyposażone w przycisk „Awaryjny Ruch” kasujący blokadę pracy (SHD) silnika głównego (za wyjątkiem blokady od nadmiernej prędkości obrotowej silnika i bardzo niskiego ciśnienia oleju smarowego na dolocie do silnika) oraz redukcję obciążenia (SLD) SG. Przycisk ten może być użyty w przypadku zadziałania blokady „Awaryjny Stop” (SHD) lub „redukcji obciążenia napędu” (ADO) w sytuacji krytycznej dla statku.

#### 67.3. AUTOMATYKA ELEKTROWNI STATKU

Automatyka elektrowni statku oparta będzie na technice mikroprocesorowej i składać się będzie z niezależnych bloków dla każdego zespołu prądotwórczego, zapewniających pełne możliwości sterowania i monitorowania.

Elementy obsługi automatyki elektrowni statku będą usytuowane w CMK.

Automatyka elektrowni realizować będzie następujące funkcje:

- Zdalne uruchomienie zatrzymanie i monitorowanie każdego zespołu prądotwórczego
- Wybór dowolnego zespołu prądotwórczego do podjęcia pracy (Stand-by) w przypadku wystąpienia zaniku napięcia w sieci (black-out)
- Wybór kolejności załączania/wyłączania się zespołów prądotwórczych w zależności od zapotrzebowania mocy w sieci
- Automatyczna synchronizacja i załączenie generatora do sieci
- Okresowe przesmarowanie zespołów będących w pogotowiu do pracy
- Rozdział mocy pomiędzy zespoły prądotwórcze (symetryczny)
- Przygotowanie rezerwy mocy w sieci niezbędnej dla uruchomienia dużych odbiorników i blokada ich startu w przypadku zbyt małej rezerwy mocy w sieci.

Każdy zespół prądotwórczy wyposażony będzie we własny układ rozruchu i zabezpieczeń umożliwiający obsługę lokalne uruchomienie w przypadku awarii układu automatyki elektrowni.

#### 67.4. UKŁAD ALARMOWY, MONITOROWANIE SIŁOWNI I SYSTEMÓW OGÓLNOSTATKOWYCH

Na statku zainstalowany będzie, oparty na technice mikroprocesorowej, układ alarmowy i monitorujący systemy i urządzenia spełniający następujące funkcje:

- monitorowanie zasadniczych parametrów urządzeń i alarmowanie nieprawidłowych stanów
- prezentowanie na ekranie monitora schematów mnemotechnicznych z aktualnym stanem poszczególnych systemów i urządzeń siłowni
- pomiar i prezentacja, graficzna (bargrafy) wartości mierzonych (analogowo) parametrów
- okresowe rejestrowanie parametrów pracy siłowni.

# Zestawienie aparatury kontrolno-pomiarowej

MONITORING, ALARM, CONTROL AND SAFETY SYSTEMS POINTS																				
POINT DATA										SET POINT										
I NO	CODE	DEAL NO	PANEL	DESCRIPTION		UNIT	OPER.	ALARM DATA										I/O		
				CON.	BOX			CHAN.	OPIS	LLAL	LCR	HCTR	HHAU	SLD	SHD	GROUP	BLOC	DBLOC	ON/OFF	AI
	OBJ							DEL	DEL	DEL	DEL	DEL	DEL	BR	ECR	CAB	DEL	DEL	DOQ	AIQ
	XA				S.G. BLOKADA (SHD)									1					1	
	I																			
	XA				S.G. REDUKCJA OBROTOW (SLD)									2					1	
	I																			
	XA				S.G. POSTÓJ														1	
	I																			
	XA				S.G. ZDALNE STEROWANIE - awaria									5					1	
	I																			
	XA				S.G. POMIAR OBROTÓW ZD STEROW. - awaria									5					1	
	I																			
	XA				S.G. ZDALNE STER. KONTROLA OBWOD - awaria									5					1	
	I																			
	XA				S.G. UKŁAD BEZPIECZENSTWA -wyl/awaria									5					1	
	I																			
	X				S.G. POMIAR OBROTÓW UKŁ. BEZPIECZ. -awaria									5					1	
	I																			
	XA				S.G. UKŁAD BEZPIECZENSTWA - praca									4					1	
	I																			
	XA				S.G. TELEGRAF MASZYNOWY - awaria									5					1	
	I																			
	XA				S.G. TURBINA POMOCN. Nr 1-2 - awaria									5,3			200rpm	200rpm	4-20mA	0 - 600
	I	TE3701-8A				C	0 - 600				515	530							8	MB158S286K2
	I	E140			S.G. GAZY WYD.CYL.Nr 1-8 TEMPERATURA-odl	C	+/- 100	-50			+50	+70		5,3			200rpm	200 rpm		
-8A D	TIADHL	TE3701-8A										60s								
	I	E140			S.G. GAZY WYD.CYL.Nr 1-8 ODPCHYL. TEMP -odl	C	0 - 600				515	530		5,3					4-20mA	0 - 600
-2A	TIAH	TE3721-2A										60s							2	MB158S286K2
	I	E140			S.G. TURBOSP. PREZ. Nr 1-2 GAZY WYD. TEMPER. odl	C	0 - 600				480			5					4-20mA	0 - 600
-2A	TIAH	TE3731-2A																	2	MB158S286K2
	I	E140			S.G. TURBOSP. PREZ. Nr 1-2 GAZY WYD. TEMPER. odl	C	0 - 100	25			65			5					Pt-100	0 - 100
-2A	TIHL	TE4031-2A																	1	MNS24S200U
	I	E140			S.G. POWIETRZE DOŁAD. ZA CHŁOD. Nr 1 -temp.	C	0 - 3.2												4-20mA	0 - 3.2
C	PI	PT4041C				bar	0 - 3.2													
	I	E10			S.G. POWIETRZE DOŁADOW. W ZASOBNIKU-cish.	bar	0 - 1.6													0 - 1.6
-2L	PCS	PS4051-2L							0.35	0.45										
	I	E21/E22			S.G. POWIETRZE DOŁADOW. W ZASOBNIKU-cish.						X			5						
A	LAH	LS4071A																		
	I	E110																		
-8A	TIAH	TE4081-8A			S.G. ZASOBNIK POW. DOŁADOWANIA-WODA -poz.	C	0 - 300				80			5					1	ALV15VUL12
	I	E110																	Pt-100	0 - 300
-8S	TISH	TE4081-8S			S.G. PRZESTRZEN POD TŁOKIEM Nr 1-8 -temp	C	0 - 300													*
	I	E110																	Pt-100	0 - 300
	X	ZS5003C			S.G. PRZESTRZEN POD TŁOKIEM Nr 1-8 -temp.							60s							8	MB286S200U
-8C																				
	I	E10/E11			S.G. POŁOŻENIE STOP DZWIGNI PALIWOWEJ															

