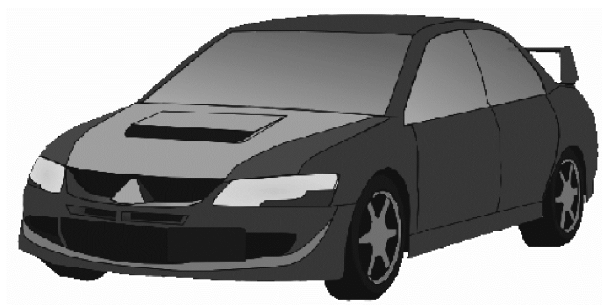


Bogdan ŻÓŁTOWSKI



BADANIA ZAGROŻEŃ UTRATY ZDATNOŚCI ŚRODOWISKOWYCH SYSTEMÓW TECHNICZNYCH

...wielkie umysły myślą podobnie...



...są książki, których grzbiety i okładki
stanowią często najlepszą ich część...

LITERATURA

- [1] Cempel C., 1982. Podstawy wibroakustycznej diagnostyki maszyn. WNT Warszawa.
- [2] Cempel C., 2010. Nowoczesne zagadnienia metodologii i filozofii badań, ITE Radom.
- [3] Cempel C., 2012. Inżynieria kreatywności w projektowaniu innowacji, ITE Radom.
- [4] Cholewa W. i in., 1992. Diagnostyka techniczna maszyn. Pol. Śl. Gliwice.
- [5] Engel Z., 1993. Ochrona środowiska przed drganiami i hałasem. PWN Warszawa.
- [6] Girtler J., 2008. Energetyczny aspekt diagnostyki maszyn. Diagnostyka 1(45). Wyd. Polskie Towarzystwo Diagnostyki Technicznej. Warszawa, 149-156.
- [7] Jaźwiński J. i in., 1993. Bezpieczeństwo systemów. PWN Warszawa..
- [8] Michalski R. 2004. Diagnostyka uszkodzeń maszyn roboczych. ITE Radom.
- [9] Niziński S., 2002. Eksploatacja obiektów technicznych. ITE Radom.
- [10] Niziński S., Michalski R.: Diagnostyka obiektów technicznych. ITE. Radom.
- [11] Niziński S., Żółtowski B., 2001. Informatyczne systemy zarządzania eksploatacją obiektów technicznych. MARKAR-B.Ż. Bydgoszcz.
- [12] Niziński S., Żółtowski B., 2002. Zarządzanie eksploatacją obiektów technicznych za pomocą rachunku kosztów. MARKAR-B.Ż. Olsztyn – Bydgoszcz.
- [13] Tylicki H., Żółtowski B., 2012. Genezowanie stanu maszyn. ITE-PIB Radom.
- [14] Tylicki H., Żółtowski B., 2010. Rozpoznawanie stanu maszyn. ITE-PIB Radom.
- [15] Tylicki H., Żółtowski B., 2005. Terra – technologia eksploatacji wybranych układów pojazdów mechanicznych. Wyd. PWSZ Piła.
- [16] Tylicki H., Żółtowski B., 2011. Urządzenia elektryczne pojazdów samochodowych. Wyd. PWSZ Piła.
- [17] Uhl T., 1997. Komputerowo identyfikacja konstrukcji mechanicznych. WNT Warszawa.
- [18] Żółtowski B., 1995. Diagnostowanie silnika wysokoprężnego. ITE Radom.
- [19] Żółtowski B., 1996. Podstawy diagnostyki maszyn. Wyd. Uczeln. ATR Bydgoszcz.
- [20] Żółtowski B., 2002. Badania dynamiki maszyn. Wyd. Uczeln. ATR Bydgoszcz.
- [21] Żółtowski B., 2012. Metody inżynierii wirtualnej w badaniach stanu, zagrożeń bezpieczeństwa i środowiska eksploatowanych maszyn. UTP Bydgoszcz.
- [22] Żółtowski B., 2011. Podstawy diagnozowania maszyn. Wyd. Uczeln. UTP Bydgoszcz.
- [23] Żółtowski B., Castaneda Heredia L.F., 2009. Badania pojazdów szynowych. Transport. Wydawnictwo UTP Bydgoszcz.
- [24] Żółtowski B., Castaneda Heredia L.F., 2009. Estudio de explotación de vehículos ferroviarios. EAFIT University Colombia.
- [25] Żółtowski B., Castaneda Heredia L.F., 2010. Bases del diagnostico tecnico de maquinas. EAFIT University Colombia.
- [26] Żółtowski B., Cempel C., 2004. Inżynieria diagnostyki maszyn. PTDT, ITE-PIB.
- [27] Żółtowski B., Ćwik Z., 1996. Leksykon diagnostyki technicznej. Wyd. Uczeln. ATR Bydgoszcz.

- [28] Żółtowski B., Józefik W., 1996. Diagnostyka techniczna elektrycznych urządzeń przemysłowych. Wyd. Uczeln. ATR Bydgoszcz.
- [29] Żółtowski B., Kwiatkowski K., 2012. Zagrożone środowisko. Wyd. Uczeln. UTP Bydgoszcz.
- [30] Żółtowski B., Landowski B., Przybyliński B., 2012. Projektowanie eksploatacji maszyn. ITE-PIB Radom.
- [31] Żółtowski B., Łukasiewicz M., 2005. Wibroakustyka maszyn w laboratorium. Wyd. Uczeln. ATR Bydgoszcz.
- [32] Żółtowski B., Łukasiewicz M., Kałaczyński T., 2012. Techniki informatyczne w badaniach stanu maszyn. Wyd. Uczeln. UTP Bydgoszcz.
- [33] Żółtowski B., Łukasiewicz M., 2012. Diagnostyka drganiowa maszyn. ITE-PIB Radom.
- [34] Żółtowski B., Niziński S., 2010. Modelowanie procesów eksploatacji. ITE-PIB Radom.
- [35] Żółtowski B., Wilczarska J., 2010. Mikroekonomia eksploatacji i diagnostyki maszyn. ITE-PIB Radom.
- [36] Żółtowski M., 2011. Informatyczne systemy zarządzania w inżynierii produkcji. ITE Radom.
- [37] Żółtowski M., 2011. Komputerowe wspomaganie zarządzania systemem eksploatacji w przedsiębiorstwie. Oficyna Wydawnicza PTZP Opole.

...wybieraj pisarza, jakbyś wybierał przyjaciela...

9. PODSUMOWANIE

Problematyka podjęta w tej publikacji dotyczy zagadnień z obszaru doskonalenia eksploatacji maszyn, bezpiecznej dla użytkownika i środowiska oraz wspieranej dokonaniami teorii zarządzania i technikami informacyjnymi. Destrukcja stanu maszyn wymusza na użytkowniku wiele różnych działań w zakresie utrzymania stanu zdolności maszyny, co jest możliwe przy wsparciu metodami i środkami diagnostyki technicznej.

Przedstawione w pracy problemy badawcze stanowią podstawę dokonań realizacji projektu badawczego z obszaru badań systemów technicznych (maszyn) w zakresie oceny stanu ich zdolności oraz oceny zagrożeń bezpieczeństwa i środowiska ze strony użytkowanych złożonych maszyn krytycznych. Wspieranie takich działań elementami teorii zarządzania i dostępnymi komercyjnie lub opracowywanymi w zespołach badawczych, specjalizowanymi narzędziami wirtualnymi stwarzają nowe perspektywy doskonalenia systemów eksploatacji współczesnych maszyn w przemyśle.

Zadania tak sformułowane, szczegółowo przedstawione w tej książce, stanowią główny cel projektu badawczego, realizowanego pod nazwą: „Badania zagrożeń utraty zdolności środowiskowych systemów technicznych”. Projekt ten zrealizowano w ramach projektu badawczego (projekt własny) Narodowego Centrum Nauki. Przedstawione w tej pracy dokonania stanowią o zakresie badań i dokonań w projekcie nr 4832/T02/2010/39.

Projekt zrealizowany został głównie przez pracowników Zakładu Pojazdów i Diagnostyki, Wydziału Inżynierii Mechanicznej UTP w Bydgoszczy. Przy jego realizacji brali udział także pracownicy Wydziału Zarządzania UTP, PWSZ w Pile, EAFIT University w Kolumbii, PG, BSW – oraz przedstawiciele przedsiębiorstw gospodarczych województwa kujawsko-pomorskiego.

Omówiono główne zadania badawcze projektu, wybrane (ważne) treści merytoryczne dokonań projektu oraz przedstawiono zespół realizujący zadania główne projektu. Wiele miejsca poświęcono prezentacji wybranych problemów badawczych oraz utworzonych stanowisk badawczych dla potrzeb realizowanych zagadnień w ramach projektu. Precyzyjne zadania projektu i dotychczasowe efekty wskazują na możliwości realizacji podobnych badań z zakresu wykorzystania technik wirtualnych w badaniach stanu zagrożeń bezpieczeństwa i środowiska eksploatowanych maszyn w przedsiębiorstwach.

„Od informacji - do innowacji” – powiedzenie to pobudza do twórczego działania, które w przyszłości na pewno zaowocuje skutecznymi innowacyjnymi rozwiązaniami, doskonalącymi zastosowania inżynierii wirtualnej w obszarach życia obiektów.

Tego w zakończeniu wszystkim związanym z tematyką projektu życzą naukowcy i studenci-wykonawcy projektu.



Prof. dr hab. inż. **Bogdan ŻÓŁTOWSKI** – WIM, UTP, BYDGOSZCZ

Współautorzy opracowania zbiorowego:

Dr inż. **Tomasz KAŁACZYŃSKI** – UTP, WIM Bydgoszcz

Dr inż. **Bolesław PRZYBYLIŃSKI** – UTP, WIM Bydgoszcz

Dr inż. **Marcin ŁUKASIEWICZ** – UTP, WIM Bydgoszcz

Dr inż. **Mariusz ŻÓŁTOWSKI** – UTP, WZ Bydgoszcz

BADANIA ZAGROŻEŃ UTRATY ZDATNOŚCI ŚRODOWISKOWYCH SYSTEMÓW TECHNICZNYCH

Ochrona środowiska naturalnego, zagrożenia bezpieczeństwa, a także utrzymanie złożonych systemów technicznych w stanie zdatności są jednymi z najważniejszych zadań przed jakimi stanął człowiek u progu XXI wieku. Dostępne techniki informacyjne, a szczególnie techniki inżynierii wirtualnej stanowią o ogromnych możliwościach pozyskiwania, akwizycji i przetwarzania informacji z wielu obszarów badań systemów technicznych.

Rozsądne potraktowanie ważnych zagadnień z obszaru procesów degradacji stanu maszyn i wpływu uszkodzeń na ich zdatność zadaniową, a także na człowieka i otoczenie decydują o zakresie zrealizowanych prac badawczych, pokrótce opisanych w tej pracy.

Zmiany stanu zdatności, źródła emisji szkodliwych związków chemicznych i ich destruktywne działanie na środowisko naturalne z uwzględnieniem globalnych zagrożeń jest ciągle rozpoznawane i doskonalone w różnych programach badawczych. Przedstawione w pracy zagadnienia stanowią o zakresie badań i dokonań w projekcie *nr 4832/T02/2010/39*.

Recenzent: prof. dr hab. inż. **Jerzy GIRTLE**R – PG Gdańsk
prof. dr hab. inż. **Wiesław PIEKARSKI** – UP Lublin

© Copyright by **Bogdan ŻÓŁTOWSKI**, 2013 r.

© Copyright by *Wydawnictwa Uczelniane*

Uniwersytetu Technologiczno-Przyrodniczego, 2013 r.

Wydawnictwo dofinansowane ze środków projektu nr 4832/T02/2010/39
pt.: „Badania zagrożeń utraty zdatności środowiskowych systemów technicznych”
finansowanego przez NCN.

Cytaty zaczerpnięto z wielu dostępnych ksiąg cytatów

Wydawnictwa Uczelniane Uniwersytetu Technologiczno-Przyrodniczego
Redaktor Naczelny – prof. dr hab. inż. Józef Flizikowski

ul. Ks. A. Kordeckiego 20, 85-225 Bydgoszcz, tel. 52 3749482, 52 3749426
e-mail: wydawucz@utp.edu.pl <http://www.wu.utp.edu.pl>

Wyd. I. Nakład 56 egz. Ark. aut. 12,2. Ark. druk. 11,4.
Zakład Małej Poligrafii UTP Bydgoszcz, ul. Ks. A. Kordeckiego 20

SPIS TREŚCI

1. WPROWADZENIE	5
2. PROBLEMATYKA EKSPLOATACJI MASZYN	7
2.1. Destrukcja stanu maszyny	8
2.2. Wybrane zagadnienia eksploatacji maszyn	11
2.3. Techniki informacyjne w eksploatacji maszyn	17
2.4. Zagrożenia środowiska	21
2.5. Projektowanie bezpiecznej eksploatacji maszyn	25
2.6. Zarządzanie w eksploatacji maszyn	27
3. SPECYFIKACJA ZAGADNIEŃ BADAWCZYCH	34
3.1. Zadanie badawcze	34
3.2. Tematyka projektu w badaniach życia maszyny	46
3.3. Wykaz publikacji w projekcie	48
3.4. Promocja dokonań projektu	50
3.5. Aparatura naukowo-badawcza	51
3.6. Oferta naukowo-badawcza	52
3.7. Sukcesy badań	60
4. RYZYKO I BEZPIECZEŃSTWO MASZYN	64
4.1. Uwarunkowania prawne bezpieczeństwa maszyn	64
4.2. Metody i środki zapewnienia bezpieczeństwa maszyn	67
4.3. Ryzyko w eksploatacji maszyn	70
4.4. Projektowanie bezpieczeństwa eksploatacji maszyn	73
5. UTRZYMANIE ZDATNOŚCI MASZYN	79
5.1. Rola służb utrzymania ruchu	80
5.2. Techniki informacyjne w utrzymaniu ruchu maszyn	83
5.3. Oprogramowanie utrzymania ruchu	86
5.4. Oprogramowanie cyklu życia produktu	91

6. NARZĘDZIA OCENY STANU MASZYN	104
6.1. Uwarunkowania badań degradacji stanu	105
6.2. Procedury badania stanu maszyn	108
6.3. Produkty LMS	113
6.4. System ViBEX, Vibstand.....	121
6.5. DSD w rozpoznawaniu stanu	126
7. DIAGNOSTYKA WYBRANYCH OBIEKTÓW	133
7.1. Badania linii produkcyjnej świetlówek	133
7.2. Badania stanu linii do przerobu odpadów	140
7.3. Badania stanu siłowni wiatrowej.....	145
7.4. Badania systemów wentylacyjnych	150
7.5. Badania degradacji skrzyni przekładniowej	154
8. ANALIZA STATYSTYCZNA DANYCH	159
8.1. Techniki informacyjne i statystyka	159
8.2. Metody selekcji informacji	161
8.3. Modelowanie przyczynowo-skutkowe	167
8.4. SIBI – system informatyczny badań identyfikacyjnych	170
9. PODSUMOWANIE.....	179
LITERATURA	180

...najszybciej robi się coś samodzielnie...

