Tomasz Kowalewski
Akademia Morska w Gdyni

SYSTEM OCENY ZAGROŻEŃ DLA OPERATORA SIŁOWNI OKRĘTOWEJ WYKORZYSTUJĄCY LOGIKĘ ROZMYTĄ

Artykuł poświęcony został opracowaniu systemu, którego celem jest ocena zagrożeń życia i zdrowia operatorów siłowni okrętowej. Stworzony system oparto na mechanizmie wnioskowania rozmytego. Wykorzystanie tego systemu umożliwi identyfikację czynników niebezpiecznych dla operatorów siłowni okrętowej oraz pozwoli wskazać niezbędne działania korekcyjne.
Metodę oceny zagrożenia operatora siłowni okrętowej stworzono w ramach projektów badawczych [7] i [8]. Odnosiła się ona jednak do wczesnych faz projektowych. Opracowany system oceny zagrożeń stanowi bezpośrednią kontynuację prac w tym zakresie w odniesieniu do późniejszych etapów projektu siłowni okrętowej.
Słowa kluczowe: *bezpieczeństwo, projektowanie, siłownia okrętowa, ryzyko, wnioskowanie rozmyte.*

WSTĘP

Złożony obiekt techniczny, jakim jest siłownia okrętowa, stanowi źródło różnego rodzaju zagrożeń dla jej operatorów. W jej obrębie współistnieje znaczna liczba powiązanych ze sobą maszyn i urządzeń, których działanie może w znaczący sposób wpływać na bezpieczeństwo osób zajmujących się ich obsługą. Nieodpowiednio zaprojektowana siłownia okrętowa może być przyczyną wielu wypadków oraz generować straty finansowe związane z problemami w zakresie bezpieczeństwa. Korygowanie wad projektowych w istniejącej już siłowni wymaga znacznego wysiłku przy niewielkich możliwościach zmian. Natomiast wczesna identyfikacja potencjalnych zagrożeń dla operatora umożliwia łatwiejsze wprowadzanie zmian projektowych przy znacznie mniejszych kosztach. Z tego też względu najrozsądniejszym rozwiązaniem byłaby identyfikacja i ocena zagrożeń już we wczesnych fazach projektowania. Wadą tego rozwiązania jest jednak znacznie ograniczona ilość informacji, jakimi dysponuje projektant. W projektach badawczych [7] i [8] problem ten rozwiązano poprzez wykorzystanie wnioskowania rozmytego.

Na podstawie wiedzy dostępnej we wstępnej fazie projektu możliwe jest wstępne określenie zagrożeń dla operatora. Na tym etapie ocenie podlegają głównie funkcje pełnione przez określone maszyny i urządzenia w siłowni okrętowej oraz ich wpływ na operatora, wykonującego określone procedury eksploatacyjne.

Kolejne etapy projektowe rozszerzają zakres dostępnej wiedzy o konstrukcji siłowni okrętowej. Wstępnie zidentyfikowane obszary niebezpieczne dla obsługi mogą zostać poddane dalszej, bardziej szczegółowej ocenie w celu wyeliminowania występujących zagrożeń.

Zadanie to wiąże się z budową skomplikowanego systemu opartego na obszernej wiedzy z zakresu projektowania siłowni okrętowych z uwzględnieniem bezpieczeństwa jej operatorów. Wiedzę taką można pozyskać z różnych źródeł. Jest ona znacznie rozproszona. Istnieje w formie pisanej np. w różnego rodzaju normach, poradnikach, wytycznych projektowania itp. Najbardziej jednak wartościowa wiedza przekazywana jest w formie ustnej i zdobywana latami podczas pracy zawodowej. Taką wiedzą dysponują doświadczeni projektanci i eksploatatorzy siłowni okrętowych.

Jej pozyskanie jest zadaniem bardzo trudnym i może wiązać się z pewnymi problemami, szczególnie w zakresie zebrania wiedzy od ekspertów. Powodem takiego stanu może być fakt, że mogą oni formułować swoje oceny tylko w języku naturalnym. Takie opisy są w wielu przypadkach niejednoznaczne i trudno dają się analizować za pomocą komputerów, a praktycznie są nie do przyjęcia w systemach decyzyjnych wspomaganych komputerowo. Problem ten można jednak rozwiązać, wykorzystując metody stosowane w inżynierii wiedzy, w szczególności zaś metody stosowane w systemach doradczych. Przyjęto więc, że wiedza ekspertów będzie przekształcana w język zrozumiały dla komputera z wykorzystaniem systemu decyzyjnego, w tym z zastosowaniem logiki rozmytej.

