

**Bogdan ŻÓŁTOWSKI**

Wydział Inżynierii Mechanicznej UTP, Bydgoszcz

## **DOSKONALENIE SYSTEMÓW EKSPLOATACJI MASZYN**

### **Słowa kluczowe**

Eksploatacja, modelowanie, ocena stanu, uzgadnianie decyzji, dedykowane systemy diagnostyki.

### **Streszczenie**

W pracy omówiono wybrane i nowe problemy eksploatacji złożonych maszyn, wspomaganą metodami diagnostyki technicznej i monitorowania stanu. Dotyczy to coraz częściej systemów wymian profilaktycznych, zagadnień doskonalących skuteczność metod diagnozowania, nowych rozwiązań oprogramowania na etapie uzgadniania decyzji (jedno- i wielowymiarowej), jak i dedykowanych systemów diagnozowania w inżynierii diagnostyki. Przedstawiona problematyka tego opracowania znajduje swoje uzasadnienie w procesach destrukcji maszyn, towarzyszących każdej maszynie tuż po jej wytworzeniu aż do likwidacji. Kształtowanie się kosztów eksploatacji maszyn i różnorodność działań organizacyjnych w tym obszarze różnicują możliwości stosowania znanych strategii eksploatacji. Rozwijająca się diagnostyka techniczna daje podstawy do racjonalnej eksploatacji maszyn w nowo tworzonych lub doskonalonych diagnostycznych systemach eksploatacji.

### **Wprowadzenie**

Współczesne maszyny pracujące w przemyśle, budownictwie i transporcie są bardzo wydajne, a jednocześnie skomplikowane i drogie, a każda awaria, uszkodzenie i postój z tym związany powodują duże straty ekonomiczne. Na

potrzeby utrzymania zdatności w procesie użytkowania, zapewnienia bezpieczeństwa i ochrony środowiska doskonalili się teorię i praktykę obsługiwań technicznych, ulepszając istniejące strategie eksploatacji. Ciągłe rozwija się i doskonalili rzadko jeszcze stosowany system wymian profilaktycznych dla obiektów technicznych, opracowując coraz to lepsze modele takiego rozwiązania.

Efektywne strategie eksploatacji, pozyskują informacje o użytkowaniu i obsługiwaniach technicznych, wykorzystują szybką, wiarygodną i przyjazną dla użytkownika informację o stanie obiektu z diagnostyki technicznej. Nowoczesne technologie informacyjne dostarczają wiele oryginalnych rozwiązań z obszaru pozyskiwania, przetwarzania i redundancji informacji, ułatwiają modelowanie przyczynowo-skutkowe, wnioskowanie o stanie, prognozowanie i generowanie stanu. Trudna droga drążenia danych dla wytworzenia wiedzy wywołuje kolejne problemy wymuszające opracowanie i budowę systemu uzgadniania decyzji oraz dedykowanych systemów diagnostycznych w podejściu wielowymiarowym dla oceny modułowych konstrukcji współczesnych maszyn.

W tym opracowaniu przedstawiono wiele nowych dokonań z obszaru doskonalenia systemu eksploatacji maszyn, wspomagając racjonalne gospodarowanie metodami i rozwiązaniami diagnostyki technicznej.

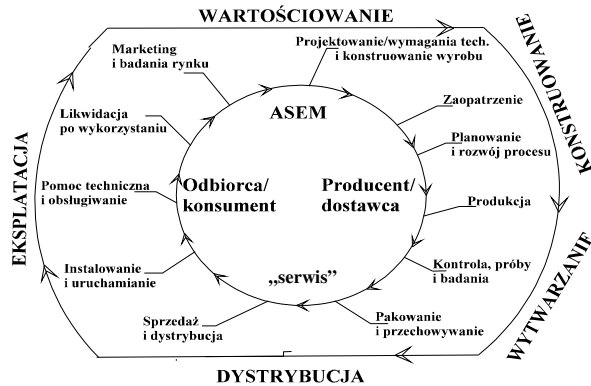
## 1. Strategie eksploatacji maszyn

Współcześnie przez pojęcie „eksploatacja” rozumie się zespół celowych działań organizacyjno-technicznych i ekonomicznych ludzi z urządzeniami technicznymi oraz wzajemne relacje występujące między nimi od chwili przejęcia urządzenia do wykorzystania zgodnie z przeznaczeniem aż do jego utylizacji po likwidacji [9, 10, 11, 12].

Patrząc na obecne trendy rozwojowe w budowie i eksploatacji maszyn trzeba uznać, że współcześnie ich jakość zawarta jest głównie w sferze automatyzacji i miniaturyzacji oraz racjonalizacji kosztów ich eksploatacji.