# Zestawienie materiałowe automatyki

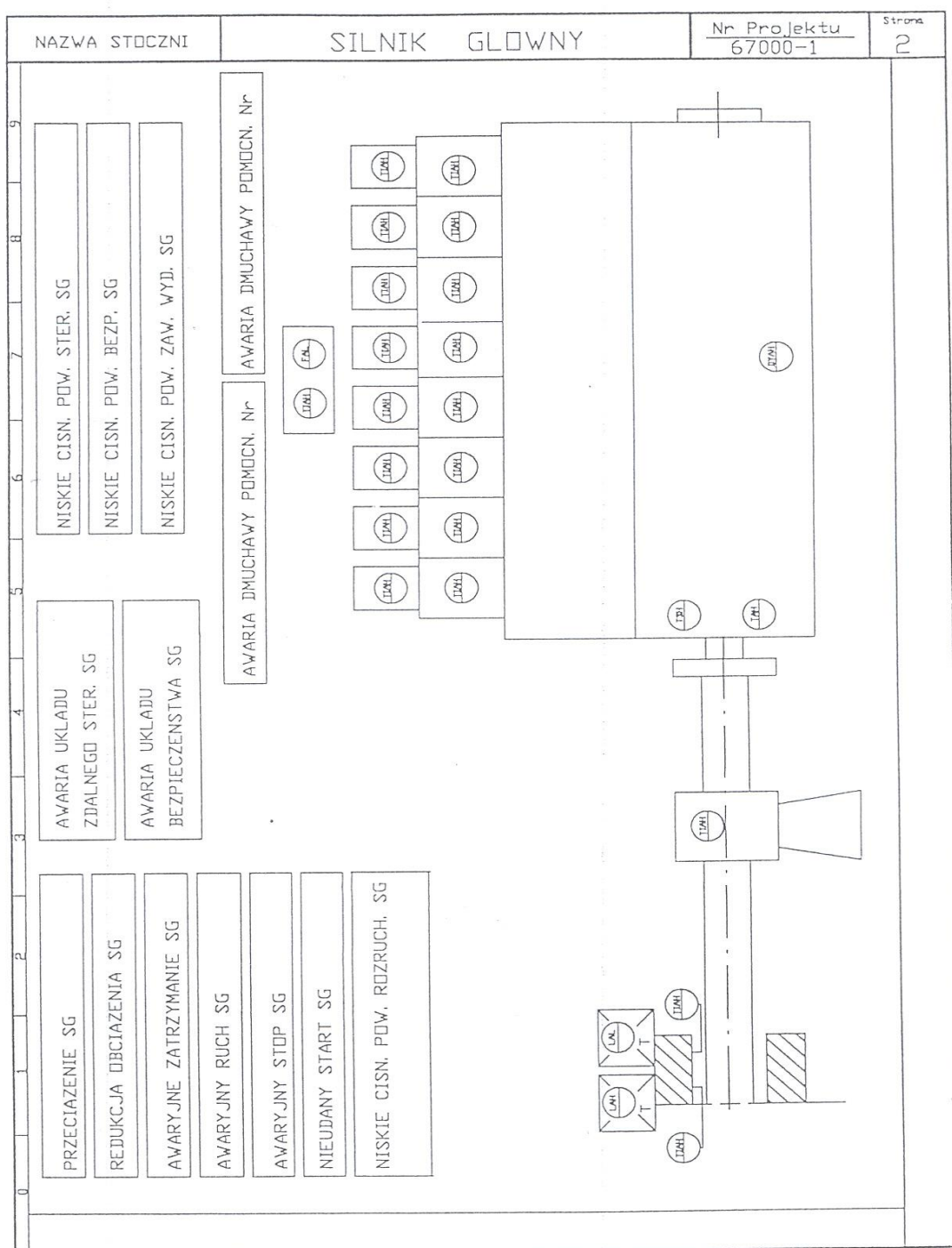
ZESTAWIENIE MATERIAŁOWE CZUJNIKÓW

Lp	NAZWA CZUJNIKA	SYMBOL NUMER	ZAKRES CZ. ZAKRES PR.		JEDN.	TYP CZUJNIKA		TYP KIESZENI		INNE DANE	PRODUCENT	ILOŚĆ SZT. ZEST. MAT.		UWAGI
			ON/OFF	ANALOG.		DLUGOŚĆ	GWINT	ZEST.	MAT.					
		XA												
		A 5												
		XA												
		A 10												
		XA												
		A 20												
		XA												
		A 30												
		XA												
		A 32												
		XA												
		A 34												
		XA												
		A 50												
		XA												
		A 52												
		X												
		A 54												
		XA												
		A 60												
		XA												
		A 81-2												
	NICRAL	TIAH	0 - 600	C	MB158S286K25						AUTRONICA			
		A3701-8A	0 - 600		4-20mA		200	M33x2						
		TIADHL		C										
		A3701-8A D	+/- 100											
	NICRAL	TIAH	0 - 600	C	MB158S286K25						AUTRONICA			
		A3721-2A	0 - 600		4-20mA		200	M33x2						
	NICRAL	TIAH	0 - 600	C	MB158S286K25						AUTRONICA			
		A3731-2A	0 - 600		4-20mA		200	M33x2						
	Pt-100	TIAHL	0 - 100	C	MN524S200U						AUTRONICA			
		A4031-2A	0 - 100		Pt-100		150	M33x2						
	transducer	PI	0 - 3.2	bar										
		A4041C	0 - 3.2		4-20mA									
	presostat	PCS	0 - 1.6	bar										
		A4051-2L	0 - 1.6											
	level sensor	LAH			ALV1.5VUL120						H.KUEBLER AG			
		A4071A						G 1 1/2"						

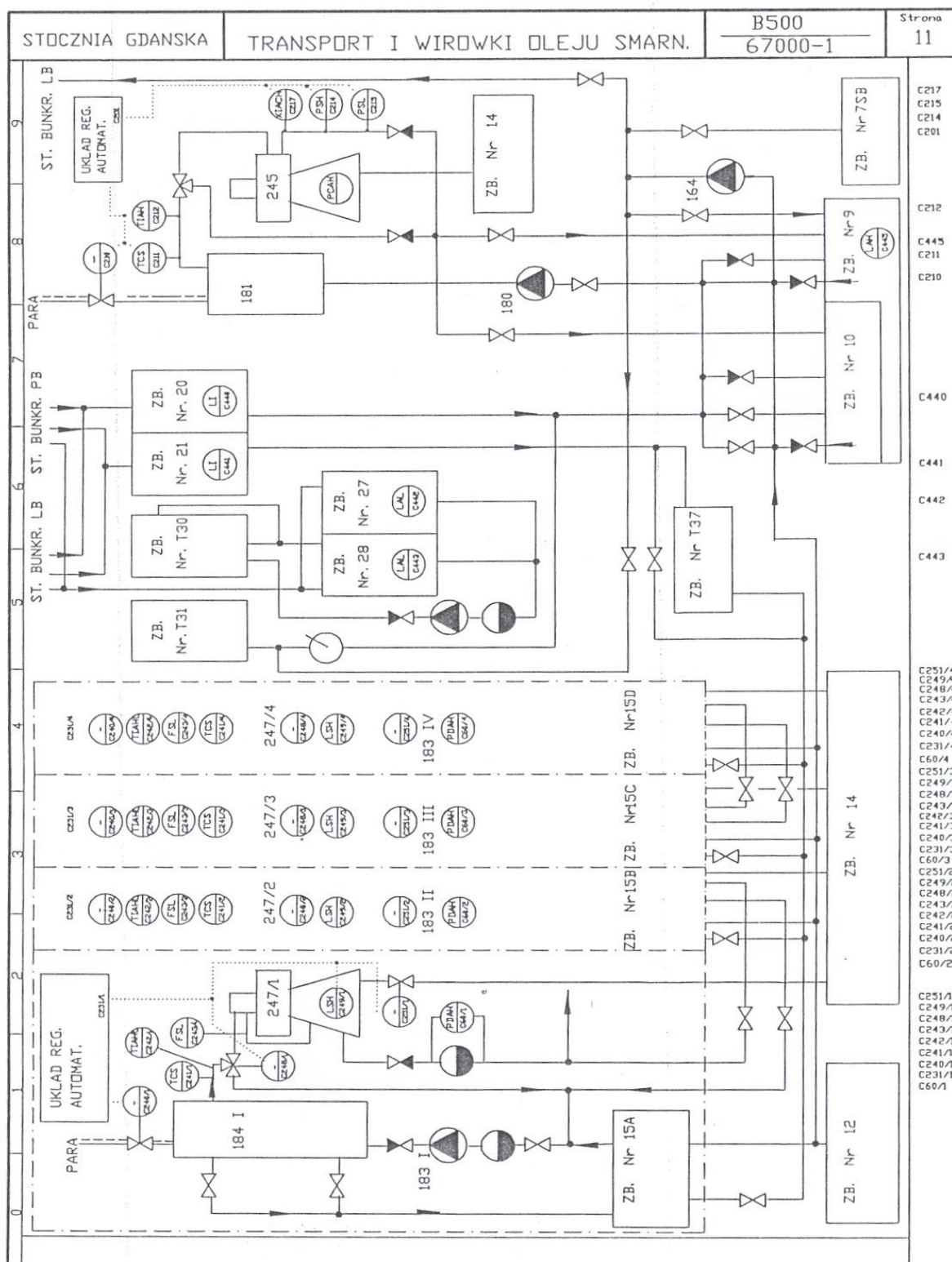


## Przykładowe schematy blokowo-funkcjonalne systemów

### Przykładowy schemat blokowy silnika głównego



## Przykładowy schemat systemu oleju smarnego



## Lista dostawców

### LISTA DOSTAWCÓW

19.sty-05

nazwa elementu	typ elementu	dostawca	kraj dostawcy
<b>czujnik poziomu</b>			
GT702		Francja	
CT801 LB		Francja	
CT801 LB		Francja	
CT80I LB		Francja	
GT206		Norwegia	
LEVEL DATIC 100S		Finlandia	
LEVEL DATIC 100S		Finlandia	
MAS 2600	IPM Manne Automation	Dania	
<b>czujnik przechyłu</b>			
AH94	HOPPE	Niemcy	
<b>czujnik temperatury</b>			
MB158/ MN236		Norwegia	
MF19	NOVIMEX	Norwegia	
MFI9	NOVIMEX	Norwegia	



**Kalkulacja kosztów wyposażenia automatyki****KALKULACJA KOSZTÓW  
WYPOSAŻENIA AUTOMATYKI**

<b>Nazwa urządzenia materiał</b>	<b>Jedn. miary</b>	<b>Ilość</b>	<b>Cena jednost. PLN</b>	<b>Wartość PLN</b>	<b>Dostawca</b>
Zintegrowany układ	kpl	1	87000,00	87000,00	DC3
Pulpit CMK	kpl	1	34642,00	34642,00	
Układ zdalnego sterowania SG	kpl	1	76408,00	76408,00	DE2
Układ diagnostyki SG	kpl	0	0,00	0,00	
Pulpit zęzowo balastowy	kpl	0	0,00	0,00	
Zdalny pomiar poziomów	kpl	1	8988,00	8988,00	DH3
Analiza mgły olejowej	kpl	0	0,00	0,00	
Układy automatyki zespołów	kpl	1	89844,00	89844,00	
System obwodów iskrobezpiecznych	kpl	0	0,00	0,00	
Przetworniki ciśnienia	szt	48	1480,00	71040,00	
Presostaty	szt	20	370,00	7 400,00	
Termostaty	szt	5	450,00	2 250,00	
Czujniki poziomu	szt	57	520,00	29 640,00	
Czujniki temperatury	szt	15	120,00	1 800,00	
Wyłączniki pływakowe	szt	32	147,00	4 704,00	
Rozdzielnice zaciskowe	kpl	1	1789,00	1789,00	
Osprzęt instalacyjny	kpl	1	3979,00	3979,00	
Pozostałe materiały	kpl	1	8651,00	8651,00	
<b>RAZEM grupa 67</b>		<b>185</b>		<b>428 135,00</b>	

## Warunki techniczne na układy automatyki.

### WARUNKI TECHNICZNE na Układ zdalnego sterowania napędem głównym

Spis treści:

- Informacje ogólne
- Informacje szczegółowe
- Schemat blokowo-funkcyjny

#### INFORMACJE OGÓLNE

##### A. Informacje ogólne o statku:

- |                     |                |
|---------------------|----------------|
| 1. Numer projektu:  | B500           |
| 2. Typ statku:      | Kontenerowiec  |
| 3. Nośność:         | 29600 DWT      |
| 4. Klasa statku:    | BV I3/3F       |
| 5. Zakres pływania: | nieograniczony |
| 6. Bandera          | francuska      |
| 7. Armator          | Delmac         |

##### B. Obowiązujące przepisy:

1. Towarzystwo Klasyfikacyjne: BV,
2. SOLAS 1974 - International Convention of Life at sea of 1974  
with Amendments to 16.03.1999
3. MARPOL 73/78 - International Convention for the Prevention of  
Pollution from Ships of 1973 with annexes\_ to 1978
4. Rules of Navigation of Suez Canal Authority
5. Rules of Navigation of Panama Canal Authority .Panama Canal Marine  
Director Notice 1-79 (navigation bridge features and hull fittings required  
for transiting vessels)
6. Maritime Laws and Regulations of Bahama Islands

##### C. Instalacje elektryczne

1. Energia elektryczna będzie wytwarzana przez 4 zespoły prądotw6rcze\_  
Dystrybucja energii poprzez sieć 3x380 V, 60 Hz z izolowanym punktem zerowym

2. Na statku będą do dyspozycji następujące sieci:  
3x380 V, 60 Hz, 220 V, 60 Hz, 24 V prądu stałego
3. Instalacje elektryczne będą obliczone do pracy ciągłej przy temperaturze otoczenia +45 °C.
4. Lampki sygnalizacyjne we wszystkich rozdzielnicach, pulpitych i innych urządzeniach mają być na napięcie 24 V prądu stałego lub przemiennego.

#### D. Dokumentacja

##### 1. Dokumentacja uzgodnieniowa:

- Trzy egzemplarze dokumentacji technicznej w języku angielskim (tylko na pierwszy statek) w zakresie umożliwiającym pracownikom biura projektowego stoczni wykonanie dokumentacji roboczej na zainstalowanie i podłączenie urządzenia na statku.