Zasady odwzorowania wiedzy w formie rozmytej przedstawiono w publikacjach [1, 2, 3].

1. ETAPY PROJEKTOWE SIŁOWNI OKRĘTOWEJ ORAZ ICH WPŁYW NA MOŻLIWOŚCI OCENY ZAGROŻEŃ OPERATORA

W procesie projektowania siłowni okrętowej można wyszczególnić następujące etapy [7]:

- ewentualny projekt koncepcyjny,
- projekt akwizycyjny (ofertowy),
- projekt wstępny (kontraktowy),
- projekt techniczno-klasyfikacyjny,
- projekt warsztatowy (roboczy),
- dokumentacja zdawcza (eksploatacyjna).

W miarę rozwoju projektu zakres dostępnych informacji dotyczących konstrukcji siłowni ulega stopniowemu powiększaniu. Zbyt wczesne etapy projektu uniemożliwiają zgromadzenie wystarczającej ilości informacji, aby można było zidentyfikować rzeczywiste zagrożenia operatora. W końcowych etapach projektu, gdy znane są już wszystkie szczegóły, dokonywanie zmian jest bardzo czasochłonne

i wymaga znacznego nakładu pracy. Z tego też względu przyjęto, że oddziaływanie na bezpieczeństwo operatora odbywać będzie się na etapie projektu wstępnego i techniczno-klasyfikacyjnego [7].

Projekt wstępny precyzuje między innymi dokładnie lokalizację siłowni na statku oraz określa ważniejsze mechanizmy i urządzenia siłowni wraz z ich charakterystykami technicznymi.

Projekt techniczno-klasyfikacyjny zawiera między innymi schematy rurociągów poszczególnych instalacji siłowni, rozwiązania konstrukcji fundamentów i zamocowań głównych maszyn i urządzeń, rozwiązania konstrukcyjne linii wałów wraz z niezbędnymi obliczeniami wytrzymałościowymi, drgań itd., plan demontażu maszyn i urządzeń w siłowni, plany warsztatów i pomieszczeń magazynowych.

2. OCENA RYZYKA WE WSTĘPNEJ FAZIE PROJEKTU

Na podstawie analizy przeprowadzonej w [7] czynniki niebezpieczne i szkodliwe powodujące zagrożenie dla operatora umownie podzielone zostały na dwie grupy:

- czynniki funkcjonalne – uzależnione od funkcji wykonywanej przez urządzenie techniczne,
- czynniki eksploatacyjne – związane z eksploatacją urządzenia technicznego.

Do grupy czynników funkcjonalnych zaliczono następujące rodzaje zagrożeń:

- zagrożenie chemiczne,
- zagrożenie temperaturowe,
- zagrożenie ciśnieniem,
- zagrożenie czynnikami środowiska pracy (hałas, drgania, parametry i skład powietrza itd.),
- zagrożenia energią mechaniczną,
- zagrożenia energią elektryczną.

Zbiór czynników eksploatacyjnych zawiera zagrożenia wynikające z wykonywania procedur z zakresu:

- ruchu,
- utrzymania ruchu,
- zaopatrzenia,
- kontroli stanu bezpieczeństwa.