Kształtowanie i ocena jakości maszyn wiąże się ściśle z koniecznością utrzymania na odpowiednim poziomie ich cech użytkowych w określonych warunkach eksploatacji. Cechy te, spełniające wymogi reprezentatywnych dla stanu obiektu, winny być określone już na etapie wartościowania i konstruowania, a weryfikowane podczas wytwarzania i eksploatacji.

Działalność eksploatacyjna przebiega w obrębie logistyki, w ramach różnych systemów produkujących rozliczne dobra i świadczących przeróżne usługi. Systemy te są na ogół złożone i wydzielenie w nich podsystemu eksploatacji wcale nie jest łatwe. Teoria eksploatacji zajmuje się syntezą, analizą i badaniem systemów eksploatacji, a w szczególności zagadnieniami procesów użytkowania i obsługiwania technicznych maszyn występujących w tych systemach. Strategia eksploatacyjna polega na ustaleniu sposobów prowadzenia użytkowania i obsługiwania maszyn oraz relacji między nimi w świetle przyjętych kryteriów.



Rys. 1. Autoryzowana (przez producenta) strategia eksploatacji maszyn

W literaturze znane są następujące strategie eksploatacji maszyn:

- według niezawodności,
- według efektywności ekonomicznej,
- według ilości wykonanej pracy,
- według stanu technicznego,
- autoryzowana strategia eksploatacji maszyn.

Najczęściej w oparciu o jedną z powyższych strategii buduje się system eksploatacji przedsiębiorstwa, przy czym elementy pozostałych strategii są często jego uzupełnieniem. W praktyce przemysłowej występują więc najczęściej strategie eksploatacji mieszane, dostosowane do wymagań i warunków eksploatowanych maszyn.

Wybór racjonalnej strategii eksploatacji dla nowoczesnie zarządzanych (ERP, MRP-II) nowoczesnych maszyn jest wielokryterialny i głównie jednak oparty na całkowitych kosztach eksploatacji [10, 11, 12].

## 2. Nowe modele wymian profilaktycznych

Przez obsługiwane profilaktyczne należy rozumieć wymianę, naprawę lub diagnozowanie stanu – uprzedzające stan niezdatności obiektu technicznego. To nowoczesny nurt badań modelowych, związanych z analizą, modelowaniem i weryfikacją numeryczną oraz praktyczną – strategii obsługiwać profilaktycznych.

Ograniczenie się do przeprowadzania obsługi tylko po uszkodzeniu obiektu technicznego prowadzi najczęściej do dużych strat i kosztów ekonomicznych. Opracowuje się zatem różne strategie prowadzenia obsługi profilaktycznych polegających na tym, że wykonywane są one przed i po uszkodzeniu obiektu, co musi mieć uzasadnienie ekonomiczne. Obsługiwanie, w przypadku gdy obiekt jest sprawny, nazwano *prewencyjnym*, zaś w przypadku

uszkodzenia – obsługiwaniem *korekcyjnym*. Momenty czasowe przeprowadzenia obsługiwania prewencyjnych zależą od wielu czynników – głównie od struktury niezawodnościowej obiektu, od relacji kosztów związanych z uszkodzeniami do kosztów obsługiwania profilaktycznego, czy od czasu trwania obsługiwania [4].

Opracowane modele wymian profilaktycznych dla systemów eksploatacji uwzględniają następujące założenia:

- czasy przebywania obiektu w analizowanych stanach procesu eksploatacji są zmiennymi losowymi,
- odnowa (naprawa) obiektu i wymiana profilaktyczna nie zawsze prowadzi do pełnej zdatności obiektu technicznego,
- czas  $T$  do uszkodzenia obiektu może mieć rozkład z jednomodalną funkcją intensywności uszkodzeń.

Zdefiniowane dla przyjętych założeń rozkłady czasów życia stosowane do wymian według wieku i klasy rozkładów niezawodności wskazują wprost na rozważane rozkłady z jednomodalną funkcją intensywności uszkodzeń.

Najnowsze prace dotyczą zastosowań wymian według wieku obiektów oraz problemów związanych z rozkładem czasu życia obiektu technicznego. Główny nacisk w tych rozważaniach kładzie się na optymalizację zysku na jednostkę czasu i współczynnik gotowości systemu eksploatacji, przy modelowaniu procesu uszkodzeń z wannową i jednomodalną funkcją intensywności uszkodzeń. W szczególności dotyczy to znanych literaturowo rozkładów, jak i nowych rozkładów prawdopodobieństwa budowanych za pomocą skończonych mieszanin [4].

Ważnymi stwierdzeniami takiego podejścia są: losowe zdarzenia procesów eksploatacji, losowe zmiany stanów zdatności, brak pewności co do jakości wykonywanych obsługiwania i napraw oraz możliwa w użytkowaniu maszyn – jednomodalna funkcja intensywności uszkodzeń.