Dokumentacja powinna zawierać co najmniej:

- dane techniczne i opis działania.
- schemat połączeń zewnętrznych z podaniem typów i przekrojów zalecanych kabli, ze szczególnym uwzględnieniem kabli specjalnych, numerów zacisków do podłączenia poszczególnych żył kabli oraz podaniem napięcia i zapotrzebowania mocy elektrycznej.
- rysunki gabarytowe poszczególnych elementów układu, ich ciężar i sposób mocowania.
- program prób układu na statku na uwięzi i w czasie prób w morzu.

- Termin dostarczenia dokumentacji: 21 dni od podpisania kontraktu.

##### 2. Dokumentacja zdawcza na każdy statek:

- Trzy egzemplarze dokumentacji technicznej w języku angielskim.

Dokumentacja powinna zawierać:

- dane techniczne i opis działania,
- schemat połączeń zewnętrznych z podaniem typów i przekrojów kabli, numerów zacisków do podłączenia poszczególnych żył kabli oraz podaniem napięcia i zapotrzebowania mocy elektrycznej.
- rysunki gabarytowe poszczególnych elementów układu, ich ciężar i sposób mocowania.
- karty katalogowe zastosowanych elementów.
- wykaz aparatów i części zapasowych z podaniem typu, producenta i jego adresu, telefonu i telefaxu.
- instrukcja obsługi oraz sposób wykrywania i usuwania uszkodzeń.
- wykaz punktów serwisowych na całym świecie.

- Wyniki testów prób fabrycznych.

- Wymagane certyfikaty Towarzystwa Klasyfikacyjnego.

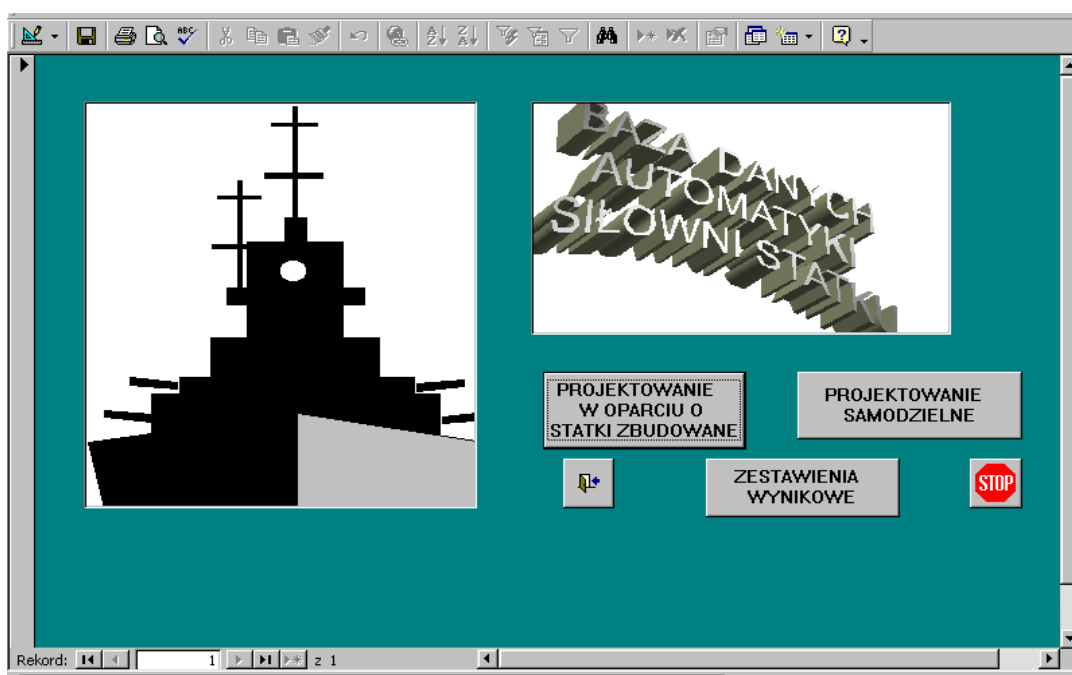
## 8. Załącznik 2. Opis działania systemu wspomagania projektowania automatyki siłowni

Z poziomu menu głównego aplikacji, przedstawionego na rys.46, projektant może realizować: projekt ofertowy, techniczny lub wyszukiwać z bazy danych informacje dotyczące automatyki statków zbudowanych.



Rys. 46. Menu główne aplikacji bazy danych

Przyjęty tryb wspomagania projektowania na podstawie informacji o statkach zbudowanych obowiązuje zarówno na etapie projektu ofertowego dając możliwość tworzenia opisów technicznych, jak i na etapie projektu technicznego przy doborze elementów automatyki (głównie czujników). Odbywa się to poprzez dołączanie informacji dotyczących poszczególnych systemów automatyki lub obiektów pochodzących z różnych statków i ewentualnej ich adaptacji. Wybór taki umożliwia Menu projektu technicznego, które przedstawione zostało na rys. 47.



Rys. 47. Menu projektu technicznego

## 8.1 Projektowanie automatyki systemów na podstawie informacji o statkach zbudowanych

Szczegółowe informacje o statkach zbudowanych przechowywanych w bazie danych oraz ich automatyce uzyskać można za pośrednictwem menu, które przedstawiono na rys. 48.



Rys. 48. Menu dla wyszukiwania informacji o automatyce statków

Przykładowe zestawienie elementów automatyki dla wybranego na żądanie statku wraz z jego danymi ogólnymi przedstawiono na rys. 49.

Elementy automatyki na statku

statek: B191      stocznia: Gdańska      kanały: Panam,Kil,Suez  
 typ statku: kontenerowiec      rok bud: 1994      rodzaj ład: kontenery  
 nośność: 22148      liczba kont - TEU: 0      rejon pływ: nieogr  
 prędkość:      liczba kont chł: 200      przepisy adm: SBG, BSH  
 tow klas: DNV      ilość samochodów: 100      normy międzyn: SOLAS83, COLREG72, MARPOL77  
 bandera: niemiecka

	nazwa urz (el):	typ urz (el):	producent:	dostawca:	kraj dost:	data oferty:	waluta	cena ofert:	rabat	uznanie	
▶	czujnik przechyłu	AH 94	HOPPE	HOPPE	Niemcy	1994-01-01	DEM	12 500,00	0	GL	K
	czujnik poziomu	CT702	AUXITROL		Francja	1994-03-01	FRF	3 910,00	15		G
	czujnik poziomu	GT206	AUTRONICA		Norwegia	1994-11-01	NOK	8 217,00	10		G
	czujnik poziomu	MAS 2600	IPM	IPM Manne Autom	Dania	1997-07-16	DKK	4 757,00	2		G
	czujnik temperatury	MF19	NORIS	NOWIMEX	Norwegia	1995-01-01	DEM	860,00	0		G
	czujnik temperatury	MM681	AUTRONICA	AUTRONICA	Norwegia	1995-01-01	NOK	3 500,00	0		G
	czujnik temperatury	PT 100	NORIS	NOWIMEX	Niemcy	1995-01-01	DEM	158,00	0		G
	czujnik temperatury	TN48	NORIS	NOWIMEX	Niemcy	1995-01-01	DEM	156,00	0		G
	czujnik wilgotności	EGH 112 F002	SAUTER		Szwajcaria	1996-05-01	SFR	440,00	0		D
	czujnik wilgotności	ROTRONIC I-102	ALFSENOG GUNCE		Norwegia	1996-05-01	NOK	7 500,00	0		D
	przetwornik ciśnienia	VD61	NORIS	NOWIMEX	Niemcy	1995-01-01	DEM	500,00	0		G
	presostat	PS	TRAFAG	NOWIMEX	Szwajcaria	1995-01-01	DEM	252,00	0	GL	
	termostat	471.2323	TRAFAG	TRAFAG	Szwajcaria	1995-01-01	DEM	230,00	0	GL	
	wyłącznik pływakowy	ERH	ZAP OSTRÓW	ZAP OSTRÓW	Polska	1998-01-01	PLN	528,00	0		G

Rekord: 1 z 14

Rekord: 1 z 7

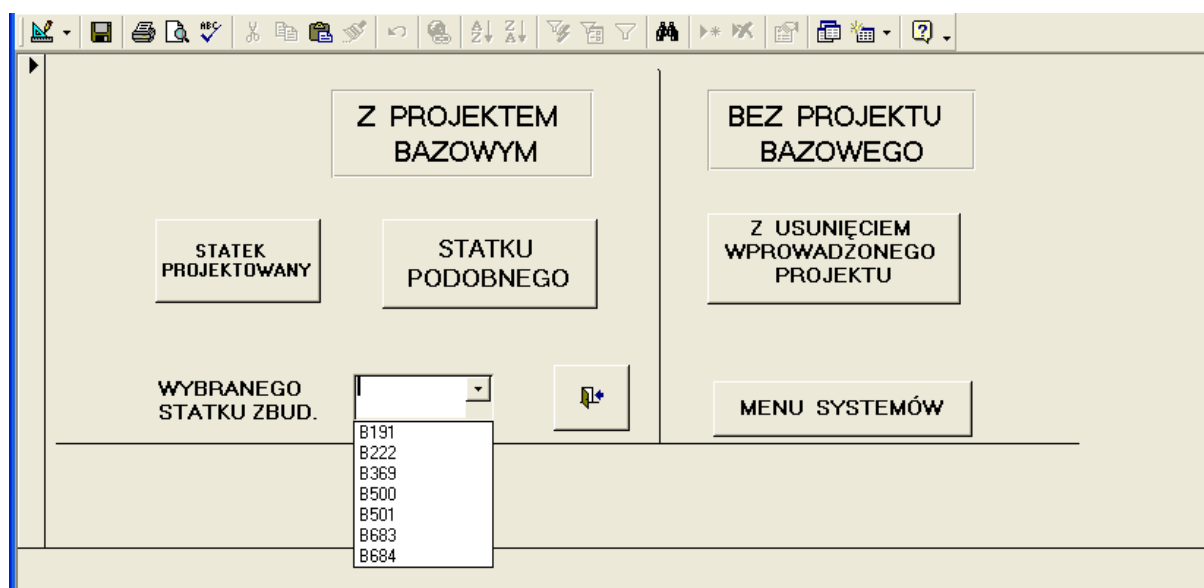
Rys. 49. Zestawienie elementów automatyki dla wybranego statku

Podstawowe dokumenty projektu technicznego można uzyskać za pośrednictwem menu Zestawienia wynikowe, które przedstawiono na rys. 50.