1. WPROWADZENIE

Przeobrażenia, jakie w ostatnich latach dokonały się w gospodarce narodowej oraz standardy obowiązujące w świecie, stwarzają szereg nowych problemów natury organizacyjnej, technicznej i technologicznej. Rozstrzygającą rolę zaczyna odgrywać jakość konstrukcji maszyn przeliczona na efektywność ekonomiczną.

Patrząc na dzisiejszy świat i ludzi go zamieszkujących, ich otoczenie i środowisko, wszędzie widać efekty twórczego działania zmieniające stan zastany na lepszy. Zdolności kreatywne i twórcze ma każdy człowiek, a myślenia, wiedzy i umiejętności można nauczać. Dla krajów wchodzących z wolną w gospodarkę wiedzy przechodzącą w innowacje produktowe, technologiczne, procesowe, organizacyjne i rynkowe zdolności te są niezwykle ważne. Całość aktywności twórczej obejmuje *myślenie twórcze*, które pozwala rozwiązywać problemy, *myślenie kreatywne* umożliwiające wczesne zauważenie problemów oraz *innowacje* (produktowe, technologiczne, zarządcze) traktowane jako idea, praktyka lub produkt odbierany jako nowość przez użytkowników.

Kreatywność, twórczość oraz innowacje w rozwoju cywilizacji spowodowały, że człowiek przestał być myśliwym i zbieraczem. Na przestrzeni wieków historii zdobycze ludzkiej kreatywności kumulują się, cywilizacja rozprzestrzenia się i staje się wielowymiarowa. Pojawia się zatem potrzeba rozwiązywania nowych problemów: naukowych, technicznych, organizacyjnych i społecznych.

Twórcze – to nowe i cenne...

Ochrona środowiska naturalnego, ryzyko i zagrożenia bezpieczeństwa, a także utrzymanie zdolności złożonych systemów technicznych w czasie ich eksploatacji są jednymi z najważniejszych zadań realizowanych w badaniach projektu, którego dokonania opisano w tej pracy.

Narzędziem umożliwiającym ocenę jakości zmian stanu konstrukcji maszyn są metody i środki diagnostyki technicznej stosowane już na etapie oceny jakości konstrukcji (badania prototypu), jak i podczas eksploatacji (badania ewolucji stanu).

Zagadnienia poprawnego wykorzystania informacji do bezdemontażowej oceny stanu degradacji maszyn stanowią o problematyce projektu, gdzie do zagadnień głównych należą: badanie dynamiki konstrukcji (eksperymenty identyfikacyjne), ewolucja zmian stanu maszyny, rozpoznawanie stanu maszyny (do modułu), optymalizacja dostępnych rozwiązań oraz praktyczne aspekty monitorowania zmian stanu modułów maszyny (dedykowany system diagnostyczny).

Zakres merytoryczny przedstawionego projektu wychodzi naprzeciw tej potrzebie, skupiając się szczególnie na problematyce projektowania modułowego i wykorzystania elementów nowoczesnych narzędzi informacyjnych oraz wirtualnych w monitorowaniu stanu degradacji obiektów technicznych.

Złożoność problematyki projektu zakreślono w obszarach: eksploatacji maszyn, kształtowania ryzyka i bezpieczeństwa maszyn, utrzymania zdolności maszyn, narzędzi oceny stanu degradacji maszyn, diagnozowania stanu destrukcji maszyn oraz narzędzi informacyjnego i statystycznego wspomagania opracowania wyników badania stanowiskowego oraz przemysłowego.

Projekt realizowany został głównie przez pracowników Zakładu Pojazdów i Diagnostyki, Wydziału Inżynierii Mechanicznej UTP, wspólnie z pracownikami Wydziału Zarządzania UTP, PWSZ w Pile, EAFIT University w Kolumbii oraz w ścisłej współpracy z podmiotami gospodarczymi naszego województwa kujawsko-pomorskiego.



Projekt był finansowany ze środków NCN. Zrealizowany został przez zaprezentowany zespół badawczy i skierowany jest do wszystkich, którzy zamierzają wdrażać innowacyjne projekty związane z badaniami i rozwojem, nowoczesnymi technologiami oraz inwestycjami o dużym znaczeniu dla gospodarki.

Tematyka badań zespołu dotyczy opracowania systemów monitorowania stanu degradacji maszyn oraz oceny zagrożeń bezpieczeństwa i środowiska ze strony użytkowanych maszyn. Podstawą takich działań są dostępne komercyjnie i opracowywane w zespołach badawczych specjalizowane narzędzia wirtualne oraz programy komputerowe do realizacji takich zadań.

„Od informacji – do innowacji” – powiedzenie to inspiruje do twórczego działania, które w przyszłości na pewno zaowocuje skutecznymi innowacyjnymi rozwiązaniami, doskonalącymi zastosowania inżynierii wirtualnej w obszarach życia obiektów.

Bydgoszcz, Osielesko wrzesień 2013

Bogdan ŻÓŁTOWSKI

...każda praca jest w początkach trudna...

2. PROBLEMATYKA EKSPLOATACJI MASZYN

Nauka zmierza do identyfikacji otaczającej nas rzeczywistości, tworząc nową wiedzę jako wynik badań poznawczych, innowacyjnych i twórczych. Z tego rosnącego zasobu wiedzy i umiejętności społecznej czerpie szeroko podsystem inżynierii eksploatacji, z całą gamą środków wsparcia informatycznego w badaniach, wytwarzaniu i użytkowaniu, coraz bardziej mechatronicznych produktów i usług, łącznie z rodzącą się inżynierią wirtualną, sięgającą z wolna po symulację przebiegu całego cyklu życia produktu i usługi.

Patrząc na obecne trendy rozwojowe maszyn trzeba uznać, że współcześnie ich jakość zawarta jest głównie w sferze automatyzacji i miniaturyzacji. Zakres badań w dziedzinie metodologii badania stanu maszyn aktualnie obejmuje takie zagadnienia, jak: modelowanie stanu dynamicznego, źródła informacji, sygnały i symptomy stanu, zasady szczegółowych metod identyfikacji, eksperymenty diagnostyczne, wspomaganie badań technologiami informatycznymi oraz organizacyjne i ekonomiczne aspekty utrzymania maszyn w stanie zdadności w różnych strategiach eksploatacji.

System techniczny jako zbiór obiektów związanych zależnościami funkcjonalnymi tworzących złożoną całość ma określony cel działania. Określenie celu pozwala na jego ocenę opierając się na zdefiniowanych cechach, takich jak: stan techniczny obiektów (składników), niezawodność, jakość zaspokojenia potrzeb, funkcjonalność, efektywność, obsługiwalność, diagnozowalność. Do najważniejszych miar wskazujących jak dobrze system techniczny realizuje cel działania zaliczyć można niezawodność, efektywność funkcjonalną i ekonomiczną oraz bezpieczeństwo.

Podstawowym kryterium budowania w przedsiębiorstwie systemu eksploatacji składającego się z maszyn i urządzeń jest zapewnienie im niezawodności działania w różnych warunkach środowiska pracy. Dlatego też tak ważnym jest rozpoznanie i celowe prowadzenie działań zapobiegawczych, zmniejszających ryzyko wystąpienia awarii w ramach systemu obsług technicznych maszyn i urządzeń w procesie ich eksploatacji. Pomocne w tych działaniach mogą być przyjmujące wartości z przedziału (0, 1) wskaźniki: użytkowania, rezerwowania, oczekiwania, przestoju, obsługiwanego, zdadności (gotowości technicznej) oraz niezdadności.

Jako kryterium efektywności funkcjonowania systemu technicznego w eksploatacji można przyjąć kategorie oceny jakości oraz szereg określeń oceny ekonomicznej. Kryterium jakościowym funkcjonowania systemu są parametry niezawodnościowe w odniesieniu do poszczególnych jego podsystemów oraz wskaźniki niezawodnościowe eksploatowanego parku maszynowego. Efektywność rozumiana jest często jako spełnienie określonych wymagań stawianych ocenianemu obiektowi przez podmiot oceniający. Kryteria ekonomiczne dotyczą oceny kosztów przedsiębiorstwa powstałych wskutek przebywania maszyn w systemie oraz kosztów poniesionych wskutek niewykonania w ściśle określonym terminie przewidzianych zadań w systemie. Efektywność ekonomiczna winna wynikać z takiego doboru struktury układu i ich parametrów, który sprawi, że zaspokojone zostaną wszelkie potrzeby we wszystkich stanach eksploatacyjnych, jednocześnie szeroko pojęte nakłady inwestycyjne i koszty eksploatacyjne będą jak najmniejsze.

2.1. DESTRUKCJA STANU MASZYN

Procesy destrukcji systemów technicznych wpływające na bezpieczeństwo ruchu wymuszają potrzebę nadzorowania zmian ich stanu technicznego [1, 3, 6, 7, 12, 15, 17, 19, 26]. Powszechnie obserwuje się wzrost zainteresowania problemami pozyskiwania informacji z badań dla potrzeb nowoczesnego konstruowania, wytwarzania i eksploatacji maszyn. Wzrost wymagań niezawodnościowych wraz z zastosowaniem wielu obiektów w nowych dziedzinach życia (zarządzanie, medycyna) spowodował rozwój komputerowych urządzeń diagnostycznych, umożliwiających detekcję i lokalizację uszkodzeń wraz z generowanymi decyzjami eksploatacyjnymi, ustalonymi za pomocą metod sztucznej inteligencji.

Do jakościowych miar stanu dynamicznego maszyny, czyli jej dynamiczności zalicza się poziom amplitud drgań (rys. 2.1) zarówno maszyn jako całości, jak również drgań względnych poszczególnych elementów i części. Drgania całościowe maszyny można uznać za objaw zewnętrzny, gdyż one są odpowiedzialne za poziom zakłóceń emitowanych w otoczenie. Drgania względne rzutują natomiast na poziom amplitud naprężeń dynamicznych. Z uwagi na istotny związek poziomu naprężeń dynamicznych z trwałością maszyny, dogodnie jest przyjąć je za odrębną miarę destrukcji maszyny [1, 8, 15, 25, 32, 34, 36, 37].



Rys. 2.1. Dynamika a drgania maszyn

Dynamika jest nauką o tym, jak rzeczy zmieniają się w czasie i o siłach, które są przyczyną tych zmian [17, 19, 20, 26]. Celem studium dynamiki układu jest zrozumienie zasad funkcjonowania, zmian stanu obciążeń dynamicznych i przewidywanie poprawnego zachowania się układu. Wraz ze wzrostem wartości obciążeń, zwiększeniem wymagań dotyczących trwałości i niezawodności rośnie znaczenie analizy dynamiki konstrukcji. Analiza dynamiki układu składa się z następujących etapów [4, 17, 20]:

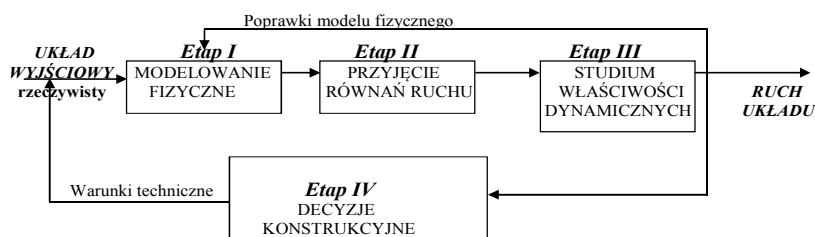
- **etap I** – dokładne określenie układu, jego istotnych cech i **budowa modelu fizycznego**, którego własności dynamiczne będą w dostatecznym stopniu zgodne z własnościami rzeczywistego obiektu,
- **etap II** – analityczny opis zjawisk dynamicznych odzwierciedlanych modelem fizycznym, czyli znalezienie **modelu matematycznego** – równań różniczkowych opisujących ruch modelu fizycznego,
- **etap III** – przestudiowanie własności dynamicznych modelu na podstawie **rozwiązania równań różniczkowych ruchu**, ustalenie przewidywanego ruchu układu,
- **etap IV** – **podjęcie decyzji projektowych**, tj. przyjęcie fizycznych parametrów układu, z modernizacją przystosowaną do oczekiwania. Synteza i optymalizacja prowadząca do osiągnięcia wymaganych własności dynamicznych konstrukcji.

Przedstawiona procedura (rys. 2.2) opiera się na znajomości modelu układu, a wnioski płynące z działań na modelach zależą od ich jakości. Budową modeli zajmuje się identyfikacja, która utożsamia systemy rzeczywiste z ich modelami. W zależności od celu prowadzonej analizy dynamicznej obiektu stawia się różne wymagania budowanym modelom, a ich ocenę przeprowadza się różnymi metodami eksperymentalnymi.

Rzeczywistości techniczna to wynik analizy modeli, które ją mniej lub bardziej poprawnie opisują. Proces, którego celem jest zbudowanie najlepszego modelu operacyjnego (matematycznego lub empirycznego) nazywany jest procesem identyfikacji. Identyfikacja może dotyczyć zarówno budowy modeli obiektu, jak i odtworzenia stanu badanego obiektu, co prowadzi wprost do problematyki diagnostyki technicznej.

Proces identyfikacji diagnostycznej obejmuje [1, 6, 17, 20, 32]:

- * modelowanie (symptomowe lub strukturalne),
- * eksperyment identyfikacyjny (symulacyjny i/lub rzeczywisty),
- * estymację parametrów diagnostycznych (cech stanu lub symptomów),
- * wnioskowanie diagnostyczne.



Rys.2.2. Etapy studium dynamiki układu

Istniejące metody identyfikacji można podzielić na metody identyfikacji własności statycznych i dynamicznych. Metody identyfikacji można podzielić ze względu na: rodzaj identyfikowanego modelu, rodzaj eksperymentu, zastosowane kryterium identyfikacji, czy też zastosowaną procedurę estymacji. W ogólności są to metody: analityczne, czasowe, częstotliwościowe, korelacyjne, regresyjne, analizy czynnikowej i iteracyjne, omówione w pracach wielu autorów [6, 17, 20, 33, 36].