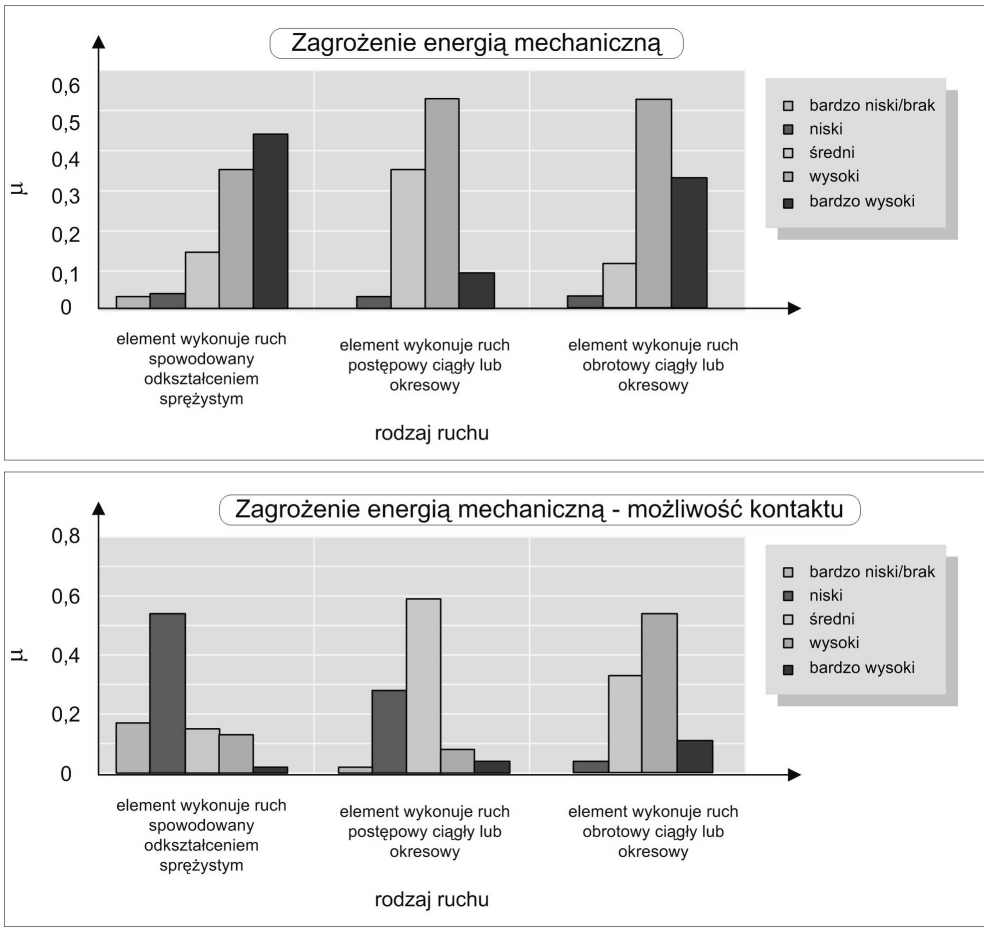
System oceny zagrożeń operatora siłowni okrętowej stworzono na podstawie czynników funkcjonalnych. Każdemu z tych czynników przypisane zostały zestawy ich przejawów. Czynniki funkcjonalne rozpatrywano w odniesieniu do:

- możliwości kontaktu operatora z danym rodzajem zagrożenia,
- stopnia zagrożenia operatora w przypadku bezpośredniego kontaktu z danym rodzajem zagrożenia.

Stworzenie systemu oceny rozmytej wymagało opracowania kształtów funkcji przynależności poszczególnych zbiorów rozmytych. Zadanie to zrealizowano dzięki specjalnie stworzonej do tego celu ankiecie badawczej. Na podstawie opinii

ekspertów dla każdego rodzaju zagrożenia opracowano zbiory, określające możliwość kontaktu z tym zagrożeniem w siłowni okrętowej oraz poziom zagrożenia operatora narażonego na bezpośredni kontakt z danym rodzajem zagrożenia.

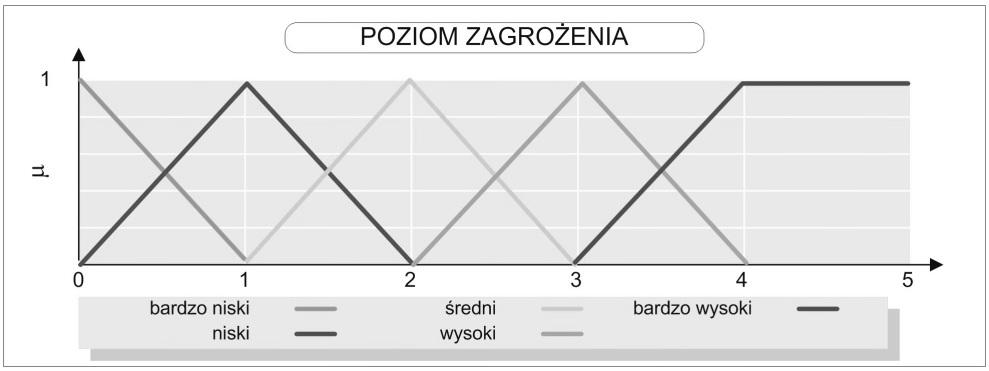
Przykładowe zbiory rozmyte dla zagrożenia energią mechaniczną przedstawiono na rysunku 1.



