IMPROVEMENT THE SYSTEMS OF EXPLOITATION MACHINE

DOSKONALENIE STRATEGII UTRZYMANIA ZDATNOŚCI MASZYN

Bogdan Żółtowski, Mariusz Żółtowski jr.

Uniwersytet Technologiczno – Przyrodniczy w Bydgoszczy

bogzol@utp.edu.pl; mariusz.zoltowski@utp.edu.pl

Abstract: *It this work was talked over chosen and the new problems of exploitation of folded machine engines, helped with methods of technical diagnostics and monitoring the state. This concerns more and more often: the questions perfecting the effectiveness of methods of diagnosing, systems of preventive exchanges, new solutions of software on stage co-ordinating the decision (one - and the multi - dimension), as and the dedicated systems of diagnosing in engineering of diagnostics. Introduced problems of this study finds in processes of destruction of machine engines his reason, concurrent every machine engine near at hand after her producing, until to liquidation. The be shaping the costs of exploitation of machine engines and the possibilities of applying of well-known strategies of exploitation differentiate in this area the variety of organizational workings. The developing technical diagnostics gives to rational exploitation of machine engines the basis in newly created or the perfected diagnostic systems of exploitation.*

Keywords: *the exploitation, modelling, the opinion of state, the co-ordinating the decision, the dedicated systems of diagnostics.*

Streszczenie: *W pracy omówiono wybrane problemy utrzymania zdatności złożonych maszyn, wspomagane metodami diagnostyki technicznej. Dotyczy to zagadnień doskonalących skuteczność metod diagnozowania, nowych rozwiązań oprogramowania na etapie uzgadniania decyzji (jedno- i wielo- wymiarowej), jak i dedykowanych systemów diagnozowania w inżynierii diagnostyki. Przedstawiona problematyka tego opracowania znajduje swoje uzasadnienie w procesach destrukcji maszyn, towarzyszących każdej maszynie po wytworzeniu, aż do jej 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.*

Słowa kluczowe: *eksploatacja, modelowanie, ocena stanu, uzgadnianie decyzji, dedykowane systemy diagnostyki.*

1. Wprowadzenie

Współczesne maszyny pracujące w przemyśle, budownictwie i transporcie są bardzo wydajne, a jednocześnie skomplikowane i drogie. Każda awaria, uszkodzenie i postój z tym związany powodują duże straty ekonomiczne. Dla potrzeb utrzymania zdolności w procesie użytkowania, zapewnienia bezpieczeństwa i ochrony środowiska ciągle doskonalą się teorię i praktykę obsługiwań technicznych, doskonaląc w ten sposób istniejące strategie eksploatacji. Ciągłe rozwija się i doskonalą rzadko stosowaną strategię wymian profilaktycznych oraz nową strategię ubytku potencjału użytkowego dla obiektów technicznych, opracowując coraz to lepsze modele takich rozwiązań.

Nowoczesne technologie informacyjne dostarczają wiele oryginalnych rozwiązań z obszaru pozyskiwania, przetwarzania i redundancji informacji ułatwiając modelowanie przyczynowo – skutkowe, wnioskowanie o stanie, prognozowanie i genezowanie 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 dokonań z obszaru doskonalenia systemu eksploatacji maszyn, wspomagając racjonalne utrzymanie zdolności maszyn.

2. Strategie eksploatacji maszyn

Współcześnie pod pojęciem "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].

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 obsługiwań technicznych maszyn występujących w tych systemach. Strategia eksploatacyjna polega na ustaleniu sposobów prowadzenia użytkowania i obsługiwań maszyn oraz relacji między nimi w świetle przyjętych kryteriów.

Rys.1 Autoryzowana (przez producenta) strategia eksploatacji maszyn

W literaturze znane i opisane są następujące strategie eksploatacji maszyn:

- prewencyjne strategie eksploatacji;
- potencjałowe strategie eksploatacji:
 - strategia według niezawodności
 - strategia według efektywności
 - strategia planowo – zapobiegawcza
 - strategia mieszana (z DT)
 - strategia według stanu
 - strategia według potencjału użytkowego.