Dla obiektów prostych dobrym narzędziem oceny zmieniającego się ich stanu dynamicznego są metody identyfikacji prostej, wykorzystujące widmo amplitudowo-częstotliwościowe. Innym sposobem opisu i analizy stanu dynamicznego jest analiza modalna, stosowana jako teoretyczna, eksperymentalna i eksploatacyjna analiza modalna. Wykorzystuje ona częstości drgań własnych i postacie drgań do opisu zmieniającego się stanu maszyn oraz służy do doskonalenia metody elementów skończonych.

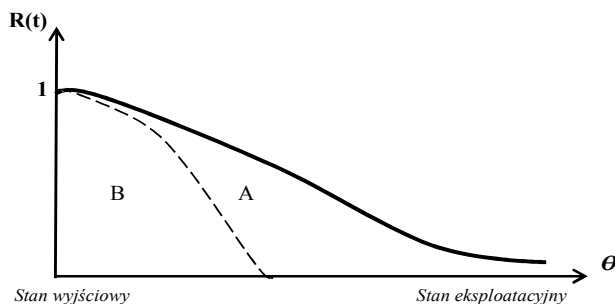
Procesy dynamiczne zachodzące w maszynach są szczególnie istotne przy ocenie stanu wyjściowego, ale też są decydujące w degradacji stanu maszyn w eksploatacji. Dynamika staje się więc podstawą diagnostyki technicznej, umożliwiającej opis i badania rozwoju uszkodzeń odzwierciedlających zmiany stanu maszyn w eksploatacji.

Uszkodzenie jest jednym z istotnych zdarzeń występujących w procesie użytkowania maszyn, determinującym niezawodność maszyn, efektywność ich wykorzystania, proces obsługiwań technicznych, a także zakres potrzeb diagnostyki technicznej. Najogólniej, pojęcie uszkodzenia maszyny zdefiniować można jako zdarzenie polegające na przejściu maszyny (zespołu, elementu) ze stanu zdatności do stanu niezdatności. Przez stan zdatności rozumie się taki stan maszyny, w którym spełnia ona wyznaczone funkcje i zachowuje parametry, określone w dokumentacji technicznej. Przez stan niezdat-

ności rozumie się natomiast stan maszyny, w którym nie spełnia ona chociażby jednego z wymagań, określonych w dokumentacji technicznej.

W inżynierii mechanicznej rozwijająca się **diagnostyka techniczna** opierająca się głównie na wykorzystaniu informacji o zmieniającym się stanie maszyn potrafi nadzorować postępującą **destrukcję maszyny w całym cyklu** jej życia. Zmiany stanu – odwzorowane metodami diagnostyki technicznej – zapobiegają przyczynom i skutkom uszkodzeń.

Stan początkowy maszyny ulega procesowi ewolucyjnej destrukcji (rys. 2.3) wskutek zmęczenia materiałów konstrukcyjnych, nadmiernych obciążeń, zużycia wskutek tarcia (luzy) itp. Do najbardziej obciążonych należą węzłowe elementy maszyn (np. łożyska), zespoły robocze (np. uderowe elementy wykonawcze), elementy układu napędowego (np. przekładnie zębate). Obniżenie ich trwałości może wystąpić w wyniku ewolucyjnego procesu destrukcji lub w wyniku chwilowych przeciążeń. Może to spowodować ich uszkodzenie i doprowadzić do katastrofy systemów technicznych, w których są one instalowane.



Rys. 2.3. Krzywe degradacji stanu maszyny

Nowa maszyna musi być tak skonstruowana, musi mieć tak dobrane materiały, aby nie nastąpiło jej szybkie uszkodzenie. Stan wyjściowy musi być na tyle dobry, aby maszyna miała zapewniony jak najdłuższy czas działania w pełnej zdolności. Przejście maszyny ze stanu zdolności w stan niezdolności może jednak następować zarówno w czasie pracy maszyny jak i postoju lub magazynowania.

Niewątpliwie nowa maszyna musi spełniać szereg kryteriów, aby była funkcjonalna, bezpieczna, praktyczna przy zastosowaniu najnowocześniejszych technologii, przy użyciu jak najmniejszych kosztów [21, 34, 32].

Na skutek oddziaływania otoczenia oraz realizacji przez obiekt stawianych mu zadań początkowe własności obiektu mogą ulegać zmianie, co odzwierciedli się w zmianie wartości początkowych cech mierzalnych oraz ewentualnie w zmianie stanu cech niemierzalnych. Uszkodzenia maszyn w toku eksploatacji mogą zachodzić:

- wskutek nieodwracalnych procesów starzeniowych i zużyciowych,
- w wyniku procesów odwracalnych o różnej intensywności przebiegu, wywołanych przez czasowe przekroczenia dopuszczalnych wartości czynników wymuszających,
- w sposób skokowy, polegający na nieciągłym przejściu cech stanu poza granice dopuszczalne dla danej maszyny.

Procesy destrukcji systemów technicznych wymuszają potrzebę nadzorowania zmian ich stanu, co jest możliwe przy wykorzystaniu metod i środków diagnostyki tech-

nicznej. Wyniki badania stanu maszyn stanowią podstawę podejmowanych decyzji na wszystkich etapach ich istnienia. Rozpoznawanie stanu maszyny powinno umożliwić:

- określenie stanu maszyny (**ocena stanu**) w czasie bieżącym na podstawie wyników badań diagnostycznych, co umożliwia kontrolę stanu i lokalizację uszkodzeń w przypadku stanu niezdatności maszyny,
- przewidywanie przyczyn zaistniałego stanu maszyny (**genezowanie stanu**) w czasie przeszłym na podstawie niepełnej historii wyników badań diagnostycznych, co umożliwia oszacowanie stanu maszyny lub wartości pracy wykonanej przez nią w przeszłości,
- przewidywanie stanu maszyny w czasie przyszłym (**prognozowanie stanu**) na podstawie wyników badań diagnostycznych, co umożliwia oszacowanie czasu niezadnego użytkowania maszyny lub wartości wykonanej przez nią w przyszłości pracy.

2.2. WYBRANE ZAGADNIENIA EKSPLOATACJI MASZYN

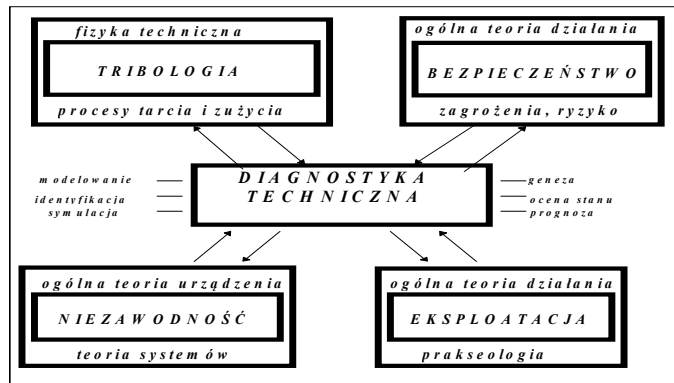
Rozwijająca się dynamicznie dyscyplina wiedzy dotycząca eksploatacji maszyn oparta jest na podstawach wielu nauk, do których jako główne zalicza się: **teorię eksploatacji, niezawodność, tribologię, diagnostykę techniczną i bezpieczeństwo**.

Teoria eksploatacji zajmuje się syntezą, analizą i badaniem systemów eksploatacji, a w szczególności zagadnieniami procesów użytkowania i obsługiwań technicznych maszyn. Z definicji eksploatacji postrzeganej wśród innych nauk (rys. 2.4), wynika zakres oczekiwanych, merytorycznych umiejętności, które można przedstawić jako [9, 15, 26, 30]:

- a) **kierowanie eksploatacją**, a w tym kontrolowanie procesów eksploatacyjnych oraz dobieranie, motywowanie, instruowanie i szkolenie eksploatorów,
- b) **formułowanie zadań projektowych**, wytycznych zakupu i warunków dostawy, dotyczących obiektów technicznych – przyszłych obiektów eksploatacji,
- c) **projektowanie i organizowanie systemów eksploatacji**, a w tym wyznaczanie warunków eksploatacji optymalnej,
- d) **identyfikowanie stanów** technicznych maszyn i stanów ich systemów eksploatacji,
- e) **identyfikowanie cech systemów eksploatacji**, a w tym – ich wartości,
- f) **określanie, wyznaczanie i ocenianie sprawności** systemu eksploatacji,
- g) **określanie, wyznaczanie i ocenianie ryzyka** i szans eksploatacji,
- h) **dobieranie technologii** eksploatacji i organizowanie usług serwisowych.

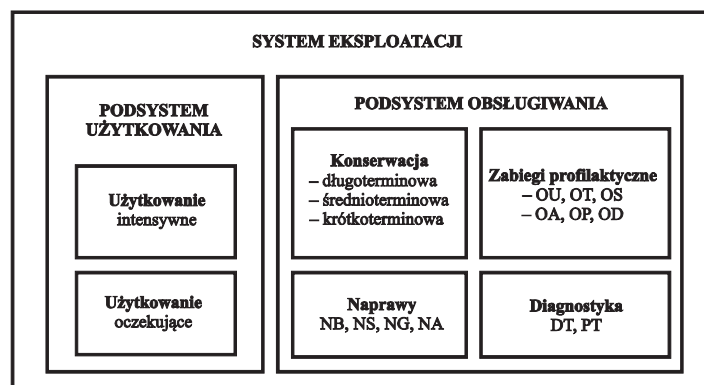
Ta charakterystyka umiejętności w zakresie inżynierii eksploatacji określa **zadania teorii eksploatacji**, która winna wypracowywać i doskonalić następujące metodyki:

- a) projektowania i organizowania systemów eksploatacji,
- b) analizy ryzyka i szans przedsięwzięć eksploatacyjnych,
- c) planowania strategicznego eksploatacji,
- d) kierowania eksploatacją i sterowania procesami eksploatacji,
- e) analizy ekonomicznej eksploatacji,
- f) badań eksploatacyjnych,
- g) opracowywania treści i technik instrukcji eksploatacyjnych,
- h) motywowania eksploatorów.



Rys. 2.4. Struktura powiązań nauki o eksploatacji z innymi

W systemie eksploatacji maszyn jako główny zawsze traktowany jest **podsystem użytkowania** i nieodłącznie z nim związany **podsystem obsługiwań technicznych** – rysunek 2.5. W podsystemie użytkowania znajdują się tylko maszyny **zdatne** i mogą one być użytkowane intensywnie (zgodnie z przeznaczeniem) lub wyczekująco, kiedy trwa postój na zapotrzebowanie do użycia. Każda **niezdatność** powoduje przejście maszyny do podsystemu obsługiwań technicznych



Rys. 2.5. Struktura systemu eksploatacji

W tym podsystemie wyróżnia się:

- **podsystem zabiegów profilaktycznych**; obsługiwane w dniu użytkowania (OU), obsługiwane po określonym przebiegu pracy (OT), obsługiwane sezonowe (OS), obsługiwane powypadkowe (OA), obsługiwane uprzedzające (OP), okresu docierania (OD) itd.,
- **podsystem rozpoznania stanu i pomocy technicznej**; diagnostyka techniczna (DT), rozpoznanie i pomoc techniczna (PT),
- **podsystem napraw**; naprawa bieżąca (NB), naprawa średnia (NS), naprawa główna (NG), naprawa poawaryjna (NA) itd.,
- **podsystem konserwacji**; krótkoterminowa (KK), średnioterminowa (KS), długoterminowa (KD).

Zadaniem podsystemu obsługiwań technicznych jest usunięcie niezdatności lub wykonanie niezbędnie koniecznych czynności obsługowych (zalecanych przez wytwórcę). Kierownictwo zakładu, prowadzi politykę eksploatacyjną polegającą na sterowaniu stanem zdatności maszyn, aby uzyskiwać optymalne efekty. Kryterium optymalizacyjnym jest w tym przypadku koszt eksploatacyjny, rozumiany jako suma uogólnionych nakładów na użytkowanie i obsługiwanie.

Strategia eksploatacyjna sterująca racjonalnym wykorzystaniem maszyn i urządzeń technicznych polega na ustaleniu sposobów prowadzenia użytkowania i obsługiowania oraz relacji między nimi w świetle przyjętych kryteriów, co w sposób ogólny zapewnia struktura systemu eksploatacji maszyn [9, 21, 30].

Znane są następujące **strategie eksploatacji maszyn** [9, 30]:

I Prewencyjne strategie eksploatacji

II Potencjałowe strategie eksploatacji

- według niezawodności,
- według efektywności ekonomicznej,
- według ilości wykonanej pracy, albo planowo-zapobiegawcze,
- mieszane, a więc planowo-zapobiegawcze z diagnozowaniem,
- według stanu technicznego,
- strategia tolerowanych uszkodzeń.

Prewencyjne strategie eksploatacji

Ograniczenie się do przeprowadzania obsługiwań tylko po uszkodzeniu elementu (obiektu technicznego) prowadzi najczęściej do dużych kosztów ekonomicznych. W związku z tym opracowuje się różne strategie prowadzenia usług profilaktycznych polegających na tym, że wykonywane są one przed i po uszkodzeniu obiektu. Obsługę w przypadku, gdy element (obiekt techniczny) jest sprawny nazwano **prewencyjną**, zaś w przypadku awarii – obsługą **korekcyjną** [9, 21]. Momenty czasowe przeprowadzenia usług prewencyjnych zależą od wielu czynników – przede wszystkim od struktury niezawodnościowej obiektu zawierającego jako składnik elementy, które planuje się poddawać usługom profilaktycznym oraz od relacji kosztów związanych z uszkodzeniami do kosztów obsługi profilaktycznej. Budowane modele obsługi uwzględniają **zysk wynikający z poprawnej pracy** obiektu technicznego. Pod uwagę bierze się także inne koszty związane z utrzymaniem systemu eksploatacji takie, jak na przykład koszty pogotowia technicznego.

Proces wyznaczania optymalnych usług prewencyjnych jest złożony z budowy modelu dla **optymalnej strategii usług prewencyjnych**, który powinien zawierać wszystkie istotne wskaźniki eksploatacyjne rozważanego obiektu. Na dalszym etapie wykonuje się optymalizację funkcji kryterialnej i na tej postawie wyznacza się optymalną strategię.