Rys. 1. Zbiory rozmyte przedstawiające zagrożenie energią mechaniczną w przypadku bezpośredniego kontaktu oraz możliwość kontaktu

Fig. 1. *Fuzzy sets presenting a mechanical energy risk in the event of direct contact and possibility of contact*

Podczas oceny wybranych węzłów konstrukcyjnych siłowni okrętowej każdy z czynników funkcjonalnych generuje określony poziom zagrożenia operatora. Jego wartość wyznaczana jest na zbiorach rozmytych, zaprezentowanych na rysunku 2.



Rys. 2. Zbiory rozmyte wynikowe – poziom zagrożenia operatora

Fig. 2. *Resulting fuzzy sets – the operator risk level*

Wynikową wartość poziomu zagrożenia danym czynnikiem funkcjonalnym uzyskuje się przy użyciu mechanizmu wnioskowania rozmytego na podstawie modelu Mamdaniego [4, 5, 6]. Całkowity stopień zagrożenia, wynikający z oddziaływania wszystkich czynników funkcjonalnych, uzyskiwany jest po ich agregacji z wykorzystaniem tego samego modelu wnioskowania.

Użycie tej metody oceny zagrożenia operatora pozwala na wstępne określenie obszarów, w których wykonywane czynności mogą stwarzać potencjalne zagrożenie dla operatorów.

3. OCENA RYZYKA NA PÓŹNIEJSZYCH ETAPACH PROJEKTU

Na etapie projektu techniczno-klasyfikacyjnego dostępna wiedza umożliwia bardziej szczegółowe określenie poziomu zagrożenia operatora. Można przyjąć, że będzie on funkcją czynników pochodzących od [6]:

- pracy maszyn i urządzeń,
- dostępności do miejsca wykonywania czynności eksploatacyjnej,
- pozycji operatora, wykonującego określoną czynność eksploatacyjną,
- rodzaju wykonywanej czynności eksploatacyjnej.

Zagrożenia związane z pracą maszyn i urządzeń uzależnione są od pełnionej przez nie funkcji. Zdaniem autora, celowe byłoby również uwzględnienie wpływu na bezpieczeństwo operatora, jaki może wywierać dana maszyna lub urządzenie (ogólnie węzeł konstrukcyjny na podstawie [7]) przy:

- zidentyfikowanych zagrożeniach funkcjonalnych $\mathbf{Z_F}$, $\mathbf{Z_{FOT}}$ (projekt wstępny siłowni),
- przewidzianych już w projekcie środkach zaradczych $\mathbf{Z_{ZAR}}$.

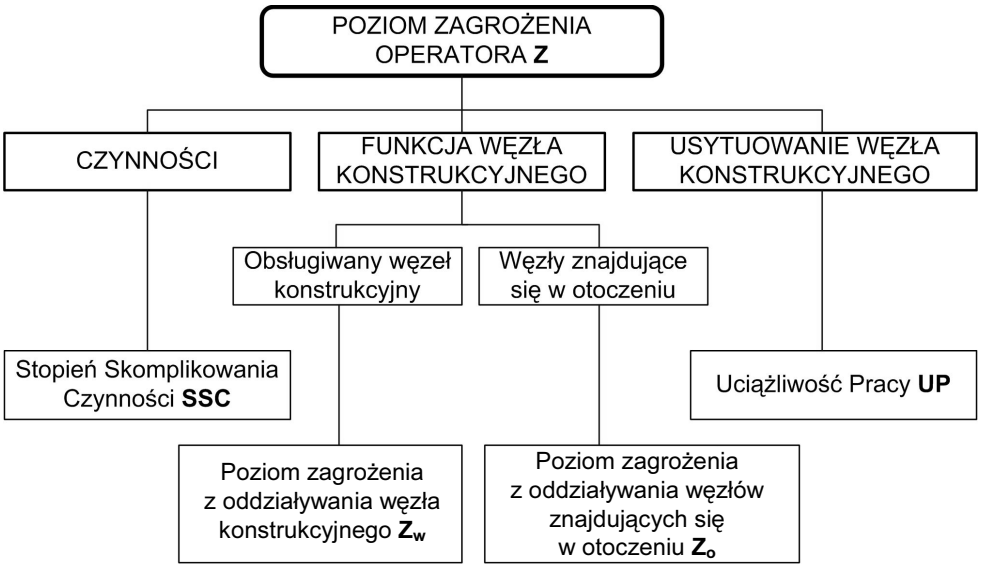
W tym przypadku należałoby uwzględnić zarówno oddziaływanie węzła, na którym realizowana będzie czynność eksploatacyjna, jak i węzłów znajdujących się w bezpośrednim otoczeniu operatora.