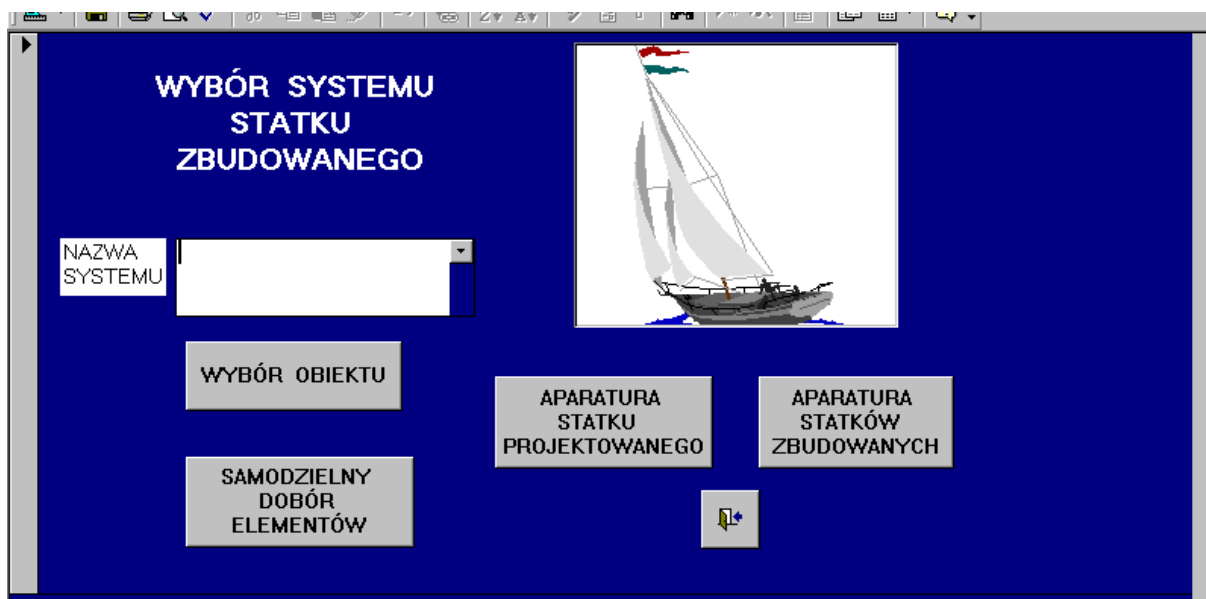
**Rys. 50. Menu zestawień wynikowych w postaci raportów**

Wybór projektu bazowego statku zbudowanego np. B191 lub projektu statku podobnego automatycznie wyszukanego przez aplikację bazy danych może być dokonany za pośrednictwem menu, które przedstawione zostało na rys. 51.



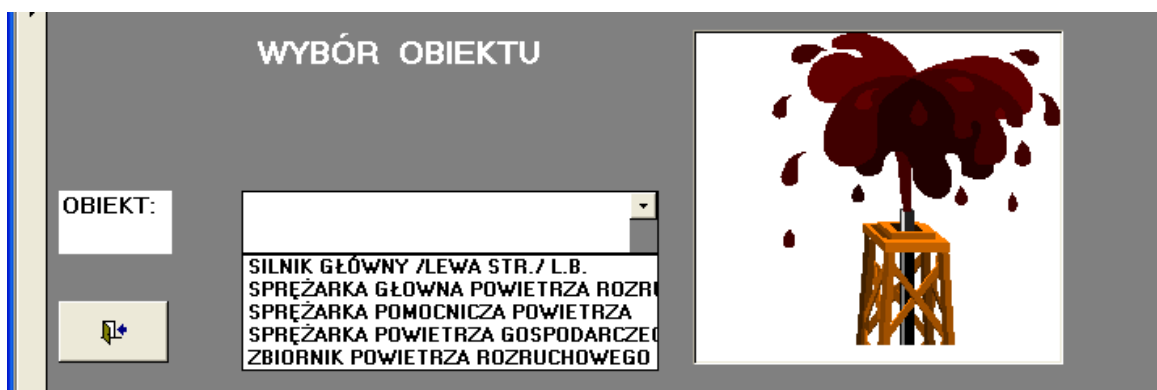
**Rys. 51. Menu wyboru projektu statku zbudowanego**

Po wyszukaniu projektu statku zbudowanego możliwe jest zastąpienie informacji dotyczących jego wybranych systemów na pochodzące z projektów innych statków. Umożliwia to menu wyboru systemu statku zbudowanego, które przedstawiono na rys. 52.



**Rys. 52. Menu wyboru systemu statku zbudowanego**

Po określeniu żadanego systemu statku możliwe jest wyspecyfikowanie wybranego obiektu tego systemu, za pośrednictwem menu wyboru obiektu statku zbudowanego przedstawionego na rys.53.

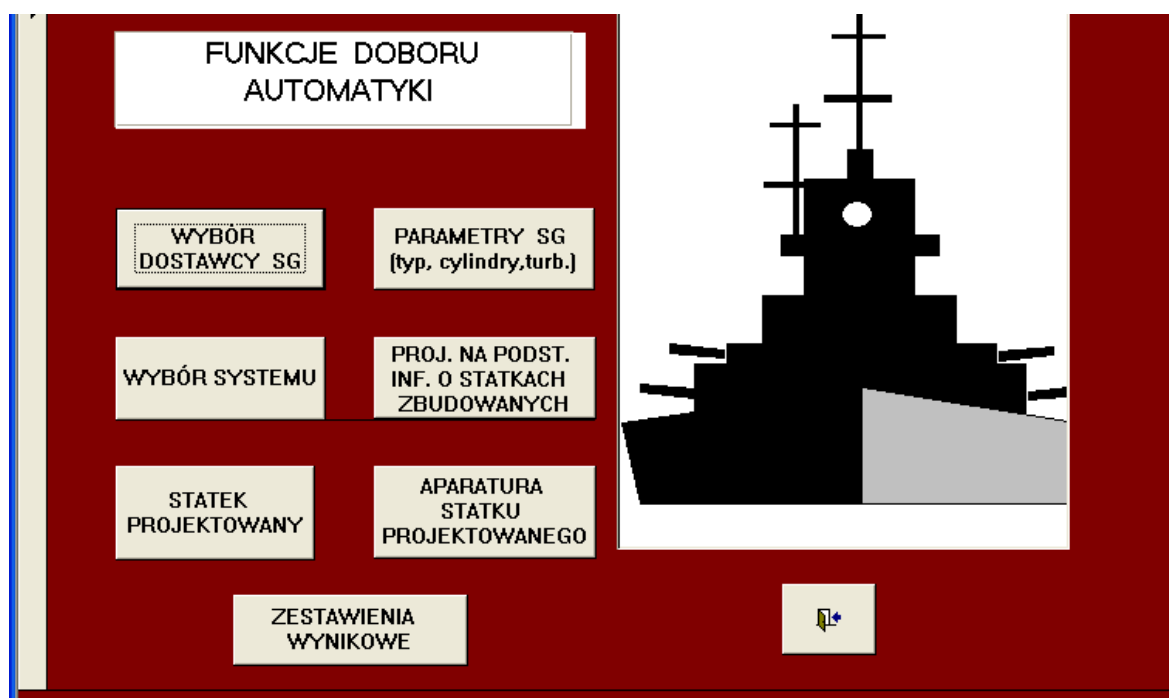


**Rys. 53. Menu wyboru obiektu statku zbudowanego**

## **8.2 Projektowanie samodzielne automatyki systemów**

Wspomaganie projektowania samodzielnego przez projektanta automatyki w oparciu o model dziedzinowy zaprezentowane zostanie na przykładzie systemu sterowania i zabezpieczeń silnika głównego oraz systemu sprężonego powietrza.

Menu dla wyboru opcji projektowania samodzielnego przedstawione zostało na rys. 54.



**Rys. 54. Menu wyboru funkcji projektowania automatyki**

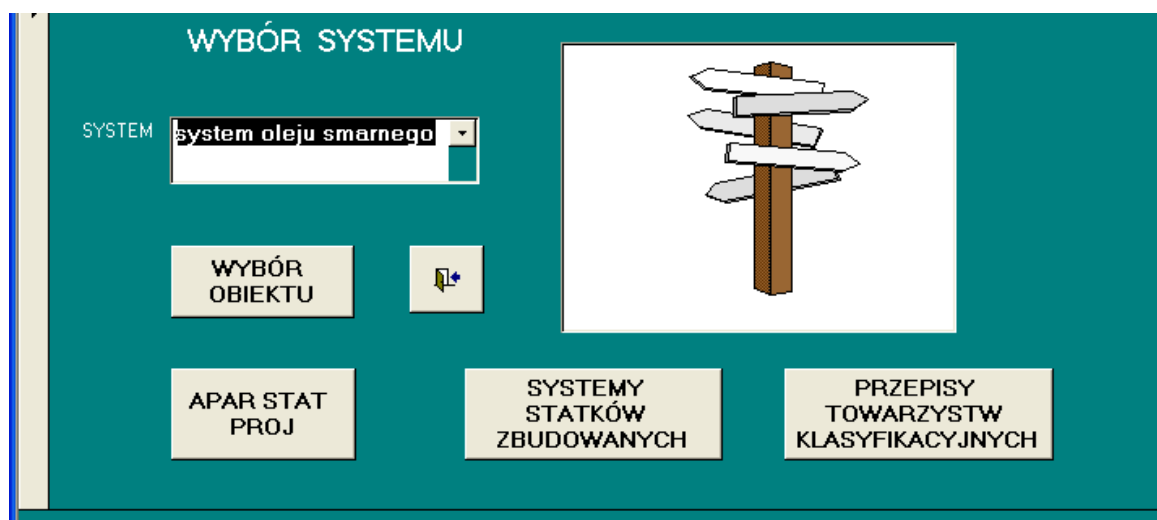
Menu wyboru dostawcy i innych wartości parametrów SG przedstawiono na rys. 55.