Model wymian profilaktycznych dla systemów eksploatacji uwzględnia założenia:

- czasy przebywania obiektu we wszystkich analizowanych stanach procesu eksploatacji są zmiennymi losowymi,
- naprawa obiektu, albo wymiana profilaktyczna nie zawsze prowadzi do pełnej zdatności,
- czas do uszkodzenia obiektu ma rozkład jednomodalnej intensywności uszkodzeń.

W literaturze dotyczącej zagadnień wyznaczania optymalnych usług prewencyjnych stosuje się różne sposoby opisu modelu działania systemu eksploatacji. Najczę-

ściej zakłada się, że obiekt ma skończoną liczbę stanów, przy czym jeden z nich wyraża stan całkowitej niezdatności obiektu technicznego, a drugi stan całkowitej sprawności obiektu. W przypadku analizowania zdadności zakłada się, że obiekt ma tylko dwa stany zdadności, które są podzbiorem wszystkich stanów systemu eksploatacji. W systemie eksploatacji przejście z jednego stanu do innego odbywa się losowo. Losowe są także czasy przebywania w stanach. Proces zmian stanów systemu eksploatacji może być sterowany przez podejmowanie różnych decyzji dotyczących procesu eksploatacji. Dotyczyć to może wykonywania napraw częściowych lub całkowitej wymiany elementów [21].

Stosowanie racjonalnych (optymalnych) obsług przewencyjnych wymaga znajomości wielu cech charakteryzujących dany obiekt, takich jak: rozkłady czasów poprawnej pracy elementów obiektu, czasy odnów obiektu, czasy trwania awarii, koszty awarii i obsług profilaktycznych. Wyznaczanie tych wielkości wymusza zbieranie danych statystycznych i korzystanie z metod statystyki matematycznej.

Potencjalowe strategie eksploatacji

STRATEGIA WEDŁUG NIEZAWODNOŚCI

Eksploatacja maszyn według tej strategii sprowadza się do podejmowania decyzji eksploatacyjnych, opierając się na wynikach okresowej kontroli poziomu niezawodności urządzeń (różne wskaźniki niezawodnościowe), eksploatowanych, aż do wystąpienia uszkodzenia. Strategia wg niezawodności, zwana inaczej strategią „według uszkodzeń” polega na eksploatacji obiektu do chwili wystąpienia uszkodzenia.

Badania niezawodności maszyn w tej strategii prowadzono dotychczas, wykorzystując metody statystyczne dla obserwowanych zdarzeń, co obecnie zastępuje komputerowa technika symulacyjna i programowane badania niezawodności. Wyróżniane w badaniach niezawodności maszyn słabe ich ogniwa są cennym wskazaniem dla konieczności prowadzenia badań diagnostycznych.

Nie trzeba uzasadniać, że strategia ta może być stosowana tylko wówczas, gdy następstwa uszkodzeń nie naruszają zasad bezpieczeństwa pracy i nie zwiększają kosztów eksploatacji maszyn.

STRATEGIA WEDŁUG EFEKTYWNOŚCI EKONOMICZNEJ

Jest to strategia oparta na kryterium minimalnych kosztów eksploatacji maszyn, a decyzje eksploatacyjne podejmowane są, wykorzystując wskaźnik zysku. Podstawą podejmowanych decyzji są dane o niezawodności, kosztach użytkowania i napraw eksploatowanych maszyn. Ważnym czynnikiem w tej strategii jest postęp techniczny, którego wysoka dynamika określa starzenie moralne maszyn, a więc czynnik wnikliwie śledzony przez potencjalnych odbiorców. Strategia ta ma zastosowanie również w sytuacjach, gdy moralne starzenie się maszyn wyprzedza ich zużycie fizyczne. W tej strategii kryterium efektywności ekonomicznej, a więc opłacalności eksploatacji maszyny staje się podstawą decyzji o wycofaniu maszyny z użycia. Wyniki efektywności ekonomicznej mogą często doprowadzać do wycofywania maszyn z eksploatacji jeszcze zdadnych, lecz niezadowolających użytkownika eksploatacji. Poprawne stosowanie tej strategii wymaga gromadzenia dużej ilości informacji statystycznych z zakresu gospodarki finansowej działu eksploatacji, znajomości modeli decyzyjnych, mierników wartości i wskaźników efektywności ekonomicznej oraz rachunku optymalizacyjnego.

STRATEGIA WEDŁUG ILOŚCI WYKONANEJ PRACY

Eksploatowanie maszyn w tej strategii jest limitowane ilością wykonanej pracy, która może być określana liczbą godzin pracy, ilością zużytego paliwa, liczbą przejechanych kilometrów, liczbą cykli pracy itp. Generalną zasadą w tej strategii jest zapobieganie uszkodzeniom (zużycie, starzenie) poprzez konieczność wykonywania zabiegów obsługowych w oznaczonych limitach wykonanej pracy, przed osiągnięciem granicznego poziomu zużycia. Ze względu na wykorzystanie rzeczywistego potencjału użytkowego maszyny jest to strategia mało efektywna, gdyż podstawą przyjmowania dopuszczalnej ilości pracy są ekstremalne warunki pracy. Przyjmuje się w tym przypadku najniekorzystniejsze warunki pracy, najsłabsze ogniwa (zespoły, części) maszyny, ekstremalne obciążenia, które nie zawsze i w nierównym stopniu mogą się ujawnić podczas eksploatacji.

STRATEGIA WEDŁUG STANU TECHNICZNEGO

Strategia według stanu opiera podejmowanie decyzji eksploatacyjnych na podstawie bieżącej oceny stanu technicznego maszyn, ich zespołów lub elementów. Umożliwia to eliminowanie podstawowych wad eksploatacji maszyn według innych, omówionych już strategii. Aktualny stan techniczny maszyny, odwzorowany wartościami mierzonych symptomów stanu, jest podstawą decyzji eksploatacyjnej. Poprawna realizacja tej strategii wymaga skutecznych metod i środków diagnostyki technicznej oraz przygotowanego personelu technicznego. Wymaga też przewyciężenia nieufności decydentów do efektywności takiego sposobu eksploatacji. Efekty ekonomiczne z takiego sposobu eksploatacji są niewspółmiernie wyższe niż w innych strategiach, co warunkuje ogromne zainteresowanie tym rozwiązaniem.

STRATEGIA TOLEROWANYCH USZKODZEŃ

Strategia eksploatacji tolerowanych uszkodzeń polega na użytkowaniu obiektu nie tylko do momentu wystąpienia uszkodzenia, ale i pod kontrolą degradacji granicznej (możliwej – koszty, bezpieczeństwo). Strategia tolerowanych uszkodzeń dopuszcza zatem eksploatację uszkodzonej maszyny (jeżeli jest możliwa) do chwili nadzorowanej granicy bezpieczeństwa, umożliwiając przygotowanie warunków i czasu obsługi.

AUTORYZOWANA STRATEGIA ISTNIENIA MASZYN

Wymagania od strony „jakości”, marketingu i logistyki zmieniają radykalnie kryteria oceny maszyn, dając przesłanki do dalszego, rosnącego zainteresowania metodami i środkami diagnostyki technicznej. Potrzeby i uwarunkowania gospodarki rynkowej uzasadniają konieczność wprowadzenia nowoczesnej autoryzowanej strategii wytwarzania i eksploatacji maszyn. W propozycji tej strategii nie traci się dotychczasowych dokonań najnowszej strategii eksploatacji według stanu, lecz twórczo się ją modernizuje. Sama idea tej strategii opiera się na wykorzystaniu „pętli jakości”, którą uzupełniono elementami teorii eksploatacji (fazy istnienia maszyny, serwis) oraz diagnostyki technicznej.

Do wyróżnienia, oceny i podtrzymywania cech użytkowych maszyn w eksploatacji wykorzystuje się:

- **możliwości diagnostyki technicznej**, w tym konstruowanie diagnostyczne, ocenę jakości wytworów, diagnostykę eksploatacyjną, metody i środki diagnostyki technicznej, wspomaganie badań diagnostycznych techniką komputerową,
- **badania niezawodności** maszyn w fazach: przedprodukcyjnej, produkcyjnej i po-produkcyjnej, przy wykorzystaniu badań stanowiskowych, modelowania deterministycznego i stochastycznego czynników wymuszających, wspomaganie komputerowego badań niezawodności,
- **metodologię kształtowania „jakości”** przez „jakościowy system sterowania przedsiębiorstwem” z uwzględnieniem kryteriów norm jakości (EN serii 29 000),
- **możliwości regeneracji części i zespołów**, w tym regenerację wielokrotną, badania zmęczenia i modelowanie obciążeń części regenerowanych, nowe techniki i technologie odtwarzania jakości tych części,
- **badania technologiczności** obsługowej i naprawczej maszyn, kształtowanie intensywności starzenia i zużywania się ich elementów, kształtowanie podatności eksploatacyjnej (naprawczej, obsługowej, diagnostycznej) oraz ocenę efektywności ich eksploatacji.

Powyższe grupy tematyczne stanowią obszar zainteresowań szerokiego grona społeczności eksploatacyjnej, przyczyniając się do rozwoju metod i metodologii kształtowania i podtrzymywania jakości eksploatowanych maszyn.

Diagnostyka w ocenie rozwoju uszkodzeń

Metody i środki diagnostyki technicznej są narzędziem diagnozowania stanu systemów technicznych (rys. 2.6), co jest podstawą podejmowanych decyzji eksploatacyjnych [13, 17, 36, 37]. Diagnostyka techniczna obejmuje następujące formy działania:

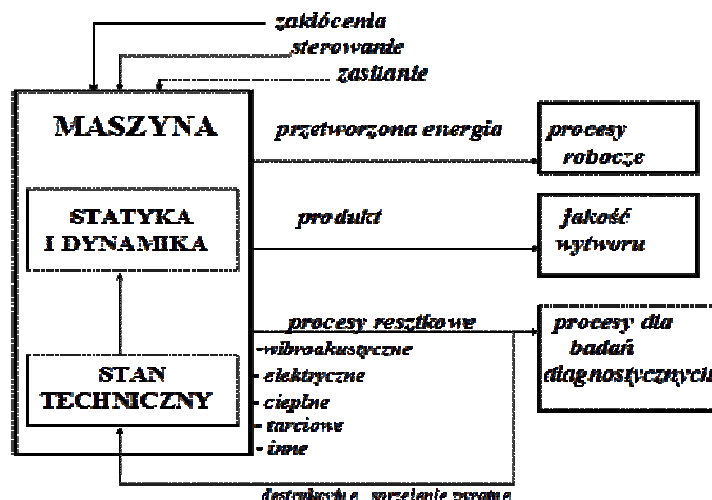
- ocenę stanu aktualnego,
- genezowanie stanu,
- prognozowanie stanu.

Te formy działania realizowane są przez inteligentne systemy diagnostyczne (mobilny softwer i hardwer, z pętlą samouczenia i oceną ryzyka).

W badaniach stanu obiektów posługowano się modelami: fizycznymi lub symbolicznymi, które są przedstawieniem fizycznym lub myślowym badanego oryginału. Modelowanie dla potrzeb diagnostyki obejmuje modelowanie fizyczne, matematyczne i energetyczne, co daje podstawy: diagnostyki symptomowej, holistycznej i energetycznej.

Problemy główne diagnostyki maszyn obejmują:

- * pozyskiwanie i przetwarzanie informacji diagnostycznej,
- * budowę modeli i relacji diagnostycznych,
- * wnioskowanie diagnostyczne i wartości graniczne,
- * klasyfikację stanów maszyny,
- * przewidywanie czasu kolejnego diagnozowania,
- * obrazowanie informacji decyzyjnych.



Rys. 2.6. Modelowe przedstawienie możliwości diagnozowania maszyn

Powyższe grupy tematyczne stanowią obszar zainteresowań w zakresie metod i metodologii kształtowania i podtrzymywania jakości degradacji stanu maszyn. Pełna realizacja tych zadań sprawi, że diagnostyka wypełni swoją funkcję, tworząc narzędzia kształtowania jakości maszyn na wszystkich etapach ich istnienia.

Procesy destrukcji systemów technicznych wymuszają potrzebę nadzorowania zmian ich stanu, co jest możliwe przy wykorzystaniu metod i środków diagnostyki technicznej. Wyniki badania stanu maszyn stanowią podstawę podejmowanych decyzji na wszystkich etapach ich istnienia. Rozpoznawanie stanu maszyny powinno umożliwić:

- określenie stanu maszyny (**ocena stanu**) w czasie bieżącym na podstawie wyników badań diagnostycznych, co umożliwi kontrolę stanu i lokalizację uszkodzeń w przypadku stanu niezdatności maszyny,
- przewidywanie przyczyn zaistniałego stanu maszyny (**genezowanie stanu**) w czasie przeszłym na podstawie niepełnej historii wyników badań diagnostycznych, co umożliwia oszacowanie stanu maszyny lub wartości pracy wykonanej przez nią w przeszłości,
- przewidywanie stanu maszyny w czasie przyszłym (**prognozowanie stanu**) na podstawie wyników badań diagnostycznych, co umożliwia oszacowanie czasu niezawodnego użytkowania maszyny lub wartości wykonanej przez nią w przyszłości pracy.

2.3. TECHNIKI INFORMACYJNE W EKSPLOATACJI MASZYN

Podstawą sprawnego i skutecznego zarządzania eksploatacją systemu technicznego jest odpowiedni system informacyjny. Uwidacznia się to szczególnie wyraźnie w eksploatacji układów złożonych, w których informacja, stanowiąca podstawę decyzji eksploatacyjnych, dotyczy bardzo szerokiego i różnorodnego obszaru zagadnień. Losowość danych, nadmiar informacji diagnostycznej, wnioskowanie przyczynowo-skutkowe, modelowanie i podejmowanie decyzji jest z konieczności wspomagane

technikami informacyjnymi. Dostępne oprogramowanie i coraz to nowsze środki informatyczne pozwalają doskonalić metodykę badania degradacji stanu maszyn, stanowiącej o bezpiecznej dla człowieka i środowiska ich eksploatacji.

Poprawa efektywności eksploataowania, która w praktyce przekłada się na wydłużenie czasu zdadności, ograniczenie awarii i przestojów maszyn oraz właściwą organizację i realizację prac obsługowo-naprawczych, możliwe jest utrzymanie ciągłości produkcji, zwiększenie wydajności i poprawa jakości wyrobów oraz ograniczenie kosztów eksploatacji maszyn, a w konsekwencji ograniczenie kosztów produkcji i produktu.