Przyjęto, że dostępność do miejsca wykonywanej czynności eksploatacyjnej **DWK** wraz z położeniem węzła konstrukcyjnego na odpowiedniej wysokości **PWK** w znaczący sposób wpływają na przebieg pracy operatora i przyjmowaną przez niego pozycję podczas wykonywania czynności eksploatacyjnych. Można więc określić, że będą definiowały uciążliwość jego pracy **UP**.

W przypadku wpływu wykonywanych czynności na zagrożenie operatora należałoby rozważyć takie czynniki, jak:

- stopień zróżnicowania czynności **ZC** – liczbę różnych czynności elementarnych realizowanych na określonym węźle konstrukcyjnym,
- maksymalny zakres wykonywanych ruchów **ZWR** – sposób realizacji czynności np. dłonią, ręką, z wykorzystaniem lub bez wykorzystania narzędzia,
- zmienność przyjmowanej pozycji **ZPP** – informację określającą dynamikę ruchów operatora.

Sposób powiązania wymienionych czynników w system oceny zagrożenia operatora zaprezentowano na rysunku 3.



Rys. 3. Schemat obrazujący system oceny zagrożenia operatora

Fig. 3. *Diagram showing the operator's risk assessment system*

Schematy przedstawiające zależności pomiędzy poszczególnymi czynnikami systemu oceny zagrożenia przedstawiono na rysunkach 4–7.

Zbudowanie systemu oceny rozmytej zagrożenia operatora wymaga stworzenia reprezentacji rozmytej poszczególnych czynników i ich powiązania za pomocą odpowiednich reguł. Wstępnie do celów odwzorowania poszczególnych zmiennych lingwistycznych przyjęte zostały zbiory rozmyte o kształtach trójkąta i trapezu.

Przykładowe zbiory rozmyte, opisujące czynniki składające się na uciążliwość pracy, przedstawiono na rysunkach 8–10.

Reguły rozmyte tworzone są w formie wyrażeń JEŚLI–TO (IF-THEN). W razie większej liczby przesłanek stosowany jest operator I (AND). Stworzone reguły rozmyte mają następującą formę:

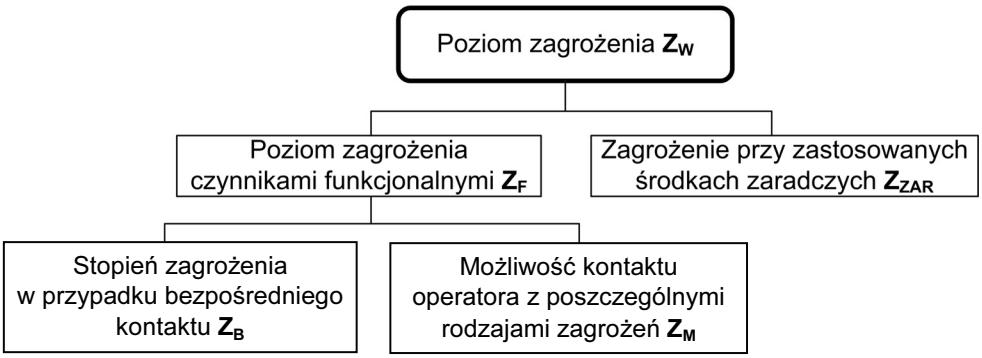
JEŚLI położenie węzła konstrukcyjnego jest poniżej kolan, **I** dostęp do węzła jest utrudniony, **TO** uciążliwość pracy JEST znaczna.