Jeśli obiekt ma stałą lub malejącą funkcję intensywności uszkodzeń, to wymiana przed uszkodzeniem nie zmniejsza prawdopodobieństwa uszkodzenia w następnej chwili, mimo że obiekt stary zastąpiono nowym. Innym warunkiem jest zachowanie odpowiedniej relacji kosztów związanych z wymianą korekcyjną (po uszkodzeniu) do kosztów związanych z wymianą profilaktyczną (przeprowadzonej przed uszkodzeniem obiektu).

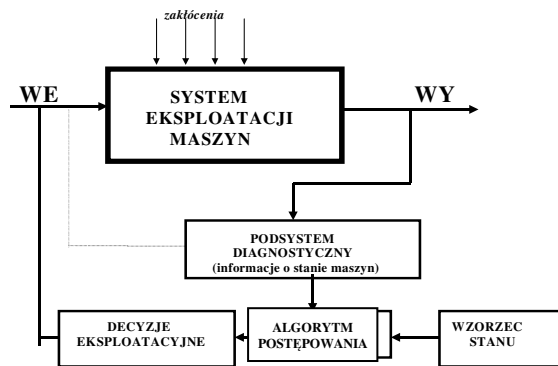
Stosowanie racjonalnych (optymalnych) obsługiwania prewencyjnych wymaga znajomości wielu cech charakteryzujących dany obiekt, takich jak: rozkłady czasów poprawnej pracy elementów obiektu, czasy odnow obiektu, czasy trwania uszkodzeń, koszty uszkodzeń i obsługiwania profilaktycznych. Wyznaczenie tych wielkości wymusza zbieranie danych statystycznych i korzystanie z metod statystyki matematycznej.

Jedną z ważniejszych strategii wymian profilaktycznych jest strategia wymian według wieku obiektu, która może być prowadzona bez gwarancji producenta albo z jego gwarancją. Badania modelu wymian według wieku obiektów

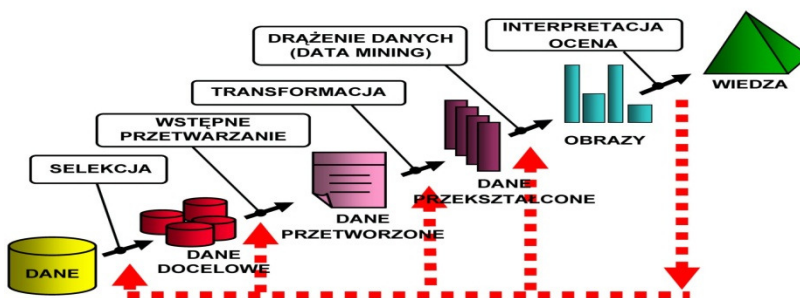
z gwarancją prowadzi się przy założeniu, że niepomijalne są czasy wymiany i naprawy. Efektywność działania systemu eksploatacji jest wówczas wyrażana przez zysk przypadający na jednostkę czasu i współczynnik gotowości systemu eksploatacji [4].

### 3. Diagnostyczny system utrzymania zdolności maszyn

Procesy destrukcji systemów technicznych wymuszają potrzebę nadzorowania zmian ich stanu, szczególnie na etapie eksploatacji. Metody i środki nowoczesnej diagnostyki technicznej są narzędziem diagnozowania ich stanu technicznego, co umożliwi racjonalną i bezpieczną ich eksploatację.



Rys. 2. Diagnostyka w eksploatacji maszyn



Rys. 3. Proces odkrywania wiedzy

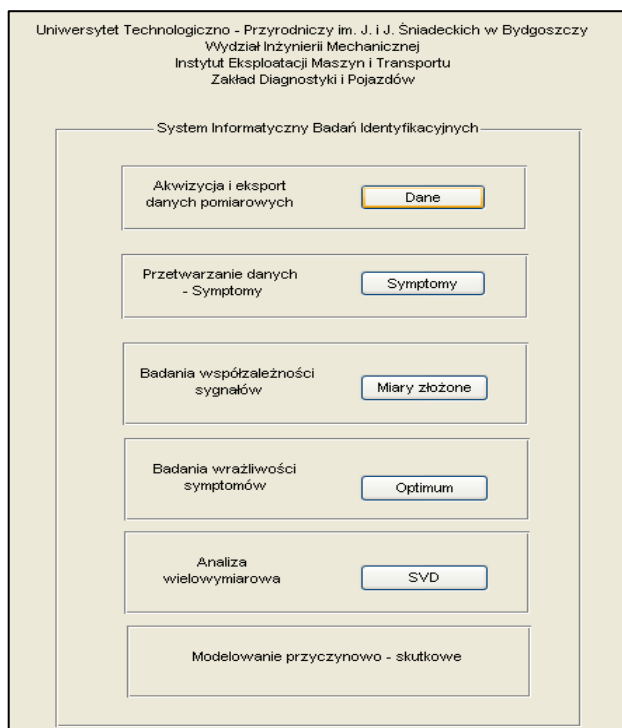
Pozyskiwanie i przetwarzanie danych pomiarowych w diagnostyce często kojarzone jest z odkrywaniem wiedzy, co ma na celu identyfikację regularności istniejących w zbiorze danych, który jest zawarty w bazie. Regularność określana jest poprzez pewien obraz (ang. *pattern*) oraz zakres, w którym ten obraz występuje. Proces odkrywania wiedzy w bazach ma wiele stadiów, z których