Najczęściej w oparciu o preferowaną strategię buduje się system eksploatacji przedsiębiorstwa, przy czym elementy pozostałych strategii są często uzupełnieniem wybranej. 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) maszyn jest wielokryterialny i oparty głównie na całkowitych kosztach eksploatacji [10,11,12].

3. 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 obsługiwań profilaktycznych. Ograniczenie się do przeprowadzania obsługiwań tylko po uszkodzeniu obiektu technicznego prowadzi najczęściej do dużych strat i kosztów ekonomicznych. Opracowuje się zatem różne strategie prowadzenia obsługiwań 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 procesie eksploatacji są zmiennymi losowymi,
- odnowa obiektu i wymiana profilaktyczna nie zawsze prowadzi do pełnej zdolności obiektu,
- czas do uszkodzenia 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 tego obszaru 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 jest: losowe zdarzenia procesów eksploatacji, losowe zmiany stanów zdolności, brak pewności co do jakości wykonywanych obsługiwani 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 obsługiwani 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 obsługiwani profilaktycznych. Wyznaczanie tych wielkości wymusza żmudne zbieranie danych statystycznych i korzystanie z metod statystyki matematycznej.

4. Zmiana potencjału użytkowego

W związku z tym, że termin rozpoczęcia procesów odnowy nie może być zmieniany, powstała koncepcja takiego sterowania intensywnością procesów

użytkowania, aby w wyznaczonej z góry chwili zakończenia procesu użytkowania, stan techniczny obiektu badań był jak najbliższy stanowi granicznemu.

W strategii eksploatacyjnej według kontrolowanego ubytku potencjału użytkowego za miarę możliwości użytkowych systemu znajdującego się w określonym stanie technicznym przyjęto potencjał użytkowy [7]. Jego początkowa definicja została przyjęta jako zdolność systemu do wykonywania pracy użytecznej zgodnej z przeznaczeniem, co umożliwia wykorzystanie potencjału użytkowego zawartego w systemie w stopniu optymalnym. Proces użytkowania zinterpretowano, jako proces ubytku potencjału użytkowego.

Przeprowadzone rozważania pozwoliły na dopracowanie definicji potencjału użytkowego i jego ilości dysponowanej, jako odległości punktu stanu technicznego systemu od punktu stanu granicznego w przestrzeni cech systemu [7].

W pracy [7] opisano warunki oraz wyniki weryfikacji sformułowanych modeli, metod ich budowy oraz sposobu zastosowania do sterowania eksploatacją systemu technicznego. Weryfikacja została przeprowadzona poprzez budowę modeli szczegółowych dla wybranego obiektu przemysłowego i ocenę jakości działania tych modeli na podstawie przeprowadzonych badań eksploatacyjnych.

5. 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 umożliwia racjonalną i bezpieczną ich eksploatację.

Rys.2 Diagnostyka w eksploatacji maszyn

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.

Rys.3 Proces odkrywania wiedzy

6. System informatyczny badań identyfikacyjnych

Program ten jest wynikiem wielu badań i zastosowań przemysłowych, stworzony w środowisku MATLAB - a z wieloma aplikacjami dla potrzeb:

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

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 zdolności, zagrożeń bezpieczeństwa i środowiska w systemie eksploatacji maszyn.

Rys.4 Główne okno dialogowe programu SIBI

7. System uzgadniania decyzji o stanie obiektu

Podejmowanie 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].

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 $f(x_0)=y_0, f(x_1)=y_1, \dots, f(x_{t(n+1)})=y_{t(n+1)}$,

Rys.4 Algorytm wspierający proces podejmowania decyzji o stanie obiektu na podstawie danych diagnostycznych (strategia wielowymiarowa) [POIG]

- Do zbioru węzłów decyzyjnych nie są zaliczane punkty wyznaczone przez symptom osiągający 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 profilaktyczną punktu A od punktu B , którą wyraża się:

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

gdzie $A = (x_0, \max_{0 \leq n \leq t-1} f_n(x_0))$ 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].