Rys. 4. Stopień skomplikowania czynności – zależności pomiędzy poszczególnymi czynnikami systemu oceny zagrożenia operatora

Fig. 4. *Degree of activities complexity – relationships between the various factors of operator risk assessment system*

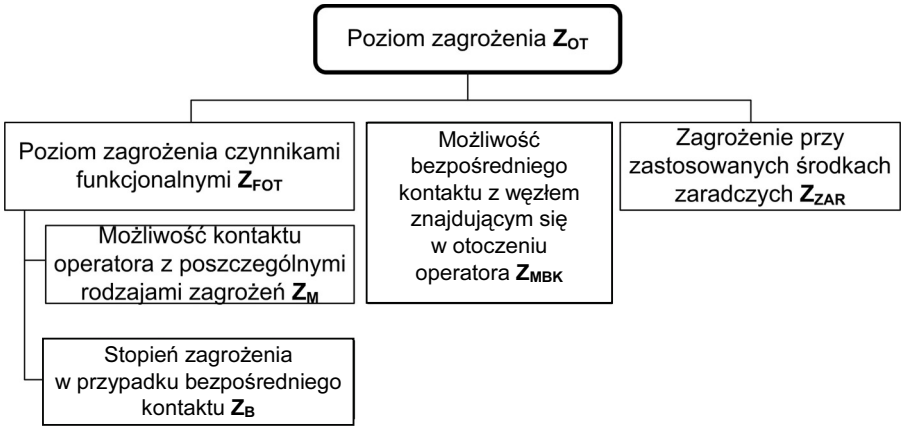
Rys. 5. Uciążliwość pracy czynności – zależności pomiędzy poszczególnymi czynnikami systemu oceny zagrożenia operatora

Fig. 5. *Burdensome of work – relationships between the various factors of operator risk assessment system*



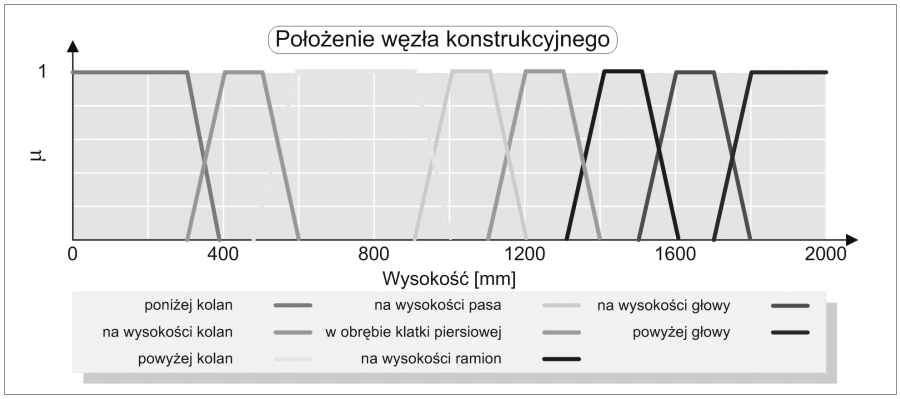
Rys. 6. Zależności pomiędzy poszczególnymi czynnikami systemu oceny zagrożenia operatora

Fig. 6. *Relationships between the various factors of operator risk assessment system*



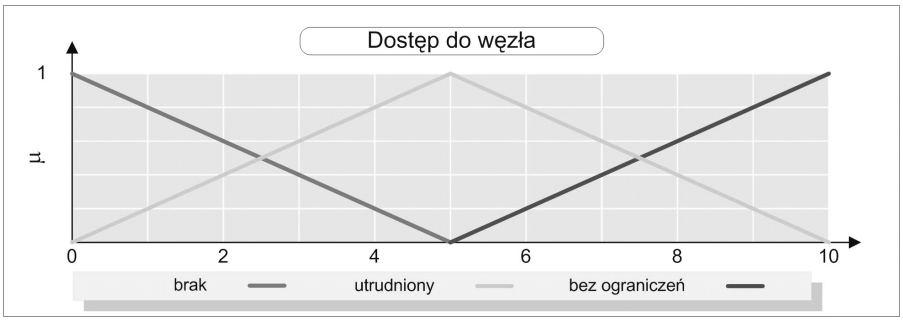
Rys. 7. Poziom zagrożenia Z_{OT} – zależności pomiędzy poszczególnymi czynnikami systemu oceny zagrożenia operatora