najbardziej znanym jest drążenie danych (*Data Mining*). W procesie tym widać wiele możliwości iteracji, których celem jest wielokrotna selekcja danych, ich wstępne przetwarzanie, drążenie danych w celu automatycznego poszukiwania zależności o charakterze jakościowym i ilościowym, a wreszcie interpretacja otrzymanych zależności przez adresata wyników.

#### 4. System informatyczny badań identyfikacyjnych

Program ten jest wynikiem wielu badań i zastosowań przemysłowych, stworzony w środowisku MATLAB – a z wieloma aplikacjami na potrzeby:

- akwizycji sygnałów diagnostycznych,
- przetwarzania sygnałów i miar sygnałów,
- badania współzależności mierzonych sygnałów,
- badania wrażliwości symptomów diagnostycznych,
- wnioskowania statystycznego,
- wizualizacji wyników analizy.



Rys. 4. Główne okno dialogowe programu SIBI

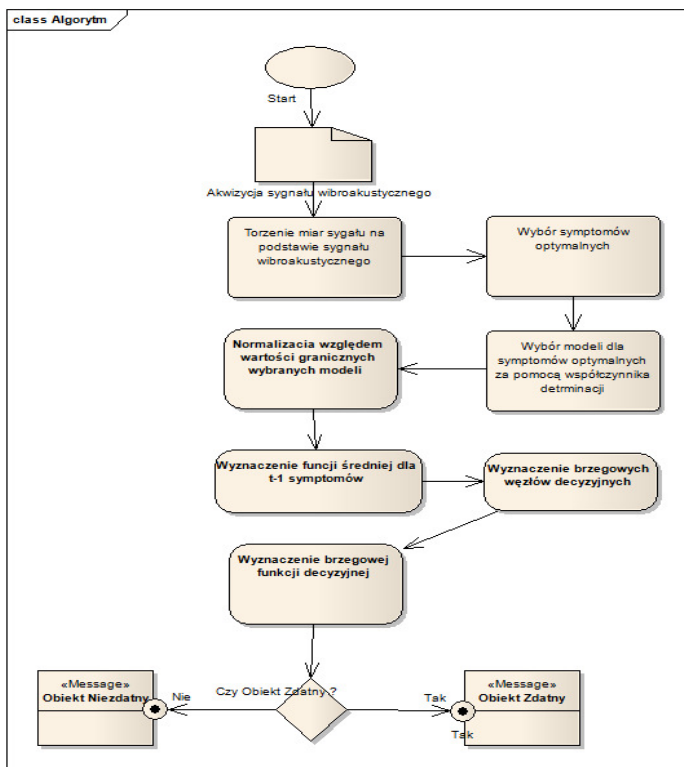
Program SIBI jest narzędziem wspomagającym realizację eksperymentów, a jego modułowa konstrukcja umożliwia realizację wielu oddzielnych zadań,

z możliwością szybkiej identyfikacji rozwijających się uszkodzeń. System oprogramowania porządkuje dane pomiarowe (unv), tworzy wiele dostępnych programowo miar sygnałów (Generate Symptoms), ocenia wrażliwość informacyjną badanych miar sygnałów (BEDIND, PCA, OPTIMUM), ocenia wielowymiarowo stan obiektu (SVD), generuje proste modele przyczynowo-skutkowe, a także graficznie jest przyjazny dla użytkownika [6, 8, 10, 12].

Wykorzystanie praktyczne oprogramowania znacząco wpływa na jakość i skuteczność diagnozowania obiektów w aspekcie oceny ich zdadności, zagrożeń bezpieczeństwa i środowiska w systemie eksploatacji maszyn.