Wirtualna rzeczywistość (Virtual Reality – VR) – sztuczny obraz rzeczywistości stworzony przy wykorzystaniu technologii informatycznej, czyli to – co wygląda realnie, jest odczuwane realnie, działa lub zachowuje się realistycznie, aczkolwiek w rzeczywistości realne nie jest. Rzeczywistość wirtualna to obraz sztucznej rzeczywistości stworzony przy wykorzystaniu technologii informatycznej. Polega ona na multimedialnym kreowaniu komputerowej wizji przedmiotów, przestrzeni i zdarzeń i może reprezentować zarówno elementy świata realnego (symulacje komputerowe), jak i zupełnie fikcyjnego (gry komputerowe science-fiction).

Techniki wirtualne to programy komputerowe przeznaczone do rozwiązywania specjalistycznych problemów, polegających na kreowaniu efektu interaktywnego, w którym obiekty niematerialne i materialne, dają wrażenie fizycznej, przestrzennej obecności.

Początki komputerowego wspomaganie techniki to lata 70., kiedy powstają pierwsze ważne firmy produkujące oprogramowanie, takie jak: Intergraph oraz Unigraphics. Pionierskie firmy powstają również w latach 80., a najważniejsze z nich to Dassault Systems oraz Autodesk. W tych też latach powstają pierwsze poważne aplikacje, takie jak AutoCAD czy systemy trójwymiarowe, np. CATIA i Microstation.

Okres lat 90. to czas, kiedy powstają systemy grafiki trójwymiarowej dla małych i średnich przedsiębiorstw. Do takich programów można zaliczyć: Mechanical Desktop, Solidworks, Solidedge oraz Inventor. Obecna dekada to próba integracji systemów CAD–CAM i CAD–CAE przeznaczonych dla małych i średnich przedsiębiorstw. Natomiast producenci oprogramowania dla dużych przedsiębiorstw z lat 80., produkują dziś systemy obejmujące swym działaniem wszystkie etapy życia produktu [36].

Narzędzia komputerowego wspomaganie odpowiadają określonym etapom procesów powstawania (projektu i konstrukcji) wytworu. Najbardziej znaną konstruktorowi grupą oprogramowania są narzędzia CAD, czyli Computer Aided Design. Wspomagają one etapy doboru cech konstrukcyjnych i tworzenia dokumentacji konstrukcyjnej procesu konstrukcyjnego. Można wyodrębnić w tym przypadku dwie klasy tego oprogramowania CAD: dwuwymiarowy 2D i przestrzenny 3D. CAD.

Program 2D jest przeniesieniem deski kreślarskiej na ekran monitora komputerowego. Proces doboru cech konstrukcyjnych i powstawania dokumentacji przebiega w tej samej przestrzeni dwuwymiarowej elektronicznej kartki, z reguły bez rozróżnienia na obszar modelu i papieru. Konstruktor dysponuje narzędziami do edycji prostych elementów dwuwymiarowej grafiki wektorowej, jak: odcinki, okręgi i łuki oraz narzędziami do tworzenia bardziej skomplikowanych obiektów, jak np. wymiary. Przewaga w stosunku do tradycyjnej deski kreślarskiej wynika w tym przypadku z zalet samej techniki informatycznej, a mianowicie: łatwości tworzenia nowych elementów, możliwości korzystania z istniejącego zapisu oraz łatwości modyfikacji istniejącego zapisu. Korzystanie ze wspólnych narzędzi oferowanych przez oprogramowanie, jak np.: sty-

łów wymiarowania, stylów tekstów, oznaczeń rysunku pomaga zachować standardy, a więc sprzyja komunikatywności zapisu.

Środowiska modelowania CAD 3D różnią się między sobą interfejsem użytkownika oraz niskopoziomowymi bibliotekami graficznymi, jednak zasady modelowania w tych programach są oparte na tej samej zasadzie. Pierwszym etapem tworzenia każdej części jest narysowanie profilu, którym jest płaski rysunek, posiadający więzy geometryczne i wymiarowe. Więzy geometryczne to zależności geometryczne pomiędzy elementami np. równoległością, prostokątnością, stycznością, współliniowością. Wszystkie wartości wymiarowe są pamiętane w postaci tablic parametrów, czyli zmiennych o unikalnych nazwach. W całym procesie modelowania można je edytować, a co najważniejsze tworzyć pomiędzy nimi zależności. W ten sposób powstający model jest kontrolowany za pomocą zbioru parametrów, a więc jest modelem parametrycznym.

Mając do dyspozycji części składowe (wiele z części gotowych, kupnych, można otrzymać na stronach internetowych producentów i importować plik z jego geometrią do systemu CAD) można przystąpić do ich montażu. Montażu dokonuje się przez tworzenie par kinematycznych, odbierając stopnie swobody. Części można łączyć ze sobą żądając, aby np. ich osie były współliniowe, lub, żeby powierzchnie dwóch brył były styczne. Oprócz więzów tworzących pary kinematyczne, modelery oferują również zaawansowany rodzaj więzów zwanych adaptatywnymi. Dzięki nim można kontrolować nie tylko wzajemne położenie części ale również cechy geometryczne jednej bryły w zależności od cech geometrycznych innych brył pozostających w złożeniu.

Cechy geometryczne i materiałowe powstają na podstawie kryteriów konstrukcyjnych w procesie obliczeń. Obliczenia towarzyszące procesowi doboru cech konstrukcyjnych modelu są również wspomagane komputerowo. Ten obszar wspomagania nazywany jest CAE. Przede wszystkim można wspomagać te obliczenia, które mają charakter algorytmiczny. W aplikacjach inżynierskich istnieją moduły, inaczej kreatory, służące wymiarowaniu typowych części, połączeń, przekładni. W programie Inventor mamy do dyspozycji wspomaganie obliczeń przy projektowaniu wałów, połączeń gwintowych, łożysk, sprężyn i innych. Oczywiście na zakończenie procedury obliczeniowej program tworzy geometrię modelowanego węzła konstrukcyjnego.

Ostatnio coraz powszechniej, już w samych modelerach, konstruktor otrzymuje możliwość przeprowadzenia analizy, wykorzystującej metodę elementów skończonych, a dotyczących głównie wytrzymałości konstrukcji i jej sztywności. Analizy te są bardzo uproszczone i dotyczą zazwyczaj pojedynczego elementu. Analizy dynamiczne dostępne są, już bezpośrednio w programach CAD, gdzie Inventor dysponuje modułem analiz dynamicznych, za pomocą którego można wykonać dla sztywnych brył i idealnych więzów analizę czasową.

Jeśli jednak chce się przeprowadzić wiarygodne analizy odpowiedzialnych urządzeń, należy skorzystać z zaawansowanego oprogramowania MES, takiego jak LS DYNA do symulacji wybuchów i zderzeń, FLUENT do obliczeń przepływów turbulentnych czy też ADAMS do zaawansowanej dynamiki. W tych systemach można prowadzić także analizy sprzężone w pakiecie ANSYS/Multiphysics w obszarach: wytrzymałość materiałów + termodynamika, mechanika płynów, elektrostatyka, magnetyzm, akustyka, termodynamika + elektryczność, elektromagnetyzm, mechanika płynów + elektryczność, elektromagnetyzm.

Ostatnio ANSYS promuje środowisko, dzięki któremu prawie każdy konstruktor może wykonać zaawansowaną analizę, korzystając wprost ze swojego modelu CAD. Jest

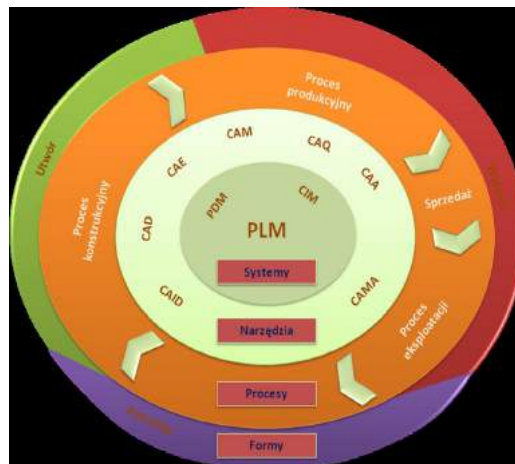
to ANSYS-WORKBENCH, gdzie można zaimportować cały model bryłowy wraz z informacją o parach kinematycznych i na tej podstawie zbudować model obliczeniowy.

Wraz ze wzrostem skali przedsięwzięcia konstrukcyjnego, komputerowe wspomaganie może dotyczyć nie tylko tworzenia konstrukcji, ale również zarządzania jej zapisem przechowywanym w dokumentach elektronicznych. Plików z danymi jest tak wiele, że tradycyjna struktura katalogów pojedynczego komputera przestaje być dobrym rozwiązaniem. Odpowiedzią na ten fakt są systemy PDM oparte na rozwiązaniach internetowych. Dokumentacja gromadzona jest w relacyjnej bazie danych, a dostarczana jest tam i stamtąd udostępniana dzięki różnym protokołom internetowym.

W systemach PDM możliwe jest zarządzanie cyklem istnienia dokumentacji: przepływem dokumentacji przez różne etapy jej powstawania – tworzenie, zatwierdzanie, wprowadzanie zmian, wersje oraz co bardzo ważne zarządzanie różnymi wariantami konstrukcji. System PDM może potraktować tworzenie dokumentacji jako proces realizacji zadań przez pracowników, dzięki temu możliwa jest m.in. optymalizacja czasu pracy zespołu konstruktorów.

Dzięki dynamicznej i kontrolowanej wymianie informacji pomiędzy konstruktorami, konstruktorami i technologami w systemach PDM można doprowadzić do nakładania się w czasie poszczególnych etapów cyklu życia wyrobu. W ten sposób można w praktyce zrealizować postulaty inżynierii współbieżnej i tym samym znakomicie skrócić czas powstawania wytworu.

Zapewnienie współpracy pomiędzy podmiotami zaangażowanymi w powstawanie i eksploatację nowego produktu to zadanie systemów Product Lifecycle Management. PLM nie powinno być postrzegane jako jeden program, a ma za zadanie integrowanie cząstkowych rozwiązań istniejących w przedsiębiorstwie w sprawnie funkcjonującą całość. W ten sposób możliwa jest praca równoległa podsystemów na każdym etapie (rys. 2.6), z jednoczesnym wykorzystaniem danych ze wszystkich podsystemów cyklu życia produktu.



Rys. 2.6. Elementy składowe systemu PLM

Systematyzując wiedzę o narzędziach wspomagających pracę inżyniera można podzielić je na programy: **CAD 2D**, które edytują proste, dwuwymiarowe obiekty geometryczne (jak odcinki, luki i okręgi); **programy CAD 3D**, które modelują cechy kon-

strukcyjne w postaci modelu przestrzennego; **programy CAE**, które tworzą modele obliczeniowe; **programy PDM** zarządzające produkowaną przez inżynierów dokumentacją techniczną; **systemy ekspertowe KM**, które koncentrują się na wiedzy inżynierskiej i ostatecznie **systemy PLM** – integrujące wszystkie aspekty całego cyklu życia produktu.

Degradacja stanu maszyn w **eksploatacji** wymusza zatem potrzebę opracowania metodyki tworzenia dedykowanych struktur diagnostycznych konstruowanych modułów maszyn i przeprowadzenia badań związanych z opracowaniem procedur modelowaniu zmian ich stanu dynamicznego (ewolucji zmian) w zależności od narzuconych czynników ograniczających, przy wspomaganiu technikami wirtualnymi [36].

Metodyka badań ewolucji modułów konstruowanych systemów technicznych metodami technik informatycznych obejmować powinna:

- modelowe opracowanie zasad ewolucji stanu systemów technicznych,
- opracowanie i adaptację procedur rozpoznawania stanu badanych modułów narzędziami technik informatycznych (FEM, BEM, MatLab SIMULINK, systemy ekspertowe, sieci neuronowe, data mining, zbiory rozmyte, szare systemy, optymalizacja, programowanie genetyczne i ewolucyjne),
- modelowanie diagnostyczne degradacji stanu modułów badanych systemów technicznych (modele symptomowe, holistyczne, energetyczne),
- weryfikację opracowanego systemu narzędzi kształtowania jakości obiektów technicznych w proponowanych systemach utrzymania zdolności,
- opracowanie miar dla badań jakości funkcjonowania systemów technicznych w aspekcie efektywności funkcjonalna i ekonomiczności, bezpieczeństwo oraz analizy ryzyka technicznego,
- praktyczne wskazania zalecanych procedur i stosowanych technik informacyjnych w obszarach życia obiektów (projektowanie, konstruowanie, technologia wytwarzania, eksploatacja, bezpieczeństwo, ochrona środowiska),
- opracowanie zasad wdrażania dokonań projektu.

Egzemplifikacja wypracowanych rozwiązań przeprowadzona została w badaniach eksploatacyjnych wybranych obiektów (system transportu kolejowego, silniki spalino-we, przekładnie zębate, łożyska), w których na podstawie rzeczywistych przebiegów sygnałów wybranych modułów maszynowych przeprowadzono weryfikację proponowanej metodyki dla optymalnych procedur modelowania i badania stanu dynamicznego maszyn.

Rozpoznano w tym zakresie przydatność opracowanych procedur: „Dedykowany system diagnostyczny” (DSD) i „Strategia uzgadniania decyzji” (SUD), które wyznaczają dedykowane dla każdej dowolnej maszyny uogólnione metodyki postępowania [21].

Opracowane metody i modele mogą zostać wykorzystane do budowy systemów diagnostycznych, jak i do badań dotyczących oceny oraz analizy ryzyka i bezpieczeństwa funkcjonowania maszyn.

2.4. ZAGROŻENIA ŚRODOWISKA

Zanieczyszczenie środowiska naturalnego jest poważnym problemem XXI wieku, konsekwentnym wynikiem rozwoju cywilizacji i uprzemysłowienia krajów. Ochrona środowiska naturalnego stała się jednym z najważniejszych zadań, przed jakimi stanął człowiek u progu XXI wieku. Różnorodność zagrożeń i w tym emisja szkodliwych

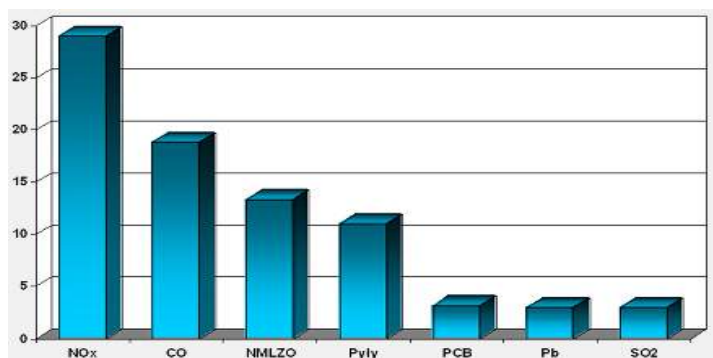
związków chemicznych ze strony techniki, samochodów i życia gospodarczego do atmosfery, gleby i wody poważnie ogranicza bezpieczne bytowanie ludzi na Ziemi. Eksploatacja naturalnych nieodnawialnych źródeł energii i surowców jest ciągle intensyfikowana, co powoduje ich systematyczne wyczerpywanie.