**Rys. 55. Menu wyboru dostawcy i innych parametrów SG.**

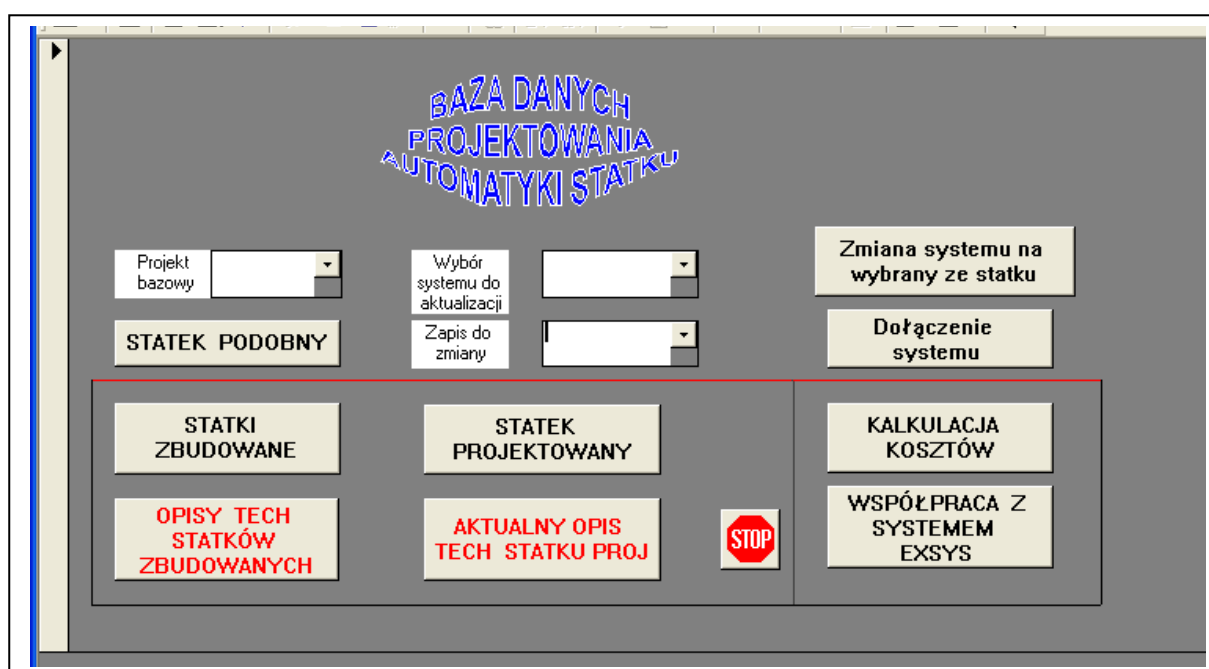
Możliwe jest projektowanie automatyki na podstawie informacji o statkach zbudowanych na przemian z projektowaniem samodzielnym, co ułatwia pracę projektantowi, dając możliwość dostępu zarówno do danych katalogowych, jak i danych o automatyce statków zbudowanych. W projektowaniu na podstawie modelu dziedzicznego można dokonywać weryfikacji projektu w obrębie poszczególnych systemów, jak również obiektów, co przedstawione zostało na rys. 56.





Rys. 56. Menu wyboru systemu projektowania samodzielnego

Warianty tworzenia opisu technicznego za pośrednictwem menu opisu technicznego uwidocznione są na rys. 57.



Rys. 57. Menu tworzenia opisu technicznego

### Zastosowanie bazy przepisów towarzystw klasyfikacyjnych

Menu wyszukiwania przepisów towarzystw klasyfikacyjnych na przykładzie Polskiego Rejestru Statków przedstawione zostało na rys. 58

**Rys. 58. Menu wyszukiwania przepisów towarzystw klasyfikacyjnych na dla PRS**

Alternatywnie wyszukiwanie przepisów może być realizowane według haseł, które znajdują się w tabeli 40 (Załącznik 3) i uwidocznione zostały na rys. 59.

Kod hasła	Hasło
HAL	Alarmy
HAW	Awaryjne
HEL	Elementy automatyki
HSK	Sygnalizacja/Kontrola
HUA	Układy automatyki
HWO	Wymagania ogólne
HZA	Zasilanie
HZB	Zabezpieczenia
HCN	Computer Hardware & Networks

**Rys. 59. Menu wyszukiwania przepisów towarzystw klasyfikacyjnych dla LRS z wykazem haseł**

W celu zapewnienia pokazywania treści przepisów zapisano ich treść w postaci kodu HTML, w plikach zewnętrznych, nie związanych z bazą. W aplikacji bazy danych umieszczono przeglądarkę HTML pozwalającą odczytać zapisane przepisy. Rozwiązanie takie pozwala na uniknięcie żmudnego wprowadzania treści przepisów do bazy, każdorazowo w momencie ich zmiany bądź uaktualniania.

Fragment bazy przepisów LRS dla systemu sterowania i zabezpieczeń SG przedstawiono na rys. 60 oraz zamieszczono w Załączniku (dla PRS – w tabeli 63, a dla LRS w tabeli 64).

Szukanie dla: LRS, Wszystkie statki...

System --- B,  Hasło --- ,

Numer przepisu    Rozdział / Grupa / Podgrupa    Znalezione przepisy: 9

<b>3.1.5</b>	Control Engineering Systems Control and supervision of unattended machinery	General	<input type="button" value="Pokaż treść"/>
<b>3.15.1</b>	Control Engineering Systems Control and supervision of unattended machinery	Miscellaneous machinery	<input type="button" value="Pokaż treść"/>
<b>3.15.2</b>	Control Engineering Systems Control and supervision of unattended machinery	Miscellaneous machinery	<input type="button" value="Pokaż treść"/>
<b>3.4.2</b>	Control Engineering Systems Control and supervision of unattended machinery	Gas turbine machinery for propulsion purposes	<input type="button" value="Pokaż treść"/>
<b>3.4.3</b>	Control Engineering Systems Control and supervision of unattended machinery	Gas turbine machinery for propulsion purposes	<input type="button" value="Pokaż treść"/>

Rys. 60. Fragment bazy przepisów LRS

## 9. Załącznik 3. Wybrane elementy struktury systemu wspomagania projektowania automatyki siłowni statku

### 9.1 Tabele bazy danych

Tabela 53. Wykaz systemów statku

SYMBOL	NAZWA SYSTEMU
A	system ster.i zabezp.SG
B	system paliwa
C	system oleju smarnego
D	system wody słodkiej
E	system wody morskiej
F	system sprężonego powietrza
G	kotły i system pary
H	system zęzowy
K	system elektro-energetyczny
L	system balastowy
P	inne

Tabela 54. Wybrane obiekty statków przechowywane w bazie danych

OBJ	DESCRIPTION	NAZWA	NOTES
1	MAIN ENGINE /LEFT/ P.S.	SILNIK GŁÓWNY /LEWA STR./ L.B.	
2	MAIN ENGINE /RIGHT/ P.S.	SILNIK GŁÓWNY /PRAWA STR./ L.B	
3	MAIN ENGINE /LEFT/ S.B.	SILNIK GŁÓWNY /LEWA STR./ P.B.	
4	MAIN ENGINE /RIGHT/ S.B.	SILNIK GŁÓWNY /PRAWA STR./ P.B	
5	SHAFT LINE P.S.	LINIA WAŁÓW L.B.	
6	SHAFT LINE S.B.	LINIA WAŁÓW P.B.	
10	PROPELLER	ŚRUBA NAPEĐOWA	
11	PROPELLER SHAFT	WAŁ ŚRUBOWY	
12	STERN TUBE	ŁOŻYSKO RUFOWE	
13	PROPELLER SHAFT BEARING	ŁOŻYSKO NOŚNE WAŁU ŚRUBOWEGO	
14	INTERMEDIATE SHAFT BEARING	ŁOŻYSKO NOŚNE WAŁU POŚREDNIEGO	
20	MAIN REDUCTION GEAR P.S.	PRZEKŁADNIA NAPEĐU GŁÓWN. L.B.	
21	MAIN REDUCTION GEAR S.B.	PRZEKŁADNIA NAPEĐU GŁÓWN. P.B.	
22	SHAFT GENERATOR GEAR	PRZEKŁADNIA PRĄDNICY WAŁOWEJ	
30	AUX.OIL FIRED BOILER	KOCIOŁ POMOCNICZY OPAL.PALIWEM	
32	EXHAUST GAS BOILER	KOCIOŁ UTYLIZACYJNY S.G.	
50	DIESEL GENERATOR SET	ZESPÓŁ PRĄDOTWÓRCZY	
51	DIESEL GENERATOR SET	ZASPÓŁ PRĄDOTWÓRCZY /MAŁY/	
52	EMERGENCY DIESEL	AWARYJNY ZESPÓŁ PRADOTWORCZY	
54	SHAFT GENERATOR	PRĄDNICA WAŁOWA	
60	SEA WATER MAIN PUMP	POMPA GŁÓWNA WODY MORSKIEJ	

Tabela 55. Fragment katalogu elementów dotyczący presostatów

Nr katal	Kat	Nazwa	Typ	Zakres pracy	Producent	Cena	Waluta
0918122543619	pr	Presostat	900.2376.9	0 - 0,4	TRAFAG		
0918122543710	pr	Presostat	900.2377.9	0 - 0,6	TRAFAG		
0918122544816	pr	Presostat	900.2378.9	0,1 - 1,0	TRAFAG		
0918122544918	pr	Presostat	900.2379.9	0,1 - 1,6	TRAFAG		

0918122546212	pr	Presostat	900.2675.9	0,02-0,25	TRAFAG		
0918122555715	pr	Presostat	903.1277.9	0 - 0,6	TRAFAG		
0918122556912	pr	Presostat	903.1279.9	0,1 - 1,6	TRAFAG		
0918122558115	pr	Presostat	903.1281.9	0,4 - 4	TRAFAG		
2.1.1.1	pr	Presostat	PS 1.5	-0.9...+1.5	TRAFAG	194,00	CHF
2.1.1.1	pr	Presostat	PS 2.5	+0.2...+2.5	TRAFAG	194,00	CHF
2.1.1.2	pr	Presostat	PV 6	0...+6	TRAFAG	181,00	CHF
2.1.1.3	pr	Presostat	PK 10	+1...+10	TRAFAG	239,00	CHF
2.1.1.4	pr	Presostat	PM 0,25	+20...+250	TRAFAG	318,00	CHF

**Tabela 56. Wykaz oznaczeń kodu czujników**

LITERA	1-a litera	2-a litera	3-a litera	4-a litera
A		Alarm	Alarm	
		Alarm	Alarm	
C		Control	Control	
		Sterowanie	Sterowanie	
D	Density	Difference	Difference	
	Gęstość	Różnica	Różnica	
E	Voltage			
	Napięcie			
F	Flow			
	Przepływ			
H			High	High
			Wysoki	Wysoki
I	El. Current	Indication		
	Prąd elektr.	Wskazywanie		
L	Level		Low	Low
	Poziom		Niski	Niski
M	Humidity			
	Wilgotność			
N	Nosie			
	Hałas			
P	Pressure			
	Ciśnienie			
Q	Quantity			
	Ilość			
R			Registration	
			Rejestracja	
S	Speed	On/Off	On/Off	
	Prędkość	Zał./Wył.	Zał./Wył.	
T	Temperature			
	Temperatura			
V	Viscosity			
	Lepkość			
W	Power			
	Moc			
X	Others			
	Inne			
Y	Vibration	SLD		
	Wibracja	Redukcja Obr.		
Z	Position	SHD		
	Położenie	Zatrzymanie		