## 5. System uzgadniania decyzji o stanie obiektu

Podjęcie decyzji w ujęciu jednowymiarowym w diagnostyce jest dobrze opanowane, gdzie mając dobry symptom, jego wartość graniczną można oceniać stan maszyny, genezować i prognozować. Problem się komplikuje dla wielowymiarowej oceny stanu, co przedstawiono na rysunku [POIG].



Rys. 5. Algorytm wspierający proces podejmowania decyzji o stanie obiektu na podstawie danych diagnostycznych (strategia wielowymiarowa) [POIG]

Zadanie podjęcia decyzji na podstawie t-wymiarowego modelu można sformułować następująco:

- W przedziale  $\langle a; b \rangle$  danych jest  $(t-1)(n+1)$  różnych punktów  $x_0, x_1, \dots, x_{t(n+1)}$ , które możemy nazwać węzłami decyzyjnymi oraz wartości funkcji  $y(x)$  w tych punktach wynoszą odpowiednio  $f(x_0) = y_0, f(x_1) = y_1, \dots, f(x_{t(n+1)}) = y_{t(n+1)}$ .
- Do zbioru węzłów decyzyjnych nie są zaliczane punkty wyznaczone przez symptom osiągnący najszybciej wartość graniczną, punkty te dla rozróżnienia nazwiemy skrajnymi węzłami decyzyjnymi, a wartość funkcji w tym punkcie wynosi  $y = f_s(x)$ .
- Dysponując węzłami decyzyjnymi, możemy wyznaczyć średnie węzły decyzyjne w przedziale  $\langle a; b \rangle$  będące średnią ważoną dla t-1 miar symptomów, gdzie:  $w_0, \dots, w_{t-1}$  – są wagami poszczególnych symptomów
 
$$\bar{S}_n = \frac{w_1 y_1(x_n) + \dots + w_{t-1} y_{t-1}(x_n)}{w_1 + \dots + w_{t-1}}.$$
- Dysponując średnimi węzłami decyzyjnymi aproksymujemy wielomianem n-tego stopnia i otrzymujemy funkcję ciągłą nazwaną dalej funkcją średnią dla t-1 symptomów, a wartość funkcji w tym punkcie wynosi  $y = f_{t-1}(x)$ .
- W celu wyznaczenia brzegowej funkcji decyzyjnej wprowadzono pojęcie odległości profilaktycznej w przedziale  $\langle a; b \rangle$ ,
- Odległość profilaktyczna  $d_{x_0}$  jest to liczba nieujemna jednoznacznie przypisana odcinkowi, spełniającemu warunki:
  - $|AB| = 0$  wtedy i tylko wtedy, gdy  $A = B$ ,
  - $|AB| = |BA|$ ,
  - $|AC| \leq |AB| + |BC|$ ,
 gdzie A, B i C są dowolnymi punktami płaszczyzny.  
 $|AB|$  to odległość profilaktyczna punktu A od punktu B, którą wyraża się:

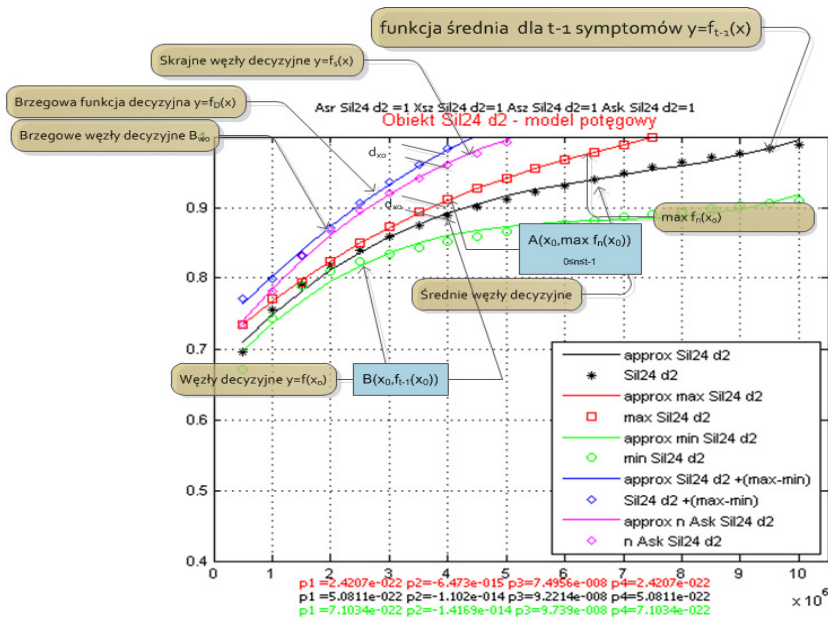
$$|AB| = d_{x_0} \sqrt{\max_{0 \leq n \leq t-1} (f_n(x_0) - f_{t-1}(x_0))^2},$$

$$\text{gd}y \ A = x_0, \max_{0 \leq n \leq t-1} f_n(x_0) \ \text{i} \ B = (x_0, f_{t-1}(x_0)).$$