W pracy zwrócono uwagę na wybrane aspekty zagrożeń środowiska, skupiając większość rozważań i badań na maszynach w ogólności, a na technice motoryzacyjnej szczególnie. Źródła emisji szkodliwych związków chemicznych ze strony motoryzacji i techniki oraz ich destrukcyjne działanie na środowisko naturalne z uwzględnieniem globalnych zagrożeń przedstawiono jako wynik wieloletnich doświadczeń w tym obszarze badań.

Zagrożenie środowiska przez nasycenie techniką, a głównie przez motoryzację zalicza się do najbardziej współcześnie odczuwalnych uciążliwości rozwoju cywilizacji. Główną rolę odgrywa masowość maszyn i pojazdów oraz intensywność i powszechność ich użytkowania. Rozwój techniki jest ściśle związany z innymi dziedzinami cywilizacji, które przyczyniają się do degradacji środowiska. Dotyczy to szczególnie obszarów o dużej gęstości zaludnienia, gdzie degradacja środowiska na skutek rozwoju techniki i motoryzacji oraz innych dziedzin przemysłu z nią związanych jest szczególnie uciążliwa.

Intensywny rozwój techniki i motoryzacji doprowadził już do tak wyraźnych uciążliwości, że społeczeństwa zostały zmuszone podjąć działania chroniące środowisko i zdrowie ludzi. Obecnie istnieje wyraźna tendencja do globalnego traktowania zagrożeń ze strony techniki i motoryzacji. Przepisy dopuszczania maszyn i różnych typów pojazdów do użytkowania (badania homologacyjne i zgodności produkcji), okresowe badania kontrolne stanu technicznego i inne przepisy prawa traktują zagadnienia ochrony środowiska w sposób kompleksowy (rys. 2.7).

W ramach prac badawczych projektu przedstawiono pokrótce różnego typu zagrożenia środowiska naturalnego, klasyfikację tych zagrożeń z uwzględnieniem zagrożeń człowieka i środowiska maszynowego oraz metody badania zagrożeń, a także koszty związane z ochroną ekosfery i studium zaawansowanych problemów w obszarze ochrony środowiska naturalnego [29].



Rys. 2.7. Zanieczyszczenia atmosfery pochodzących od środków transportu

Ochrona środowiska naturalnego jest jednym z najważniejszych zadań, przed jakim stanął człowiek u progu XXI wieku. Emisja szkodliwych związków chemicznych do atmosfery, gleby i wody poważnie ograniczyła zasoby naturalne Ziemi. Eksploatacja

naturalnych nieodnawialnych źródeł energii i surowców powoduje ich systematyczne wyczerpywanie. Stosowane technologie wydobywcze nie zabezpieczają lokalnego środowiska przed degradacją – szkodami górnictwami, skażeniem chemicznym lub radiologicznym, dewastacją krajobrazu, zniszczeniem naturalnej biosfery roślin i zwierząt. Podobne zagrożenia powstają w trakcie transportu i przetwarzania pozyskanych surowców. Z zaistniałymi zmianami w środowisku naturalnym wiążą się takie wzajemnie powiązane zjawiska, jak: efekt cieplarniany, kwaśne deszcze, zanik warstwy ozonowej w stratosferze, zmiany klimatyczne i wiele innych.

Dominującą gałęzią przemysłu staje się transport samochodowy, który jednocześnie jest największym źródłem skażenia środowiska. Transport znacząco degraduje środowisko naturalne, a także ma negatywny wpływ na samych ludzi. W Unii Europejskiej sektor transportu to źródło ponad połowy całkowitej produkcji tlenków azotu, 45% tlenku węgla, 23% pyłów PM10 (cząstki stałe o średnicy 10 μm) i 28% pyłów PM2,5 (cząstki stałe o średnicy 2,5 μm), 23% niemetanowych lotnych związków organicznych NMLZO. Jest również odpowiedzialny za 41% emisję prekursorów ozonu troposferycznego i 23% emisji CO₂ oraz 20% innych gazów cieplarnianych. Pojazdy samochodowe są największym źródłem skażenia środowiska. Gazy i pyły, takie jak dwutlenek węgla, tlenki azotu, dwutlenek siarki, tlenek węgla, wielopierścieniowe węglowodory aromatyczne, benzen, ołów, platyna, ozon, dioksyne to wszystko produkty znajdujące się w spalinach pojazdów transportu drogowego. W miarę wzrostu intensywności użytkowania pojazdów hałas i drgania stają się dla środowiska poważnym zagrożeniem, szczególnie w miejscach i w czasie dużego natężenia ruchu pojazdów w dużych aglomeracjach miejskich w godzinach tzw. szczytu komunikacyjnego.

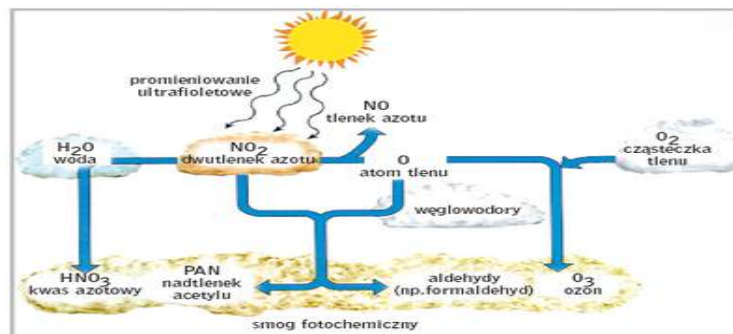
Niekorzystny wpływ aktywności człowieka na środowisko, klimat i nas samych staje się już widoczny dla coraz większej liczby ludzi, którzy rozumnie rozglądają się wokół. Czas zatem na systemowe przeciwdziałanie i zatrzymanie niekorzystnych trendów. Jest to możliwe przez zmianę paradygmatu gospodarowania na nowy, bowiem człowiek i jego gospodarka są częścią środowiska.

Do zjawisk powodowanych emisją spalin można zaliczyć smogi (rys. 2.8) np. typu londyńskiego, występujący zimą przy temperaturze -3 do +5°C i ograniczający widoczność nawet do kilkudziesięciu metrów. Smog taki działa korozyjnie na budynki oraz jest szkodliwy dla roślin i zwierząt. U człowieka może wywoływać duszności, podrażnienia oczu i skóry i zaburzać pracę układu krążenia.



Rys. 2.8. Smog londyński powodujący znaczne ograniczenia widoczności

Innym przykładem smogu powstającego na skutek nadmiernej emisji spalin na obszarach mocno zurbanizowanych jest smog fotochemiczny, który pojawia się latem w temperaturze powyżej 26°C. Powstaje on w najniższej warstwie atmosfery – rysunek 2.9. Wysokie stężenia szkodliwych substancji niekiedy powodują zachodzenie reakcji chemicznych między nimi wskutek czego powstaje np. azotan nadtlenku acetylu (PAN) – związek ten jest silnie toksyczny oraz wywołuje mutacje genetyczne i nowotwory.



Rys. 2.9. Przyczyny i skutki powstawania smogu fotochemicznego

Duży udział emisji gazów przez środki transportu drogowego znacząco przyczynia się do powstawania i efektu cieplarnianego. Emisja gazów oraz pyłów ma także bezpośredni wpływ na zdrowie i życie człowieka. Zawarte w spalinach silnikowych metale ciężkie oraz substancje kancerogenne powodują przy długim narażeniu na ich oddziaływanie wzrost ryzyka zachorowania na raka nawet 5-krotnie w porównaniu z osobami nienarażonymi na oddziaływanie tych związków, zamieszkujących tereny pozamiejskie. Tak samo negatywny wpływ notowany jest wśród roślin i zwierząt znajdujących się w otoczeniu ruchliwych dróg. Zwierzęta narażone są nie tylko na bezpośredni kontakt ze spalinami, ale również na żywienie się skażonymi roślinami.

Transport drogowy jako duże źródło emisji tlenków azotu wpływa także na:

- negatywne oddziaływania na roślinność (zwłaszcza lasy, tereny wysokogórskie),
- korozja konstrukcji stalowych,
- negatywne oddziaływania na fundamenty betonowe, elementy z piaskowca i wapienia.

Hałas komunikacyjny to kolejny aspekt negatywnego wpływu transportu drogowego na ludzi oraz środowisko. Problem ten dotyczy szczególnie obszarów gęsto zaludnionych oraz zurbanizowanych aglomeracji miejskich. Nieustanne narażenie na jego oddziaływanie na tych terenach dotyczy coraz większej liczby osób. Hałas komunikacyjny wpływa znacząco na zdrowie człowieka i może powodować stany skrajnego zmęczenia, utrudnienia snu, trudności w pracy czy szkole, a nawet stany nerwicowe. Powikłania z nadmiernego hałasu są różne, a jednym z nich może być obniżenie progu słyszalności i obniżania zakresu słyszalności, w wyniku czego może prowadzić do całkowitej utraty słuchu. Ciągłe oddziaływanie hałasu na człowieka może również prowadzić do chorób układu krążenia oraz chorób ciśnieniowych, co powiązane jest z nieustannym rozdrażnieniem oraz poczuciem niepokoju.

Motoryzacja z uwagi na masowość produkcji i intensywność eksploatacji oraz zużycie materiałów i energii podczas produkcji stanowi szczególny przykład zagrożenia środowiska produktami odpadowymi.

Rozwój transportu jest nieunikniony, a w miarę przyrostu rejestrowanych pojazdów każdego roku rosną wymagania odnośnie infrastruktury. Najlepszym rozwiązaniem jest prowadzenie polityki zrównoważonego rozwoju oraz rozwijanie infrastruktury w newralgicznych miejscach. W przyszłości należy stworzyć zintegrowany system komunikacyjny, który może w znacznym stopniu ograniczyć negatywne skutki transportu.

2.5. PROJEKTOWANIE BEZPIECZNEJ EKSPLOATACJI MASZYN

Projektanci i producenci, wytwarzając wyroby o zróżnicowanym poziomie bezpieczeństwa rozpoznają szczegółowo wszelkie zagrożenia związane z maszyną lub innymi urządzeniami technicznymi i wyznaczają dopuszczalny poziom ryzyka. Użytkownicy natomiast wpływają na poziom ryzyka, odpowiednio przez ich dobór lub dostosowanie maszyn do istniejących potrzeb technologicznych i warunków środowiska pracy oraz zobowiązani są do przestrzegania zasad i sposobów wykorzystywania maszyn wskazanych przez producenta, uzupełnionych zasadami i sposobami stosownymi do specyfiki realizowanych procesów i warunków środowiska pracy.

Przyjęto ogólną zasadę kształtowania bezpiecznego i zdrowego środowiska pracy polegającą na tym, że projektanci, producenci i dostawcy maszyn oraz ich użytkownicy: pracodawcy, nadzór i operatorzy przyczyniający się do realizacji procesów pracy, tworzą i odpowiadają za bezpieczeństwo.

Mając na względzie powyższe i wychodząc z założenia, że bardzo wysoka skala strat ludzkich, finansowych, materialnych i społecznych wypadków przy pracy i chorób powodowanych przez maszyny nie jest możliwa do zaakceptowania należy je zmniejszyć przez wykorzystanie najnowszych osiągnięć nauki, techniki i organizacji pracy na etapie projektowania, wytwarzania, instalowania, użytkowania i obsługi.

Przesłanki do podjęcia zadań projektowania bezpiecznej eksploatacji wynikają wprost z wymagań bezpieczeństwa dla maszyn umieszczanych na rynkach UE i rynku Polski, a określonych przez dyrektywy UE.

Dyrektywy Unii Europejskiej są adresowane do państw członkowskich i są dla nich wiążące w zakresie celów i zadań, natomiast forma i środki ich realizacji wynikają z prawa krajowego mającego na celu doprowadzenie do zgodności z postanowieniami Dyrektywy.

Wprowadzanie dyrektywy maszynowej wynika z faktu, że sektor maszynowy jako ważna gałąź przemysłu inżynierskiego i jeden z przemysłowych filarów gospodarki Wspólnoty powoduje niestety dużą liczbę wypadków wynikających z bezpośredniego użytkowania maszyn. Można to zmniejszyć przez projektowanie i wykonanie maszyn bezpiecznych z samego założenia oraz przez właściwe ich instalowanie i konserwację. Dla zapewnienia bezpieczeństwa maszyny powinny być spełnione zasadnicze wymagania w zakresie ochrony zdrowia i bezpieczeństwa. Wymagania te powinny być stosowane z wnikliwością tak, aby uwzględnić stan wiedzy technicznej w momencie wykonania maszyny oraz wymagania techniczne i ekonomiczne.

Dyrektywa określa wymagania w zakresie ochrony zdrowia i bezpieczeństwa o powszechnym zastosowaniu, uzupełnione pewną ilością bardziej szczegółowych wymagań dla niektórych kategorii maszyn. Po to, aby pomóc producentom w udowodnieniu zgodności z tymi wymaganiami zasadniczymi oraz aby umożliwić kontrolowanie tej zgodności, wskazane jest posiadanie norm zharmonizowanych na poziomie wspólnotowym, w celu zapobieżenia powstawaniu ryzyka wynikającego z projektu i budowy maszyny.

Stosowanie triady bezpieczeństwa (rys. 2.10) w celu ograniczania poziomu ryzyka w procesie projektowania maszyn, jak również ocenianie zgodności maszyn z wymaganiami zasadniczymi wg procedur ustalonych z uwzględnieniem stwarzanych zagrożeń i związanego z nimi ryzyka i znakowanie wyrobów spełniających wymagania dyrektyw znakiem CE [5] – to warunkowe minimum kształtowanego bezpieczeństwa maszyn.

Producent lub jego upoważniony przedstawiciel musi także zapewnić przeprowadzenie oceny ryzyka dla maszyny, którą zamierza wprowadzić do obrotu. W tym celu powinien on określić, które z wymagań są wymaganiami zasadniczymi w zakresie ochrony zdrowia i bezpieczeństwa mającymi zastosowanie do jego maszyny i w odniesieniu, do których musi on podjąć zalecane środki.