Fig. 7. *Risk level Z_{OT} – relationships between the various factors of operator risk assessment system*



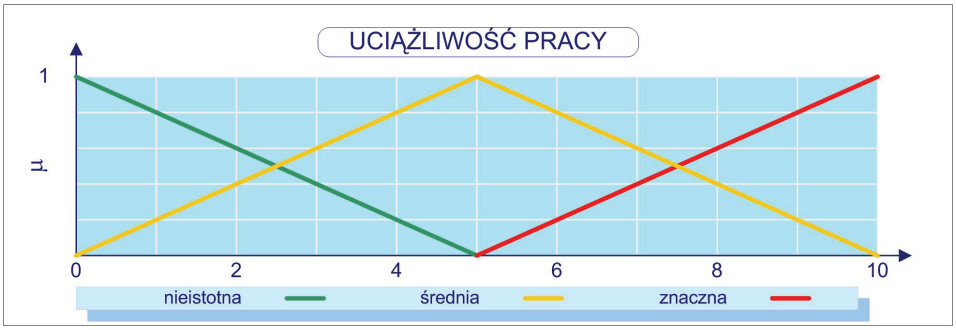
Rys. 8. Zbiory rozmyte opisujące położenie węzła konstrukcyjnego

Fig. 8. *Fuzzy sets describing the location of the structural unit*



Rys. 9. Zbiory rozmyte opisujące dostęp do węzła

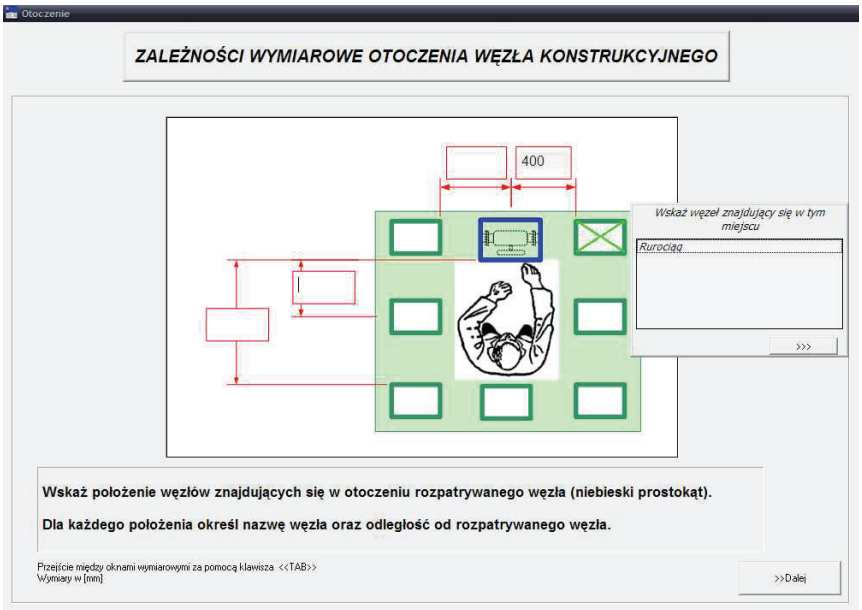
Fig. 9. *Fuzzy sets describing access to the unit*



Rys. 10. Zbiory rozmyte opisujące uciążliwość pracy

Fig. 10. *Fuzzy sets describing the burdensome of work*

Informacje potrzebne do działania systemu zbierane są na zasadzie dialogu projektanta z systemem. W zależności od potrzebnych informacji system będzie pozyskiwał je poprzez odpowiednio sporządzone listy kontrolne (*checklists*) lub np. schematy sytuacyjne (rys. 11).



Rys. 11. Przykładowy ekran systemu oceny zagrożeń operatora

Fig. 11. *Sample screen of the operator risk assessment system*

Uzyskane informacje przetwarzane są na odpowiednie zbiory rozmyte na podstawie wiedzy zgromadzonej w bazie systemu.