**Tabela 57. Wykaz grup alarmów na mostku i w pomieszczeniach**

1	BLOKADA SG	M.E. SHUT DOWN
2	REDUKCJA OBROTÓW S.G.	M.E. SLOW DOWN
3	ZREDUKOWAĆ OBROTY S.G.	REDUCE M.E. RPM
4	AWARIA TELEGRAFU	ENGINE TELEGRAPH FAIL
5	AWARIA ZD. STEROWANIA S.G.	M.E. REM. CONTROL FAIL
6	INNE ALARMY	OTHERS ALARMS
7	WYS. POZIOM ZĘZY W SIŁOWNI	HIGH BILGE IN ENGINE ROOM
8	POŻAR	FIRE
9	AWARIA ELEKTROWNI	ELECTRICITY FAIL
10	AWARIA ŁADOWNI CHŁODZONEJ	REFRIG. HOLD FAIL

**Tabela 58. Wybrane informacje z zakresu aparatury kontrolno-pomiarowej SG**

KO D SG	SYS TE M	ITEM_ NO	CODE	OPIS	NR OB	S_RAN GE	SLD	SH D	AI	ABR
S	A	A 5	XA	S.G. BLOKADA (SHD)	1				NiCrNi	1
S	A	A 10	XA	S.G. REDUKCJA PRĘDK	1				ON/OFF	2
S	A	A 20	XA	S.G. POSTÓJ	1					
S	A	A 30	XA	S.G. ZDALNE	1					5
S	A	A 32	XA	S.G. POMIAR PRĘDK OBR	1					5
S	A	A 34	XA	S.G. ZDALNE	1					5
S	A	A 50	XA	S.G. UKŁAD	1					5
S	A	A 52	XA	S.G. POMIAR PRĘDK OBR	1					5
S	A	A 54	X	S.G. UKŁAD	1					
S	A	A 60	XA	S.G. TELEGRAF	1					4
S	A	A 81-2	XA	S.G. TURBINA POMOCN.	1					5
S	A	A3701-	TIAH	S.G. GAZY WYD.CYL.Nr 1-	1	0 - 600	530		4-20mA	5;3
S	A	A3701-	TIADHL	S.G. GAZY WYD.CYL.1-11	1		+70			5;3
S	A	A3721-	TIAH	S.G. TURBOSPŘŻ.Nr 1-2	1	0 - 600	530		4-20mA	5;3
S	A	A3731-	TIAH	S.G. TURBOSPŘŻ. Nr 1-2	1	0 - 600			4-20mA	5
S	A	A4031-	TIAHL	S.G. POWIETRZE	1	0 - 100			Pt-100	5
S	A	A4041C	PI	S.G. POWIETRZE	1	0 - 3,2			4-20mA	
S	A	A4051-	PCS	S.G. POWIETRZE	1	0 - 1,6				
S	A	A4071A	LAH	S.G. ZASOBNIK	1					5

**Tabela 59. Elementy automatyki dla punktów kontrolno-pomiarowych**

ITEM_N	SEN_NAM	SEN_TYPE	SEN_PRODUC
A 5	Float	S163DB/F21	KDG MOBREY
A 10	Presostat	PS 1.5	TRAFAG
A 20			
A 30			
A 32			
A 34			
A 50			
A 52			
A 54			
A 60			
A 81-2			
A3701-	NICRAL	MB158S286	AUTRONICA
A3701-			

A3721-	NICRAL	MB158S286	AUTRONICA
A3731-	NICRAL	MB158S286	AUTRONICA
A4031-	Pt-100	MN524S200	AUTRONICA
A4041C	transducer		
A4051-	presostat		
A4071A	level	ALV1.5VUL1	H.KUEBLER

**Tabela 60. Opisy przykładowych punktów kontr-pom do aktualizacji wybranych parametrów SG**

ZAL	ITEM_NO	OPIS cz1	OPIS cz2
C	A3701-8A	S.G. GAZY WYD.CYL.Nr 1-	TEMPERATURA-odl
C	A3701-8A D	S.G. GAZY WYD.CYL.1-	ODCHYL.TEMP.-odl
T	A3721-2A	S.G. TURBOSPREŻ.Nr 1	GAZY
T	A3731-2A	S.G. TURBOSPREŻ. Nr 1	GAZY
C	A4081-8A	S.G.PRZESTRZEŃ POD TŁOKIEM NR 1-	-temp.
C	A4081-8S	S.G. PRZESTRZEŃ POD TŁOKIEM Nr 1-	-temp.
T	A5031-2C	S.G. DMUCHAWA POMOCN.Nr 1-	-praca
T	A5201-2C	S.G.TURBOSPREŻARKA Nr 1-	-pr.obrotowa
C	C2201-12A	S.G. OLEJ SM.ŁOŻYSK KORB. Nr 1-	-temp.odl
C	C2301-12A	S.G. OLEJ SM.ŁOŻYSK KRZYŻ. Nr 1-	-temp.odl
C	C2501-8A	S.G. TŁOK Nr 1-	OLEJ CHŁODZ. -temp
C	C2521-8S	S.G. TŁOK Nr 1-	OLEJ CHŁODZ. -
C	C2541-8S	S.G. TŁOK Nr 1-	OLEJ CHŁODZ. -
T	C2601-2A	S.G. TURBINA Nr 1-	OLEJ SM.ŁOŻYSK -
T	C2601-2S	S.G. TURBINA Nr 1-	OLEJ SM.ŁOŻYSK -
C	D1021-8A	TEMP.WODY CHŁODZ.TŁOK Nr 1-	S.G.-odlot
C	D1021-8S	TEMP.WODY CHŁODZ.TŁOK Nr 1-	S.G.-odlot
C	D1041-8A	PRZEPŁYW WODY CHŁ.TŁOK Nr 1-	S.G.-odlot
C	D1121-8A	TEMP.WODY CHŁODZ.CYL. Nr 1-	S.G.-odlot
C	D1121-8S	TEMP.WODY CHŁODZ.CYL. Nr 1-	S.G.-odlot

**cd. Tabeli 60**

DESCRIPTION cz.1	DESCRIPTION cz.2
M.E. CYL No 1-	EXH.GAS TEMP-outlet
M.E. CYL.No 1-	EXH.GAS TEMP. DEV.-out
M.E. T.-CHARGER No 1	EXH.GAS TEMP.-inl
M.E. T.-CHARGER No 1	EXH.GAS TEMP out.
M.E. CHARGE AIR PISTON No 1-	U-SIDE TEMP.
M.E. CHARGE AIR PISTON No 1-	U-SIDE TEMP.
M.E. AUX.BLOWER Nr 1	-run
M..E. TURBOCHARGER No 1-	-speed
M..E. CRANK BEARING No 1-	-OIL TEMP.-out.
M..E. CROSSHD BEARG. No 1-	-OIL TEMP.-out.
M..E. PISTON No 1-	COOLING OIL TEMP-out
M..E. PISTON No 1-	COOLING OIL FLOW
M..E. PISTON No 1-	COOLING OIL FLOW
M..E. TURBOCH.No 1-	BEARING OIL TEMPERAT.
M..E. TURBOCH.No 1-	BEARING OIL TEMPERAT.
M..E. PISTON No 1-	COOL.WATER TEMP.-out
M..E. PISTON No 1-	COOL.WATER TEMP.-out
M..E. PISTON No 1-	COOL.WATER FLOW.-out
M..E.CYL.No 1-	COOL.WATER TEMP.-outlet
M..E.CYL.No 1-	COOL.WATER TEMP.-outlet

Tabela 61. Lista systemów i układów, według których mogą być wyszukiwane przepisy towarzystw klasyfikacyjnych

KOD_SYSTEM	SYSTEM
A	System sterowania i zabezpieczeń silnika głównego
B	System paliwa
C	System oleju smarnego
D	System wody słodkiej
E	System wody morskiej
F	System sprężonego powietrza
G	Kotły, woda kotłowa, system pary
H	System zęzowy
K	Elektrownie okrętowe
L	System balastowy
M	System sterowania i zabezpieczeń zespołów prądotwórczych
V	Układy wskazujące i rejestrujące
W	Układy alarmowe
X	Układy bezpieczeństwa
Y	Pulpity
Z	Rurociągi
O	Programmable Electronic Devices & Computers
P	Fire Detection Systems

Tabela 62. Lista haseł dla wyszukiwania przepisów towarzystw klasyfikacyjnych

KOD_HASLO	HASLO
HAL	Alarmy
HAW	Awarie
HEL	Elementy automatyki
HSK	Sygnalizacja/Kontrola
HUA	Układy automatyki
HWO	Wymagania ogólne
HZA	Zasilanie
HZB	Zabezpieczenia
HCN	Computer Hardware & Networks
HSF	Software

Tabela 63. Fragment bazy przepisów PRS dotyczących systemu sterowania i zabezpieczeń SG

Tekst62	Tekst17	Tekst31	Tekst33	Tekst66
73	20.2.2.12	Układy zdalnego sterowania i automatyki	Wymagania konstrukcyjne	Wymagania dla elementów i zespołów automatyki
73	20.2.3.16	Układy zdalnego sterowania i automatyki	Wymagania konstrukcyjne	Wymagania dla układów automatyki
73	20.3.2	Układy zdalnego sterowania i automatyki	Zasilanie układów automatyki	
73	20.3.5	Układy zdalnego sterowania i automatyki	Zasilanie układów automatyki	
73	20.4.2.3	Układy zdalnego sterowania i automatyki	Układy kontrolne	Układ bezpieczeństwa
73	20.4.2.4	Układy zdalnego sterowania i automatyki	Układy kontrolne	Układ bezpieczeństwa