Większość aktualnie stosowanych maszyn środowiskowych to modułowo konstruowane obiekty techniczne. Dla nich to istnieje potrzeba opracowania dedykowanych systemów monitorowania ewolucji stanu, co w dokonaniach zagranicznych i krajowych jest mocno zaniedbane, a praktyka eksploatacji oczekuje na szybkie opracowania z tego zakresu.



Rys. 2.10. Triada bezpieczeństwa

Rozmieszczenie modułów maszyn roboczych warunkowane jest:

- wzajemnym dostępem zespołów maszyny (np.: silnik napędowy – pompa),
- wykorzystaniem „wolnych przestrzeni” maszyny roboczej,
- przyzwyczajeniem konstruktorów do „pewnych standardów” i korzystaniem przez nich z niegdyś ustalonych i niekwestionowanych,
- przyjęciem metod, zasad i form realizowania procesów projektowania,
- zbytnim uleganiem przez konstruktorów potrzebom procesów technologii wytwarzania,
- brakiem analizy w obszarze podatności obsługowej w warunkach stacjonarnych i warunkach specjalnych,
- niewystarczającym uwzględnianiem potrzeb definiowanych przez bezpośrednich eksploataatorów maszyn (ciągłe i łatwe diagnozowanie – łatwa, szybka i tania naprawa).

Tworzone według tych zasad konstrukcje maszyn powodują, że dostęp do zespołów i podzespołów maszyn bywa ograniczony lub jest wręcz niemożliwy bez demontażu maszyny. To z kolei często uniemożliwia obserwację stanów maszyny podczas jej pracy.

Stosowane aktualnie urządzenia diagnostyczne maszyn w zasadzie nie generują informacji o charakterze alertowym – odnośnie stanu technicznego „wewnętrznych” elementów zespołów i podzespołów. Dotyczy to również nadzoru procesów realizowanych przez moduły maszyn, decyzji eksploatacyjnych (np. dotyczących terminów wykonania obowiązkowych usług technicznych, zaniechania pracy lub wezwania serwisu). Brak możliwości szybkiego (ciągłego) generowania wiarygodnej diagnozy o stanie maszyny roboczej stanowi istotne zagrożenie dla realizowanych przy jej wykorzystaniu procesów produkcyjnych, bezpieczeństwa ludzi i otoczenia.

Problematyka identyfikacji stanu degradacji maszyn z jej opisem modelowym i różnymi metodami badawczymi tych modeli jest umocowana w konstruowaniu i eksploatacji współczesnych maszyn i urządzeń technicznych, a wynikające problemy i zastosowania stanowią o treściach merytorycznych projektowania eksploatacji maszyn.

2.6. ZARZĄDZANIE W EKSPLOATACJI MASZYN

W ostatnim dziesięcioleciu tematyka zarządzania eksploatacją maszyn stała się przedmiotem współzawodnictwa w procesie zapewnienia konkurencyjności wytwarzania w warunkach niezwykle dynamicznego tempa postępu technologicznego i elastycznego dostosowania się do oczekiwań konsumenta.

Na zarządzanie w inżynierii eksploatacji składa się zbiór działań obejmujących: planowanie i podejmowanie decyzji, organizowanie oraz kierowanie i kontrolowanie skierowane na zasoby systemu (ludzkie, finansowe, rzeczowe, informacyjne) w celu racjonalnego planowania i realizacji eksploatacji maszyn.

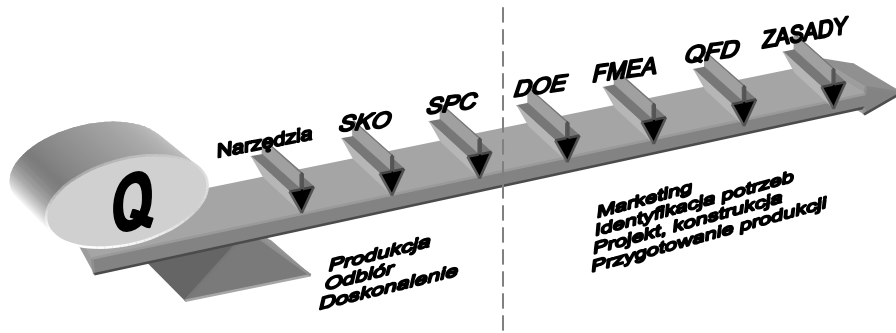
Nowoczesne metody i narzędzia zarządzania w inżynierii eksploatacji maszyn, przy uwzględnieniu potrzeb, możliwości i doświadczeń z wykorzystania nowoczesnych technologii informatycznych stanowią bazę systemów decyzyjnych w zarządzaniu. Racjonalne, proinnowacyjne i twórcze myślenie w obszarze inżynierii eksploatacji jest źródłem oszczędności surowców, energii i nakładów kapitałowych oraz podstawową strategią uzyskania korzyści i osiągnięcia zysków przez przedsiębiorstwa.

Zasady zarządzania jakością – to ogólne prawa (reguły, normy postępowania) rządzące procesami oddziaływania na jakość, opisane metodami: KAIZEN, TQM (Total Quality Management) i wielu innych stosowanych w organizacjach. Metody zarządzania jakością – to świadomie i konsekwentnie stosowane sposoby postępowania lub zespoły czynności i środków opartych na naukowych podstawach, wykorzystywane dla osiągnięcia określonego celu, przy realizacji zadań związanych z zapewnieniem jakości. Należą do nich: metoda QFD (Quality Function Deployment), metoda FMEA, metoda TPM (Total Productive Maintenance) [36].

Narzędzia zarządzania jakością służą do bezpośredniego oddziaływania w różnych fazach zapewnienia jakości lub zarządzania jakością, jak np. w procesie gromadzenia, porządkowania i przedstawiania danych lub wyników z badań oraz pomiarów dotyczących jakości. Dostępne są narzędzia tradycyjne, jak: diagram Ishikawy – przyczyn i skutków, diagram Pareto – Lorenza, schematy blokowe, diagram korelacji zmiennych, wykresy (histogramy), graficzna prezentacja wyników, arkusze kontrolne.

Nowe narzędzia to: diagram relacji, diagram pokrewieństwa, diagram macierzowy, diagram drzewa (systematyki), diagram decyzji, diagram strzałkowy i macierzowa analiza danych.

Najnowsze metody zarządzania jakością i utrzymaniem niezawodności maszyn oparte są na zasadach, metodach i narzędziach systemowego działania z obiektami i w organizacjach (rys. 2.11).



Rys. 2.11. Wpływ stosowania zasad, metod i narzędzi na doskonalenie jakości

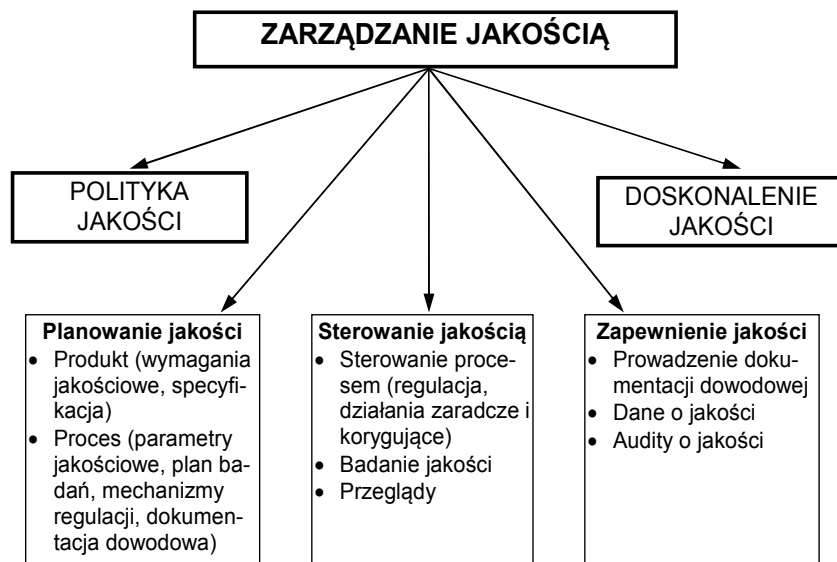
- ◇ **Zasady zarządzania jakością** (ZZJ) – ogólne prawa (reguły, normy postępowania) rządzące procesami oddziaływania na jakość,
- ◇ **Metody zarządzania jakością** (MZJ) – świadomie i konsekwentnie stosowane sposoby postępowania, lub zespół czynności i środków opartych na naukowych podstawach, wykorzystywane dla osiągnięcia określonego celu przy realizacji zadań związanych z zapewnieniem jakości,
- ◇ **Narzędzia zarządzania jakością** (NZJ) – służą do bezpośredniego oddziaływania w różnych fazach zapewnienia jakości czy zarządzania jakością, jak np. przy zbieraniu, porządkowaniu i przedstawianiu danych lub wyników z badań i pomiarów dotyczących jakości [36].

Warunkiem udanego wdrożenia i skutecznego korzystania z metod i narzędzi zarządzania jakością jest spełnienie następujących wymagań:

- zrozumienie potrzeby stosowania oraz wsparcie ze strony kierownictwa,
- staranne zaplanowanie działań związanych z wdrożeniem metody lub narzędzia,
- zaangażowanie i udział pracowników mających wpływ na doskonalenie jakości,
- dobre zaplanowanie i przeprowadzenie programu szkoleń.

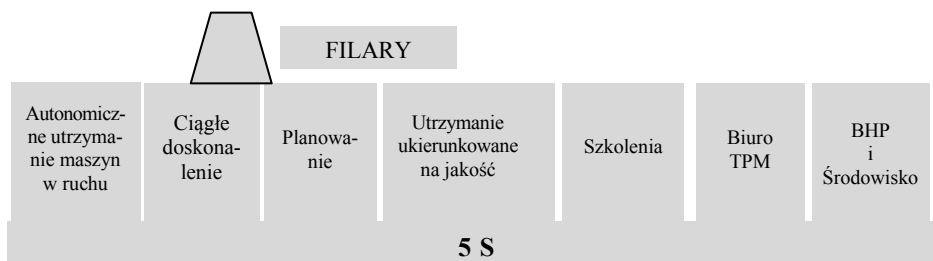
Najnowsze metody zarządzania jakością i utrzymania niezawodności maszyn po transformacji mogą być użyteczne do kontroli jakości maszyn. Do najważniejszych metod zalicza się:

- **TQM (Total Quality Management)** – rysunek 2.12.



Rys. 2.12. Zarządzanie jakością - struktura. „TQM – Elementy i ich integracja”

- **TPM (Total Productive Maintenance)** – rysunek 2.13.



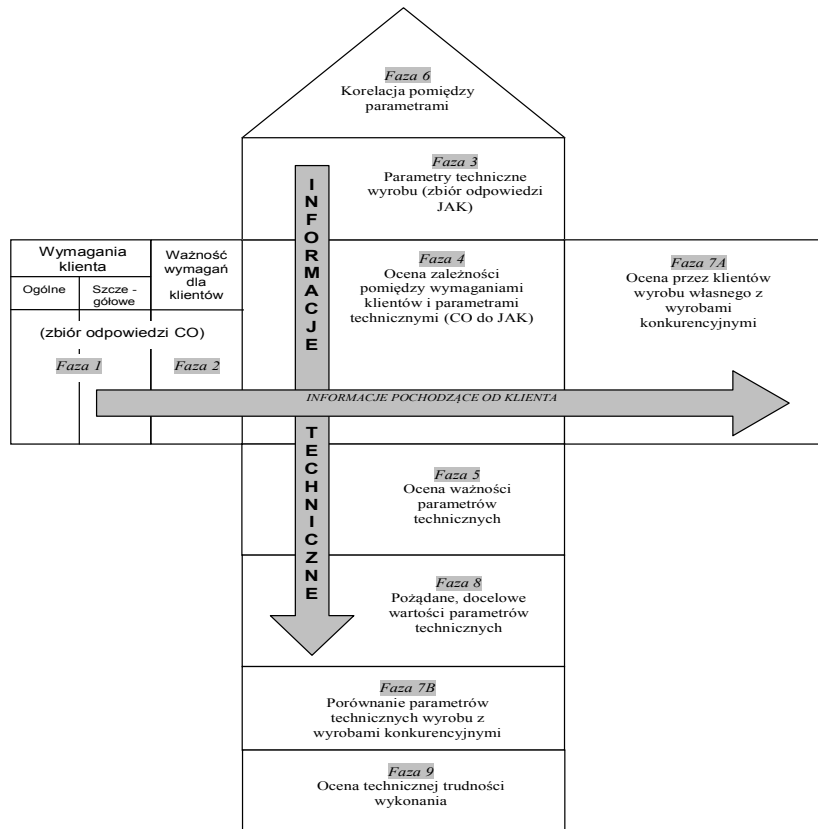
Rys. 2.13. Filary strategii TPM

TPM polega na prewencji powstawania błędów jakościowych, awarii maszyn oraz ich regulacji. Jest to program ciągłego doskonalenia opierający się na współpracy pracowników produkcji i obsługi.

Cele metody TPM to:

- zredukowanie kosztów związanych z postojami z powodu uszkodzeń,
- zredukowanie kosztów inwestycji dzięki przedłużeniu życia urządzeń,
- zredukowanie kosztów dzięki lepszemu wykorzystaniu maszyn,
- poprawienie stabilności procesu produkcyjnego - gwarancją jakości produktu i jego mniejszych kosztów.

- QFD (Quality Function Deployment) – rysunek 2.14.