Efektem procesu oceny zagrożenia operatora podczas realizacji określonych czynności eksploatacyjnych jest wartość z przedziału [0, 10]. Wartość ta umożliwi zakwalifikowanie poziomu tego zagrożenia jako niski, średni lub wysoki. W zależ-

ności od uzyskanego wyniku możliwe będzie podjęcie odpowiednich działań w celu ewentualnej poprawy stanu bezpieczeństwa operatora. Dane zgromadzone przez system umożliwią identyfikację czynników, które w znacznym stopniu zagrażają operatorowi.

PODSUMOWANIE

Ocena zagrożenia, przeprowadzana na etapie projektu wstępnego siłowni okrętowej, ze względu na ograniczoną ilość informacji daje wstępną możliwość identyfikacji obszarów zagrożeń. Jest to o tyle ważne, że w tak wczesnym etapie projektu można przewidywać określone działania prewencyjne. W miarę rozwoju projektu pojawiają się jednak nowe, nieuwzględnione w tej ocenie, czynniki mogące w istotny sposób zagrażać operatorowi. Konieczne staje się wówczas kolejne rozważenie niebezpiecznych obszarów z uwzględnieniem tych właśnie czynników. Dodatkowo weryfikacji podlegają także już wprowadzone środki zaradcze.

Zastosowanie wnioskowania rozmytego umożliwia współdziałanie systemów oceny stosowanych w różnych fazach projektu. Ponadto przeprowadzany tą metodą sposób wnioskowania jest bardzo zbliżony do ludzkiego, dzięki czemu łatwiejsze staje się odpowiednie przetworzenie zdobytej wiedzy na język zrozumiały dla komputera.

LITERATURA

1. Kowalewski T., Podsiadło A., Tarełko W., *Analysis of hazard to operator during design process of safe ship power plant*, Polish Maritime Research, Vol. 17, No. 4(67), Gdańsk 2010.
2. Kowalewski T., Podsiadło A., Tarełko W., *Application of fuzzy inference to assessment of degree of hazard to ship power plant operator*, Polish Maritime Research, Vol. 14, No. 3(53), Gdańsk 2007.
3. Kowalewski T., Tarełko W., *Propozycja zastosowania wnioskowania rozmytego do oceny stopnia zagrożenia operatora obiektu technicznego*, Zeszyty Naukowe Akademii Morskiej w Gdyni, nr 56, Gdynia 2006.
4. Łachwa A., *Rozmyty świat zbiorów, liczb, relacji, faktów, reguł i decyzji*, Akademicka Oficyna Wydawnicza EXIT, Warszawa 2001.
5. Piegat A., *Modelowanie i sterowanie rozmyte*, Akademicka Oficyna Wydawnicza EXIT, Warszawa 1999.
6. Tarełko W., *Metodologia projektowania właściwości eksploatacyjnych złożonych obiektów technicznych,* Biblioteka Problemów Eksploatacji, Gdynia 2011.
7. Tarełko W. i in., *Antropotechniczne założenia do projektowania bezpiecznych obiektów technicznych – sprawozdanie merytoryczne,* Sprawozdanie z realizacji projektu badawczego nr 8T07C 011 20 finansowanego przez KBN, Akademia Morska w Gdyni, zeszyt nr 1, KPT, Gdynia 2004.

8. Tarełko W. i in., *Metoda projektowania bezpieczeństwa operatorów złożonych obiektów technicznych – sprawozdanie merytoryczne,* Sprawozdanie z realizacji projektu badawczego nr 4T07B02529 finansowanego przez KBN, Akademia Morska w Gdyni, zeszyt nr 1, KPT, Gdynia 2009.
9. Winkler T., *Komputerowo wspomagane projektowanie układów antropotechnicznych*, WNT, Warszawa 2005.

HAZARD ASSESSMENT SYSTEM OF SHIP POWER PLANT OPERATORS USING FUZZY LOGIC

Summary

This paper describes a system for assessing risks of engine room operators. This system is based on the mechanism of fuzzy inference. Use of this system will help to identify the factors harmful to operators and will determine the necessary corrective actions.
The method of engine room operator risk assessment has been developed in research projects [7] and [8]. However, it referred to the early phases of design. Developed system of risk assessment is a direct continuation of work in this field in relation to the later stages of ship power plant design.
Keywords: *safety, design process, ship power plant, hazard, fuzzy inference.*