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.

8. 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]. Coraz częstsze konstruowanie modułowe posiada szereg zalet:

- 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:

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

Do realizowania powyższych funkcji systemu należy wykorzystać procedury programowania obiektowego. 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.5 Wyznaczenie funkcji decyzyjnej na podstawie wielu symptomów [POIG]

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 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.

Rys.6. Schemat konfiguracji pokładowego systemu rozpoznawania stanu maszyny [8]

9. Podsumowanie

Problematyka podjęta w tej pracy dotyczy podstawowej i nowej wiedzy z zakresu podstaw inżynierii eksploatacji maszyn, traktowanych jako głównych zagadnień poprawności pracy maszyn. Na obecnym etapie rozwoju teorii eksploatacji - diagnostyka jest czynnikiem niezbędnym dla utrzymania wymaganej gotowości i zdolności 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 zdolności, kształtowania jakości maszyn w procesie konstruowania i wytwarzania metodami wirtualnymi.

Podstawowa wiedza z zakresu racjonalnej eksploatacji maszyn daje decydentom 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 osobami - bezimiennych tu twórców 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.

10. Literatura

- [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., Kowalczuk 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. ISBN – 83-916198-0-X, Olsztyn-Bydgoszcz, 2002 s.156.
- [7] Pająk M.: Model sterowania procesem ubytku potencjału użytkowego złożonych systemów technicznych. Rozprawa habilitacyjna. Monografie nr 154, Radom 2011.
- [8] Tylicki H.: Dedykowane systemy pokładowe diagnostyki. POIG, Bydgoszcz 2011.

- [9] Uhl T.: Komputerowe wspomaganie identyfikacji modeli konstrukcji mechanicznych, WNT, Warszawa, 1997.
- [10] Żółtowski B.: Podstawy diagnostyki maszyn. Wyd. ATR. Bydgoszcz. 1996. (s.467).
- [11] Żółtowski B., Niziński S.: Modelowanie procesów eksploatacji maszyn. ISBN – 83-916198-3-4, Bydgoszcz- Sulejówek, 2002 s.250.
- [12] Żółtowski B., Niziński S.: System informatyczny eksploatacji pojazdów mechanicznych. Wyd. PWSZ, Piła 2004 s.234.
- [13] Żółtowski B., Cempel C.(red.): Inżynieria diagnostyki maszyn. ITE, Radom 2005.
- [14] Żółtowski M.: Informatyczne systemy zarządzania w inżynierii produkcji. ITEE Radom 2011.

Bogdan Żółtowski, prof. zw. dr hab. inż. W działalności naukowej zajmuje się problemami budowy i eksploatacji maszyn, dynamiki maszyn, wibroakustyki i diagnostyki technicznej. Ma w swoim dorobku ponad 400 publikacji, w tym 28 pozycji książkowych (własne i współautorskie). Jest członkiem wielu stowarzyszeń i komitetów, krajowych i zagranicznych, a także komitetów naukowych ważnych wydawnictw. Wypromował kilkudziesięciu (około 200) absolwentów studiów magisterskich i inżynierskich, 13 doktorów nauk technicznych oraz recenzuje prace naukowo-badawcze, a także dorobek naukowy. Aktualnie jest dziekanem Wydziału Inżynierii Mechanicznej UTP.

dr inż. Mariusz Żółtowski jest adiunktem Wydziału Zarządzania Uniwersytetu Technologiczno – Przyrodniczego w Bydgoszczy. W działalności naukowej zajmuje się problemami badania materiałów i konstrukcji budowlanych, inżynierii zarządzania oraz technik informacyjnych wykorzystywanych w zarządzaniu, planowaniu, realizacji i opracowywaniu wyników eksperymentów. Innowacyjna działalność w zakresie wdrażania metod umożliwiających określenie stanu destrukcji materiałów budowlanych oraz strategię kształtowania jakości produkcji i usług, to obszary dociekań naukowych ostatnich lat. Jest członkiem Polskiego Stowarzyszenia Zarządzania Wiedzą, członkiem SIMP.

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>)