73	20.5.1	Układy zdalnego sterowania i automatyki	Układy sterowania napędem głównym	
73	20.5.10	Układy zdalnego sterowania i automatyki	Układy sterowania napędem głównym	
73	21.2.1	Bezwachtowa praca maszynowni i jednoosobowa obsługa mostka - znaki A,B	Wymagania ogólne	
73	21.3.1	Bezwachtowa praca maszynowni i jednoosobowa obsługa mostka - znaki A,B	Układy kontrolne	
73	21.4.1	Bezwachtowa praca maszynowni i jednoosobowa obsługa mostka - znaki A,B	Układy sterowania	
73	Tab1_1	Bezwachtowa praca maszynowni i jednoosobowa obsługa mostka - znaki A,B	Układy kontrolne	Tablica 1 - Układ napędowy
73	Tab1_1.3.4	Bezwachtowa praca maszynowni i jednoosobowa obsługa mostka - znaki A,B	Układy kontrolne	Tablica 1 - Układ napędowy

**Tabela 64. Fragment bazy przepisów LRS dotyczących systemu sterowania i zabezpieczeń**

Tekst62	Tekst17	Tekst31	Tekst33	Tekst66
39	2.2.4	Control Engineering	Essential features for control, alarm and safety systems	Control stations for machinery
39	2.6.1	Control Engineering	Essential features for control, alarm and safety systems	Bridge control for main propulsion machinery
39	2.6.2	Control Engineering	Essential features for control, alarm and safety systems	Bridge control for main propulsion machinery
39	3.10.1	Control Engineering	Control and supervision of unattended machinery	Controllable pitch propellers and transverse thrust units
39	3.10.2	Control Engineering	Control and supervision of unattended machinery	Controllable pitch propellers and transverse thrust units
39	3.10.3	Control Engineering	Control and supervision of unattended machinery	Controllable pitch propellers and transverse thrust units
39	3.9.1	Control Engineering	Control and supervision of unattended machinery	Auxiliary and other engines
39	4.3.1	Control Engineering	Unattended machinery space(s) - 'UMS' notation	Bridge control for main propulsion machinery
39	6.1.1	Control Engineering	Integrated computer control - 'ICC' notation	General

**Tabela 65. Przykładowe opcje zapisów dla opisu technicznego**

NR	OPCJA
1	TOWARZYSTWO_KLASYFIKACYJNE
2	KLASA_STEROWNI
3	MIEJSCE_INSTALOWANIA_PANELI_AUTOMATYKI_ELEKTROWNI
4	SPOSÓB_STEROWANIA_URZĄDZENIAMI_SIŁOWNI
5	DRUKARKA_STANÓW_ALARMOWYCH_I_REJESTRACJI_DANYCH
6	CZĘSTOTLIWOŚĆ_SIECI_STATKOWEJ
7	MIERNIKI_WAŻNIEJSZYCH_PARAMETRÓW_SYSTEMÓW_SIŁOWNIANYCH
8	RODZAJ_ŚRUBY
9	LICZBA_SILNIKÓW_GŁÓWNYCH
10	PRĄDNICA_WAŁOWA
11	RODZAJ_REGULATORA_PRĘDKOŚCI_OBROTOWEJ_SG
12	POWIĄZANIE_ZDALNEGO_STEROWANIA_NAPĘDEM_GŁÓWNYM_ZE_ZINTEGR_SYST_NAW
13	FUNKCJE_PMS
14	FUNKCJE_PMS_DODATKOWE_-_PRZYGOTOWANIE_REZERWY_MOCY
15	FUNKCJE_PMS_DODATKOWE_-_SECURED_RUNNING
16	WYPOSAŻENIE_STATKU_W_REJESTRATOR_MANEWRÓW_Z_DRUKARKĄ
17	ZDALNY_POMIAR_POZIOMÓW_CIECZY_W_ZBIORNIKACH
18	KONFIGURACJA_SYSTEMU_KOMPUTEROWEGO
19	STANOWISKO_OPERATORSKIE_W_STEROWNI
20	STANOWISKO_OPERATORSKIE_W_BIURZE_POKŁADOWYM

cd. Tabeli 65

SKRÓT
TOW_KLAS
KLASA_STEROWNI
M_INST_PAN_A_EL
SPOS_ST_URZ_SIL
DRUKARKA_W_CMK
CZEST_SIECI
MIERNIKI_W_PARS
RODZAJ_SRUBY
LICZBA_SG
PRADNICA_WAL
RODZAJ_REG_PO_SG
POWIAZANIE_Z_INS
FUNKCJE_PMS
DOD_FUN_PMS_RM
DOD_FUN_PMS_SR
REJ_MAN_Z_DRUK
POMIAR_POZ_W_ZB
KONF_SK
STAN_OP_W_STER
STAN_OP_W_BP

Tabela 66. Przykładowe warianty zapisów dla opisu technicznego

NR	NR	ZAPIS
1	1	PRS
1	2	DNV
1	3	GL
1	4	LR
1	5	BV
1	6	RS
2	1	N
2	2	W1
2	3	W1-OC
2	4	brak
3	1	w pulpicie automatyki
3	2	w rozdzielnicy głównej
4	1	zintegrowany z komputerowym układem alarmów, monitoringu i
4	2	w oparciu o sterowniki programowalne (PLC)
4	3	przy pomocy niezależnych układów sterowania
5	1	występuje
5	2	brak
6	1	50 Hz
6	2	60 Hz
7	1	występują w pulpicie CMK
7	2	nie występują w pulpicie CMK
8	1	stała
8	2	nastawna
9	1	1
9	2	>1

Tabela 67. Struktura Danych Ogólnych statku

STATKI OG : Tabela			
	Nazwa pola	Typ danych	
🔑	Statek	Tekst	
	stocznia	Tekst	
	rok bud	Tekst	
	typ statku	Tekst	
	liczba kont - TEU	Liczba	
	liczba kont chł	Liczba	
	ilość samochodów	Liczba	
▶	nośność	Liczba	
	prędkość	Liczba	
	rodzaj ład	Tekst	
	rejon pływ	Tekst	
	kanały	Tekst	
	armator	Tekst	
	bandera	Tekst	
	tow klas	Tekst	
	klasa statku	Tekst	
	klasa siłowni	Tekst	
	przepisy adm	Tekst	

Tabela 68. Struktura danych Sinika Głównego

SG : Tabela			
	Nazwa pola	Typ danych	
🔑	Nr statku	Tekst	
	Liczba SG	Liczba	
	Typ SG	Tekst	
	Prod	Tekst	
	Moc	Liczba	
▶	Prędkość obr	Liczba	
	Typ reg obr	Tekst	
	Prod reg obr	Tekst	
	Typ ukł zdal ster	Tekst	
	Prod ukł zdal ster	Tekst	
	Typ ukł bezp	Tekst	
	Prod ukł bezp	Tekst	

Tabela 69. Struktura danych dotyczących Automatyki statku

UKŁ ZINTEGR : Tabela		
	Nazwa pola	Typ danych
🔍	Nr statku	Tekst
	Rodz ukł	Tekst
	Typ	Tekst
	Prod	Tekst
	Licz stan op w CMK	Liczba
	Licz stan op w ster	Liczba
	Licz stan op w BP	Liczba
	Licz pan al w pom ofic	Liczba
	Licz pan al w mesach	Liczba
	Licz we bin	Liczba
	Licz wy bin	Liczba
	Licz we an 4-20mA	Liczba
	Licz we an 0-10V	Liczba
	Licz we an PT-100	Liczba
	Licz we an NiCrNi	Liczba
	Licz we an potenc	Liczba
	Licz wy an 4-20mA	Liczba
	Licz wy an 0-10V	Liczba
	Licz og druk stan al	Liczba
	Typ druk1	Tekst
	Licz druk1	Liczba
	Prod druk1	Tekst
	Typ druk2	Tekst
	Licz druk2	Liczba
	Prod druk2	Tekst
	Typ rej man	Tekst
	Prod rej man	Tekst
	Licz zb ukł zd pom poz	Liczba
	Syst Dead man	Tak/Nie

Tabela 70. Struktura danych Zespołów Prądotwórczych

ZP : Tabela		
	Nazwa pola	Typ danych
🔍	Nr statku	Tekst
	Typ ZP1	Tekst
	Prod ZP1	Tekst
	Liczba ZP1	Liczba
	Moc ZP1	Liczba
	Prędk obr ZP1	Liczba
	Typ ZP2	Tekst
	Prod ZP2	Tekst
	Liczba ZP2	Liczba
	Moc ZP2	Liczba
▶	Prędk obr ZP2	Liczba
	Rodz reg obr	Tekst
	Typ reg obr	Tekst
	Prod reg obr	Tekst
	Typ gen	Tekst
	Prod gen	Tekst

## 9.2 Dane dla opisu technicznego

TOWARZYSTWO\_KLASYFIKACYJNE DNV

KLASA\_STEROWNI W1-OC

MIEJSCE\_INSTALOWANIA\_PANELI\_AUTOMATYKI\_ELEKTROWNI w pulpicie automatyki

SPOSÓB\_STEROWANIA\_URZĄDZENIAMI\_SIŁOWNI zintegrowany z komputerowym układem alarmów, monitoringu i sterowania

DRUKARKA\_STANÓW\_ALARMOWYCH\_I\_REJESTRACJI\_DANYCH występuje

CZĘSTOTLIWOŚĆ\_SIECI\_STATKOWEJ 50 Hz

MIERNIKI\_WAŻNIEJSZYCH\_PARAMETRÓW\_SYSTEMÓW\_SIŁOWNIANYCH występują w pulpicie CMK

RODZAJ\_ŚRUBY nastawna

LICZBA\_SILNIKÓW\_GŁÓWNYCH >1

PRĄDNICA\_WAŁOWA jest

RODZAJ\_REGULATORA\_PRĘDKOŚCI\_OBROTOWEJ\_SG Elektroniczny

POWIĄZANIE\_ZDALNEGO\_STEROWANIA\_NAPĘDEM\_GŁÓWNYM\_ZE\_ZINTEGROWANYM\_SYSTE

MEM\_NAWIGACYJNYM\_(INS) istnieje

FUNKCJE\_PMS Pełna automatyka

FUNKCJE\_PMS\_DODATKOWE\_-\_PRZYGOTOWANIE\_REZERWY\_MOCY jest

FUNKCJE\_PMS\_DODATKOWE\_-\_ "SECURED\_RUNNING" jest

WYPOSAŻENIE\_STATKU\_W\_REJESTRATOR\_MANEWROW\_Z\_DRUKARKĄ występuje

ZDALNY\_POMIAR\_POZIOMÓW\_CIECZY\_W\_ZBIORNIKACH jest

KONFIGURACJA\_SYSTEMU\_KOMPUTEROWEGO scentralizowany

STANOWISKO\_OPERATORSKIE\_W\_STEROWNI jest

STANOWISKO\_OPERATORSKIE\_W\_BIURZE\_POKŁADOWYM jest

ZASILANIE\_DRUKAREK\_STANÓW\_ALARMOWYCH\_Z\_UPS tak

REGULACJA\_LEPKOŚCI\_PALIWA jest

STEROWANIE\_WENTYLATORAMI\_SIŁOWNI jest

STEROWANIE\_WENTYLATORAMI\_ŁADOWNI\_Z\_KOMPUTEROWEGO\_SYSTEMU\_W\_CMK Ze stanowiska w Biurze Pokładowym