- Dysponując odległością profilaktyczną  $d_{x_0}$  w punkcie  $x_0$ , wyznacza się brzegowe węzły decyzyjne w punkcie  $x_0$  należącym do przedziału  $\langle a; b \rangle$ .
- Brzegowy węzeł decyzyjny jest zdefiniowany:  $B_{w_0} = (x_0, d_{x_0} + f_s(x_0))$ .
- Dysponując brzegowymi węzłami decyzyjnymi w przedziale  $\langle a, b \rangle$ , aproksymujemy je wielomianem n-tego stopnia i otrzymujemy funkcję ciągłą nazwaną dalej brzegową funkcją decyzyjną dla t symptomów, a wartość funkcji w tym punkcie wynosi  $y = f_D(x)$ .

Dysponując brzegową funkcją decyzyjną, można podjąć decyzję o stanie obiektu z wykorzystaniem t symptomów [Boniecki, adresy www].





Rys. 6. Wyznaczenie funkcji decyzyjnej na podstawie wielu symptomów [POIG]

Przedstawiona propozycja algorytmu jest możliwa do zastosowania w aplikacji z wykorzystaniem Javy oraz technologii ORM (ang. *Object – relational mapping*). Celem aplikacji jest wspieranie procesu podejmowania decyzji o stanie obiektu na podstawie sygnałów diagnostycznych. Aplikacja winna umożliwiać komunikację pomiędzy komputerami niezależnie od posiadanej platformy sprzętowej i systemowej. Program napisano w języku Java, z wykorzystaniem biblioteki graficznej Swing. Jako bazę danych przechowującą obiekty trwałości wybrano silnik FirebirdSQL, a komunikacja i generowanie zapytań pomiędzy aplikacją i bazą danych odbywa się za pomocą frameworka Hibernate.

## 6. Dedykowane systemy diagnostyczne

Konstrukcja to abstrakcyjny model maszyny określony za pomocą trzech grup cech: geometrycznych, materiałowych i montażowych. Każda z cech zdefiniowana jest przez postać i układ wymiarów. Postać opisuje informacje jakościowe, układ wymiarów określa dane ilościowe [7, 12].

Cechy konstrukcyjne dobieramy w procesie konstruowania na podstawie trzech grup warunków konstrukcyjnych. Pierwsza grupa warunków dotyczy różnych aspektów wytrzymałości maszyny: ze względu na wytrzymałość doraźną, zmęczeniową, poziom odkształceń, deformacji (ugięć), właściwy układ przenoszenia obciążeń, stateczność. Drugą grupę warunków łączy perspektywa zagadnień wytwórczych: technologiczność, taniłość i dostępność materiałów,

łatwość montażu. Ostatnia grupa odnosi się do procesu eksploatacji i dotyczy: ergonomiczności, sprawności, naprawialności, niezawodności i trwałości maszyny.

Konstruowanie modułowe to nowe wyzwania dla ciągle rozwijającej się diagnostyki technicznej. Jednym z bardzo ważnych cech system modułowego jest możliwość konstruowania wariantowego. Istnieje kilka metod tworzenia rodzin konstrukcji w tym systemie [1, 2]:

- podziału na sekcje,
- budowy składanej,
- zespołu podstawowego.

Konstruowanie modułowe ma wiele zalet. Pozwala na [7, 12]:

- łatwe konstruowanie wariantowe w oparciu konstrukcje modułów i ich typoszeręgów,
- pełne wykorzystanie parametrycznych modeli CAD.

W procesie wytwarzania maszyny pozwala na:

- produkcję modułu przez zewnętrznego, wyspecjalizowanego producenta lub wielu konkurujących ze sobą producentów.

W procesie eksploatacji pozwala na:

- rozbudowę funkcjonalności maszyny przez wymianę modułu,
- zmianę parametrów maszyny przez wymianę modułu,
- diagnozowanie stanu maszyny na poziomie modułu,
- łatwą naprawialność poprzez wymianę modułu.