STEROWANIE\_UKŁADEM\_WYRÓWNYWANIA\_PRZECHYŁÓW z centralnego układu komputerowego siłowni

NAZWA\_STOZNI STOCZNIA SZCZECIŃSKA

PRZEZNACZENIE\_STATKU Kontenerowiec

KLASA\_AUTOMATYKI\_DNV EO

WYBIERZ\_WERSJĘ\_OBLICZEŃ dane z pliku

LICZBA\_ROZDZIELNIC\_POMOCNICZYCH\_W\_CMK >1

CZY\_PANEL\_KONTROLI\_WACHTY\_(DEAD\_MAN)\_JEST\_INSTALOWANY\_W\_PULPICIE\_W\_CMK? tak

CZY\_REGULATORY\_TEMPERATURY\_SYSTEMÓW\_SIŁOWNI\_SĄ\_INSTALOWANE\_W\_PULPICIE\_W\_CMK? tak

CZY\_W\_STEROWNI\_JEST\_INSTALOWANE\_STANOWISKO\_OPERATORSKIE\_UKŁADU\_ALARMOWEGO\_I\_MONITOROWANIA\_DLA\_SYSTEMÓW\_I\_MECHANIZMÓW\_SIŁOWNI? tak

CZY\_W\_STEROWNI\_JEST\_INSTALOWANE\_TAKŻE\_STANOWISKO\_OPERATORSKIE\_UKŁADU\_STEROWANIA\_SYSTEMAMI\_I\_MECHANIZMAMI\_SIŁOWNI? tak

CZY\_W\_BIURZE\_POKŁADOWYM\_JEST\_STANOWISKO\_STEROWANIA\_I\_SYGNALIZACJI\_ZWIĄZANE\_Z\_OBSŁUGĄ\_ŁADUNKU\_STATKU? tak

MONITOROWANIE\_KONTENERÓW\_CHŁODZONYCH występuje

RODZAJ\_KONTENERÓW\_MONITOROWANYCH Wyposażone w sygnalizacyjne wtyczki 4-ro biegunowe AND Wyposażone w układ monitorowania wg ISO 10358

ROZDZIAŁ\_MOCY symetryczny

CZY\_REGULATORY\_TEMPERATURY\_W\_OBIEGACH\_SIŁOWNI\_MAJĄ\_AUTONOMICZNE\_UKŁADY\_STEROWANIA tak

CZY\_JEST\_PANEL\_ALARMOWY\_W\_CMK tak

RODZAJ\_WYNIKOWEGO\_OPISU\_-\_RAPORTU tylko w zakresie PO

L\_AI\_AL\_I\_MONIT = 13

L\_BI\_AL\_I\_MONIT = 12

L\_STAN\_OP\_W\_CMK = 1

L\_STAN\_OP\_W\_STER = 1

L\_STAN\_OP\_W\_BP = 2

L\_PANELI\_W\_POM\_OG = 2

L\_PANELI\_W\_KAB\_M = 3  
L\_STEROWAN\_POMP\_P = 3  
L\_STEROWAN\_SPR\_P = 3  
L\_REGUL\_W\_OB\_SIL = 4  
L\_REG\_LEP\_PAL = 4  
L\_WENTYLAT\_SIL = 5  
L\_POMP\_ZEZ\_GL = 2  
L\_POMP\_RESZTK = 3  
L\_POMP\_SYS\_BAL = 3  
L\_ZAW\_ST\_ZD\_SB = 4  
L\_ZB\_ZE\_ZD\_POM\_P = 2  
L\_POMP\_SYS\_PP = 4  
L\_ZAW\_ST\_ZD\_S\_PP = 3  
L\_AI\_URZ\_SIL = 12  
L\_BI\_URZ\_SIL = 23  
L\_BO\_URZ\_SIL = 17  
L\_AI\_STER\_PRZECZ = 12  
L\_BI\_STER\_PRZECZ = 14  
L\_BO\_STER\_PRZECZ = 27  
L\_ZAW\_STER\_ZD\_SZ = 5  
NOSNOSC\_STATKU = 60000  
NR\_PROJEKTU = XXXXZZZZ  
L\_POMP\_TR\_PAL = 5  
L\_ZAW\_TR\_PAL = 3  
L\_WENT\_1K\_1B = 2  
L\_WENT\_1K\_2B = 3  
L\_WENT\_NAW\_1B = 2  
L\_WENT\_NAW\_2B = 3  
L\_KON\_MON4 = 123  
L\_KON\_MON\_ISO = 223

## 10. Załącznik 4. Baza wiedzy systemu sprężonego powietrza

### RULES :

-----  
RULE NUMBER: 1

IF:

Liczba sprężarek głównych 2

THEN:

Pomocnicze TAK  
-----

RULE NUMBER: 2

IF:

Liczba sprężarek pomocniczych 1

THEN:

Pomocnicze TAK  
-----

RULE NUMBER: 3

IF:

Liczba sprężarek gospodarczych 1

THEN:

Pomocnicze TAK  
-----

RULE NUMBER: 4

IF:

Główna sprężarka powietrza rozruchowego SF OR HAT

THEN:

[F100] IS GIVEN THE VALUE "F100"

and [F101] IS GIVEN THE VALUE "F101"

and [F102] IS GIVEN THE VALUE "F102"

and [F103] IS GIVEN THE VALUE "F103"

and [F104] IS GIVEN THE VALUE "F104"

and [F105] IS GIVEN THE VALUE "F105"

and [F117] IS GIVEN THE VALUE "F117"  
-----

RULE NUMBER: 5

IF:

Główna sprężarka powietrza rozruchowego SF

THEN:

[F111] IS GIVEN THE VALUE "F111"

and [F112] IS GIVEN THE VALUE "F112"

and [F113] IS GIVEN THE VALUE "F113"  
-----

RULE NUMBER: 6

IF:

Towarzystwo klasyfikacyjne BV

THEN:

[F116] IS GIVEN THE VALUE "F116"

and [F146] IS GIVEN THE VALUE "F146"

and [F176] IS GIVEN THE VALUE "F176"  
-----

RULE NUMBER: 7

IF:

Silnik Główny SULZER

and Towarzystwo klasyfikacyjne GL OR DnV OR BV

THEN:

[F2] IS GIVEN THE VALUE "F2"

and [F108] IS GIVEN THE VALUE "F108"  
-----

RULE NUMBER: 8

IF:

Zbiorniki powietrza Butla Nr 1  
 THEN:  
     [F20] IS GIVEN THE VALUE "F20"  
 -----

RULE NUMBER: 9  
 IF:  
     Zbiorniki powietrza Butla Nr 2  
 THEN:  
     [F22] IS GIVEN THE VALUE "F22"  
 -----

RULE NUMBER: 10  
 IF:  
     Zbiorniki powietrza Butla zesp. pradotw.  
     and Towarzystwo klasyfikacyjne GL OR DnV OR BV  
 THEN:  
     [F50] IS GIVEN THE VALUE "F50"  
 -----

RULE NUMBER: 11  
 IF:  
     Główna sprężarka powietrza rozruchowego SF OR HAT  
     and Towarzystwo klasyfikacyjne GL OR DnV OR BV  
 THEN:  
     [F108] IS GIVEN THE VALUE "F108"  
 -----

RULE NUMBER: 12  
 IF:  
     Pomocnicza sprężarka powietrza SF OR HAT  
 THEN:  
     [F130] IS GIVEN THE VALUE "F130"  
     and [F131] IS GIVEN THE VALUE "F131"  
     and [F132] IS GIVEN THE VALUE "F132"  
     and [F133] IS GIVEN THE VALUE "F133"  
     and [F135] IS GIVEN THE VALUE "F135"  
     and [F138] IS GIVEN THE VALUE "F138"  
     and [F141] IS GIVEN THE VALUE "F141"  
     and [F147] IS GIVEN THE VALUE "F147"  
 -----

RULE NUMBER: 13  
 IF:  
     Pomocnicza sprężarka powietrza SF  
 THEN:  
     [F142] IS GIVEN THE VALUE "F142"  
     and [F143] IS GIVEN THE VALUE "F143"  
 -----

RULE NUMBER: 14  
 IF:  
     Gospodarcza sprężarka powietrza SF OR HAT  
 THEN:  
     [F160] IS GIVEN THE VALUE "F160"  
     and [F161] IS GIVEN THE VALUE "F161"  
     and [F162] IS GIVEN THE VALUE "F162"  
     and [F163] IS GIVEN THE VALUE "F163"  
     and [F164] IS GIVEN THE VALUE "F164"  
     and [F165] IS GIVEN THE VALUE "F165"  
     and [F168] IS GIVEN THE VALUE "F168"  
     and [F171] IS GIVEN THE VALUE "F171"  
     and [F177] IS GIVEN THE VALUE "F177"  
 -----

RULE NUMBER: 15  
 IF:



Gospodarcza sprężarka powietrza SF  
THEN:  
    [F172] IS GIVEN THE VALUE "F172"  
    and [F173] IS GIVEN THE VALUE "F173"

---

RULE NUMBER: 16

IF:  
    Zbiorniki powietrza Butla zesp. pradotw.  
THEN:  
    [F250] IS GIVEN THE VALUE "F250"

---

RULE NUMBER: 17

IF:  
    Silnik Główny SULZER  
    and Towarzystwo klasyfikacyjne GL OR DnV OR BV  
THEN:  
    [F4301A] IS GIVEN THE VALUE "F4301A"

---

RULE NUMBER: 18

IF:  
    Silnik Główny SULZER  
THEN:  
    [F4301C] IS GIVEN THE VALUE "F4301C"  
    and [F4321A] IS GIVEN THE VALUE "F4321A"  
    and [F4341S] IS GIVEN THE VALUE "F4341S"  
    and [F4342S] IS GIVEN THE VALUE "F4342S"  
    and [F4401A] IS GIVEN THE VALUE "F4401A"  
    and [F4421S] IS GIVEN THE VALUE "F4421S"  
    and [F5001C] IS GIVEN THE VALUE "F5001C"