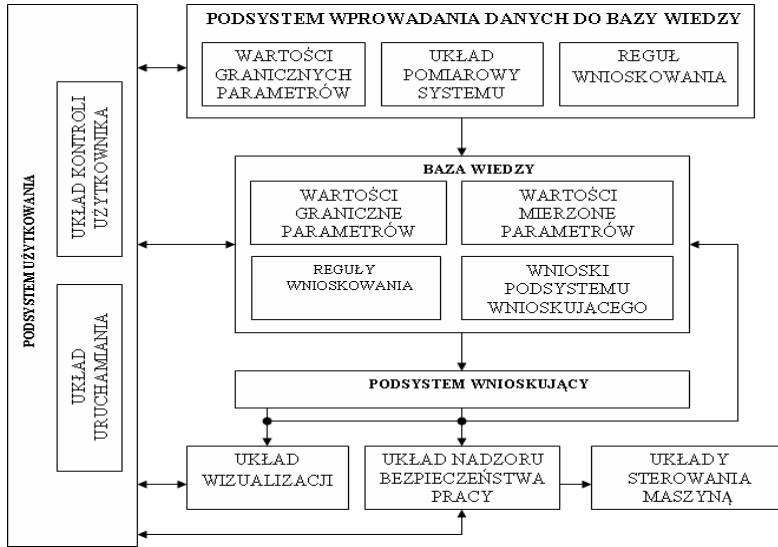
Dedykowane reguły wnioskowania stanowią niezbędny element oprogramowania pokładowych systemów rozpoznawania stanu modułów maszyny. Pokładowy system rozpoznawania stanu maszyny powinien charakteryzować się:

- a) prostym, możliwie optymalnym algorytmem funkcjonowania;
- b) uniwersalnością, tzn. możliwościami rozpoznawania stanu maszyn różnych typów;
- c) automatycznym generowaniem diagnoz;
- d) jednoznacznością i czytelnością przedstawiania diagnoz;
- e) prostotą obsługi.

Do realizowania powyższych funkcji systemu należy wykorzystać procedury programowania obiektowego. Wówczas podstawowym modułem systemu rozpoznawania stanu maszyny jest baza wiedzy <OBIEKT, ATRYBUT (cecha stanu) – WARTOŚĆ>. Obiektem definiowanym w systemie rozpoznawania stanu są zespoły i układy maszyny. Atrybutem będą natomiast dane, których opisujące je wartości (wybrane parametry diagnostyczne) określać będą stan maszyny.

Struktury relacji mogących zachodzić między obiektami definiowane są na etapie projektowania. Obiekty zdefiniowane w systemie mogą zawierać zbiory informacji o podobnych strukturach. Powoduje to, że najpierw konieczne staje

się tworzenie bazy danych, a następnie łączenie wybranych obiektów systemu z określonymi zasobami bazy, np. za pomocą dedykowanych odpowiednim grupom maszyn reguł wnioskowania diagnostycznego.



Rys. 7. Schemat konfiguracji pokładowego systemu rozpoznawania stanu maszyny [7]

Informacje o stanie maszyny mają strukturę hierarchiczną, gdzie ogólne informacje zajmują poziom najwyższy, np. dla Oceny Stanu (kontrola stanu maszyny), a poziomy niższe przeznaczone są dla informacji szczegółowych (lokalizacja uszkodzeń układu).

Pokładowy system rozpoznawania stanu realizuje łącznie uprzednio wymienione cztery funkcje. Zatem do funkcji kontroli stanu i lokalizacji uszkodzeń dochodzi funkcja prognozowania stanu oraz genezowania stanu. Z racji spełnionych funkcji system można nazwać systemem uniwersalnym. Rola diagnosty sprowadza się do podjęcia ostatecznej decyzji o stanie maszyny i wykonaniu pewnych operacji pomocniczych. Zwiększa się wiarygodność diagnozy, zmniejsza się czas i koszt badań diagnostycznych maszyny oraz niestety rosną koszty systemu.

Idealny system rozpoznawania stanu to pokładowy system rozpoznawania stanu spełniający funkcje: kontroli stanu, prognozowania stanu, lokalizacji uszkodzeń obiektu oraz genezowania stanu. W tym przypadku wzrasta koszt maszyny, jednak efektywność eksploatacji maszyny staje się wyższa, bowiem realizowane są wszystkie funkcje rozpoznawania stanu maszyny. Takie rozwiązanie systemu rozpoznawania stanu może być odpowiednie dla maszyn krytycznych lub innych maszyn specjalnych.

## Podsumowanie

Podjęta problematyka dotyczy podstawowej i nowej wiedzy z zakresu podstaw inżynierii eksploatacji maszyn traktowanych jako głównych zagadnień poprawności pracy maszyn, stanowiących szczególne zagrożenie dla ludzi, środowiska i jakości produkcji. Na obecnym etapie rozwoju teorii eksploatacji – diagnostyka jest czynnikiem niezbędnym dla utrzymania wymaganej gotowości i zdatności zadaniowej nadzorowanych maszyn oraz do zapewnienia racjonalnej ich eksploatacji. Nie bez znaczenia są też podniesione w tym opracowaniu zagadnienia dziedzin pokrewnych, ściśle związanych z utrzymaniem maszyn w zdatności, kształtowania jakości maszyn w procesie konstruowania i wytwarzania metodami wirtualnymi.

Treści tej pracy inspirują do dalszej wytężonej pracy w tematyce inżynierii eksploatacji maszyn, szczególnie w zakresie praktycznych wdrożeń diagnostyki technicznej maszyn, doskonalenia metodologii badań diagnostycznych, jak i sposobów liczenia efektów ekonomicznych, a więc zagadnień racjonalnej eksploatacji maszyn.

Podstawowa wiedza z zakresu racjonalnej eksploatacji maszyn daje decydom w przemyśle potężne narzędzie w transformacji gospodarki do aktualnych wymogów jakościowych, w szczególności agresywnej konkurencji rynkowej.

Postęp w nauce jest wydarzeniem rzadko spotykanym i najczęściej jest on wynikiem długotrwałej i mozolnej pracy badawczej oraz szczęśliwej zgodności czasu, miejsca i osób. Zasadnicze idee tej pracy odnajdują swoje początki w intelektualnej pożywce spotkań środowiska diagnostycznego, związanego często z bezimiennymi twórcami podwalin eksploatacji i diagnostyki.

Wykraczanie poza oficjalnie przekazywane fakty i idee odbywające się na bazie respektowania jasności logiki i weryfikacji praktycznej proponowanych metod i środków dają zręby dla powstania wyróżnionej tematyki racjonalnej eksploatacji maszyn.

## Bibliografia

1. Dziama A.: *Metodyka konstruowania maszyn*. PWN, Warszawa 1985.
2. Gendarz P.: *Elastyczne systemy modułowe konstrukcji maszyn*. PŚ, Gliwice 2009.
3. Korbicz J., Kościelny J.M., Kowalczyk Z., Cholewa W. (red.): *Diagnostyka procesów. Modele. Metody sztucznej inteligencji. Zastosowania*. Warszawa 2002.
4. Knopik L.: *Metoda wyboru efektywnej strategii eksploatacji obiektów technicznych*. Rozprawy 145, UTP, Bydgoszcz 2010.
5. Kulikowski J.L.: *Komputery w badaniach doświadczalnych*. PWN, Warszawa 1993.

6. Niziński S., Żółtowski B.: Zarządzanie eksploatacją obiektów technicznych za pomocą rachunku kosztów. Olsztyn – Bydgoszcz 2002, s. 156.
7. Tylicki H.: Dedykowane systemy pokładowe diagnostyki. POIG, Bydgoszcz 2011.
8. Uhl T.: Komputerowe wspomaganie identyfikacji modeli konstrukcji mechanicznych, WNT, Warszawa 1997.
9. Żółtowski B.: Podstawy diagnostyki maszyn. Wyd. ATR. Bydgoszcz. 1996.
10. Żółtowski B., Niziński S.: Modelowanie procesów eksploatacji maszyn, Bydgoszcz – Sulejówek 2002, s. 250.
11. Żółtowski B., Niziński S.: System informatyczny eksploatacji pojazdów mechanicznych. Wyd. PWSZ, Piła 2004, s. 234.
12. Żółtowski B., Cempel C. (red.): Inżynieria diagnostyki maszyn. ITeE, Radom 2005.

-----  
Hibernate Query Language – (<http://oracle.com/javaee/5/tutorial/>)

Structure Query Language – strukturalny język zapytań używany do tworzenia, modyfikowania baz danych, oraz do umieszczania i pobierania danych z bazy (<http://pl.wikipedia.org>)

Java Data Base Connectivity –

(<http://www.oracle.com/technetwork/java/javase/jdbc/index.html>)

JPA – standard mapowania obiektowo – relacyjnego

(<http://www.objectdb.com/java/jpa/query>)

Recenzent:

**Czesław CEMPEL**

## **Improvement of machine operational systems**

### **Key words**

The exploitation, modelling, assessment of the technical state, decision making, the dedicated systems of diagnostics.

### **Summary**

The article presents both selected and new problems connected with the maintenance of complex machinery which can be addressed and solved with the use of methods of technical diagnostics and monitoring of the state of the devices in question. This often concerns the systems of preventive replacements, issues of improving the effectiveness of the applied methods of diagnostics, new software solutions supporting the stages of single and complex decision making,

and dedicated systems of diagnostics in diagnostic engineering. The problems this article deals with particularly concern machine destruction processes that can be noticed in the case of each and every machine from the very moment it is produced up to the moment it is scrapped. The varying costs of operation and maintenance of machines, together with a variety of organizational actions undertaken in that field decide on the operational strategies to be selected and applied. The developing technical diagnostics forms the basis for rational exploitation of machines in newly created or established, but improved, diagnostic operational systems.