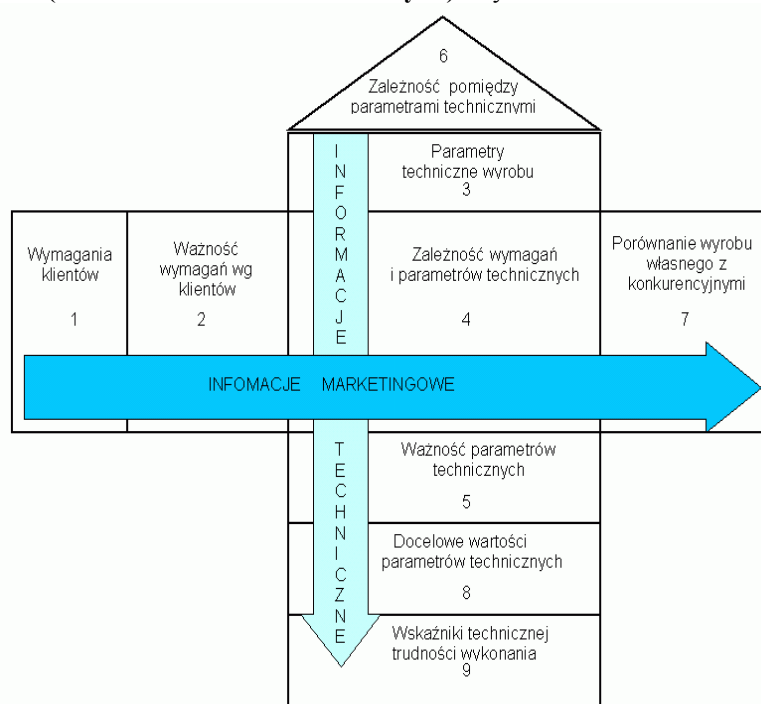


Rys. 2.14. Diagram QFD

Stosowanie metody QFD zapewnia takie korzyści jak:

- zmniejszenie o 30 ÷ 50% wprowadzanych zmian konstrukcyjnych,
- ewentualne zmiany dokonywane są jeszcze przed rozpoczęciem produkcji,
- następuje skrócenie cyklu rozwoju wyrobu,
- zmniejszenie liczby problemów w toku uruchomienia produkcji,
- zmniejszenie kosztów uruchomienia produkcji od 20 ÷ 60%,
- zmniejszenie od 20 ÷ 50% liczby reklamacji gwarancyjnych,
- ogólny spadek kosztów wytwarzania.

- **FMEA (Failure Mode and Effect Analysis)** – rysunek 215.



Rys. 2.15. Dom jakości FMEA

W ramach nawiązania współpracy z firmami regionu wybrano i dostosowano metodę QFD do potrzeb zarządzania jakością i utrzymaniem zdolności maszyn w realiach powiązań wirtualnych między kontrahentami, nazywając ją **QFD-Virtual** [36].

W uznaniu potrzeb przemysłu regionu opracowano i przedstawiono wybrany system eksploatacji maszyn w przedsiębiorstwie produkcyjnym, którego strukturę przedstawiono na rysunku 2.16. Funkcje podsystemu eksploatacji maszyn w przedsiębiorstwie określona została szczegółowo i zawiera następujący zakres działań:

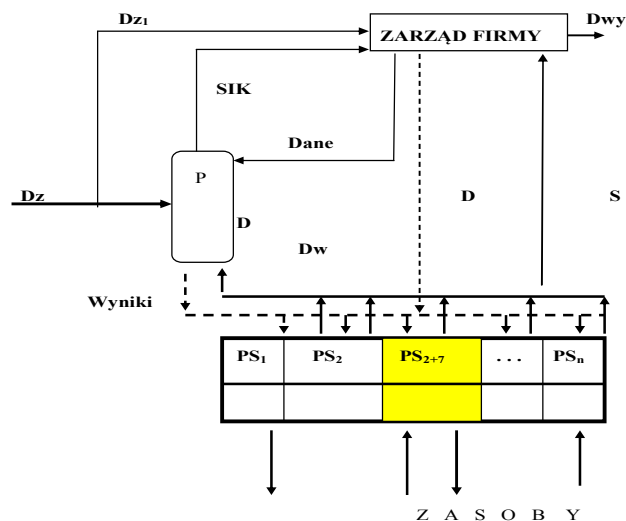
- prowadzi klasyfikację i ewidencję wszystkich środków trwałych,
- proponuje wskaźniki techniczno-ekonomiczne gospodarki środkami trwałymi,
- nadzoruje eksploatację środków trwałych,
- analizuje dane z monitoringu i podejmuje decyzje,
- wnioskuję likwidację środków trwałych,
- nadzoruje i realizuje wszystkie rodzaje przeglądów, konserwacji i napraw,
- ustala podstawowe normatywy,
- ewidencjonuje i rozlicza prowadzone prace,
- planuje zaopatrzenie w części zamienne i materiały potrzebne do napraw,
- nadzoruje realizację zamówień w tym zakresie,
- wnioskuję i uzasadnia leasing,
- wnioskuję i uzasadnia outsourcing,
- organizuje magazynowanie części zamiennych oraz ich rozliczanie,

- planuje zadania inwestycyjne,
- organizuje i realizuje zakup maszyn i urządzeń oraz szkolenie,
- realizuje niezbędne prace budowlano-montażowe,
- organizuje odbiór środków trwałych [36, 37],
- organizuje całość prac związaną z produkcją i regeneracją części zamiennych,
- przygotowuje konstrukcje i technologie napraw.



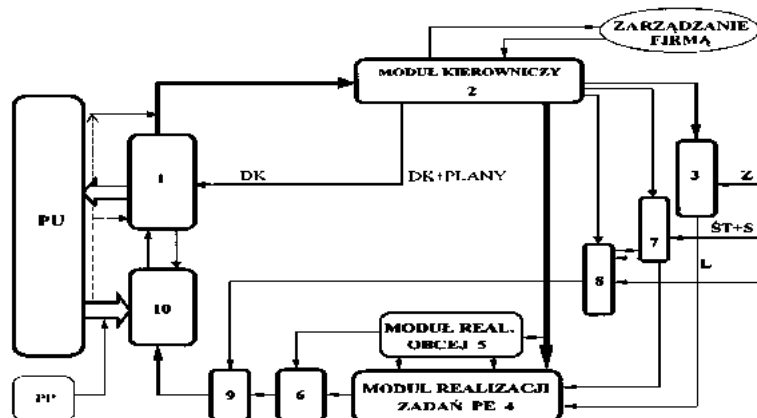
Rys. 2.16. Struktura przedsiębiorstwa traktowanego jako system

Dająca się zauważyć tendencja do coraz bardziej szerokiego delegowania uprawnień przez kierowników poszczególnych pionów do komórek niższego rzędu przekłada się na wzrost samodzielności poszczególnych podsystemów (rys. 2.17). To powoduje, że wybrane podsystemy prowadzą samodzielną wymianę z otoczeniem, dotyczy to również systemu eksploatacji.



Rys. 2.17. Podstawowe przepływy informacji dla średniego poziomu zarządzania

Model zarządzania (rys. 2.18) systemem eksploatacji zbudowano na podstawie analizy dwóch podstawowych kryteriów, tzn. przepływu i typu danych oraz realizowanych przez poszczególne moduły funkcji.



Rys. 2.18. Model zarządzania systemem eksploatacji

System eksploatacji zarządza coraz bardziej złożonymi systemami technicznymi, które alokują w sobie istotny dla działalności przedsiębiorstwa kapitał. Tradycyjne metody monitoringu, planowania i kontroli przebiegu napraw są zbyt statyczne, więc w zależności od zasobów finansowych firmy proponuje się różne warianty komputerowego wspomagania procesu zarządzania systemem eksploatacji [36, 37].

Zarządzanie utrzymaniem maszyn w ruchu jest w przedsiębiorstwie produkcyjnym sprawą kluczową, aczkolwiek w podejściu procesowym jest na ogół klasyfikowane jako proces pomocniczy w stosunku do produkcji. Tymczasem proces ten ma lub może mieć zasadniczy wpływ na ilość i koszty produkcji, jakość produktu finalnego, bezpieczeństwo ludzi i środowiska. Dodatkowo jest to proces, którego wyniki można rozpatrywać w wymiernych wartościach, a nakładami stosunkowo łatwo zarządzać.

Wszystko to sprawia, że w przedsiębiorstwach stosujących tzw. dobre praktyki inżynierskie zarządzanie i utrzymanie maszyn nie jest jedynie kosztem, którego należy unikać – ale również aktywnym działaniem, mogącym stanowić efektywny wkład w rozwój firmy.

3. SPECYFIKACJA ZAGADNIEŃ BADAWCZYCH

Badania zagrożeń utraty zdolności środowiskowych systemów technicznych obejmują zagadnienia podstawowe z obszaru degradacji stanu maszyn, zużywania się potencjału eksploatacyjnego (użytkowego i obsługowego) oraz problemy racjonalnej i bezpiecznej eksploatacji maszyn. Treści tego opracowania stanowią o całościowych dokonaniach zespołu badawczego, z wyróżnieniem podstawowych zagadnień rozważanych i weryfikowanych praktycznie, a istotnych i często nowych oryginalnych osiągnięć zespołu.

Pomyślnie zrealizowanie badań projektu ma swoje odzwierciedlenie w doskonałości, matematycznie uzasadnionych i praktycznie zweryfikowanych zasadach projektowania i budowy procedur monitorowania stanu zdolności i badania ewolucji zmian tego stanu dla modułowo konstruowanych maszyn roboczych.

Uporządkowanie metodologii badań diagnostycznych, stworzenie podstaw diagnostycznego systemu eksploatacji modułowo konstruowanych maszyn, wykorzystanie inżynierii wirtualnej w teorii diagnostyki technicznej, szczególnie w zakresie wnioskowania inteligentnego, to wymierny poznawczo aspekt tej pracy.

3.1. ZADANIE BADAWCZE

Rosnące wymagania gospodarki rynkowej i ochrony środowiska naturalnego w zakresie "jakości" nowo konstruowanych lub modernizowanych obiektów zmuszają konstruktorów maszyn do wprowadzania nowych metod i środków w projektowaniu i konstruowaniu, a także w planowaniu technologii wytwarzania i eksploatacji. Proponowane metody i środki nadzoru ewolucji zmian stanu maszyn poprzez monitorowanie stanu degradacji metodami diagnostyki technicznej ułatwiają podejmowanie decyzji eksploatacyjnych [3, 15, 26, 30].

Nowe trendy konstruowania modułowego, zwiększającego podatność eksploatacyjną (obsługiwalność, diagnozowalność, naprawialność) wymuszają nowe podejście w badaniach ewolucji ich zmian stanu. Ocena stanu systemów technicznych (na etapie prototypu), jakość nowo wytwarzanych systemów technicznych (na etapie wytwarzania) oraz monitorowanie ewolucji zmian stanu (na etapie eksploatacji) jest możliwe, stosując metody diagnostyki technicznej. Dostarcza ona informacji o stanie aktualnym, przeszłym i przyszłym w dobrze rozwiązanych systemach rozpoznawania i monitorowania zmian stanu nadzorowanych systemów technicznych [1, 4, 26].

Specyfika, unifikacja i typizacja modułów konstrukcyjnych maszyn wymaga projektowania dedykowanych systemów diagnozowania. Wyzwała to wiele nowych problemów natury konstrukcyjnej, technologicznej i eksploatacyjnej, które podjęto w tym projekcie, aby wykorzystując dokonania nauki doskonalić praktykę użytkowania maszyn [10, 11, 24, 30].

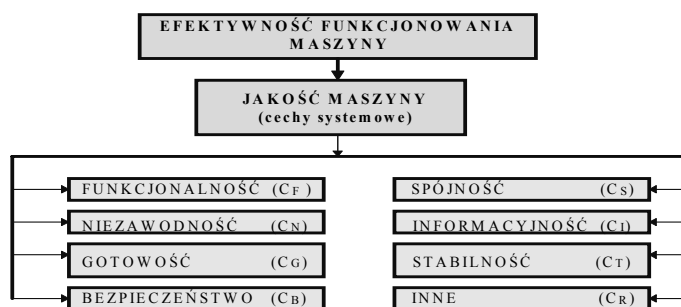
Zadanie główne tego projektu dotyczy badań ewolucji stanu środowiskowych systemów technicznych metodami inżynierii wirtualnej, zapewniających stan zdolności zadaniowej. Istnieje więc potrzeba opracowania dedykowanych struktur diagnostycznych konstruowanych maszyn i przeprowadzenia badań związanych z opracowaniem

procedur monitorowania zmian ich stanu (ewolucji zmian) w zależności od narzuconych czynników ograniczających, w tym zaleceń ochrony środowiska [14, 19, 29].

Celem ogólnym projektu jest wykorzystanie technik informacyjnych (często już wirtualnych) w badaniach stanu, zagrożeń bezpieczeństwa i środowiska eksploatawanych maszyn. Problematyka zagadnień szczegółowych została skonfigurowana wokół następujących problemów naukowych i badawczych:

- weryfikacja ewolucji stanu systemów technicznych,
- ocena przydatności diagnostycznej narzędzi inżynierii wirtualnej,
- drażnienie danych (systemy ekspertowe, sieci neuronowe, szare systemy ii),
- modelowanie stanu systemów technicznych (modele symptomowe, modele energetyczne, modele holistyczne, modele modalne),
- badania narzędzi jakości obiektów w zakładzie (FMEA, TPM, QFD, Maximo),
- studium badań systemów technicznych (efektywność, bezpieczeństwo, ryzyko),
- zastosowania inżynierii wirtualnej w eksploatacji obiektów,
- studium ochrony środowiska.

Tak sformułowane zagadnienia ujmują całą problematykę racjonalnej eksploatacji zdalnych, bezpiecznych i niezawodnych maszyn, ocenianych za pomocą kryteriów efektywności funkcjonowania – zgodnie z rysunkiem 3.1 – w całym cyklu ich istnienia (od zamysłu i potrzeby, aż do likwidacji i utylizacji po wykorzystaniu).



Rys. 3.1. Cechy systemowe kształtujące jakość maszyny

Problemy eksploatacji maszyn w ujęciu zakresu tych badań winny być rozpoznawane w całym cyklu życia systemu technicznego, od rozpoznania potrzeby, poprzez konstruowanie, wytwarzanie, aż do wycofania z eksploatacji, likwidacji, odzysku i na recykulacji kończąc. Racjonalne działania prowadzone przez użytkownika, wytwórcę i ponownie użytkownika na każdym etapie istnienia systemu dają wymierne efekty działania, które dają się przeliczać na efekty ekonomiczne [9, 12, 19, 29, 35].

Szczegółowa analiza faz istnienia systemu technicznego [C-K-W-E] wyznacza precyzyjnie zadania, ujmując wszelkie problemy jakości eksploatacji, zdolności, bezpieczeństwa na każdym etapie istnienia wytworu. Etap eksploatacji jakościowo skupia wszelkie działania poprzednich etapów, wymuszając eksploatację korekcyjną, progностyczną lub prewencyjną [22, 34].

Realizacji podjętej tematyki, oparta na założeniach przedstawionej dalej koncepcji utrzymania zdolności maszyn, uwzględniająca dużą szczegółowość zadań wspomagających jakość maszyny w eksploatacji stanowi o treściach tego opracowania.

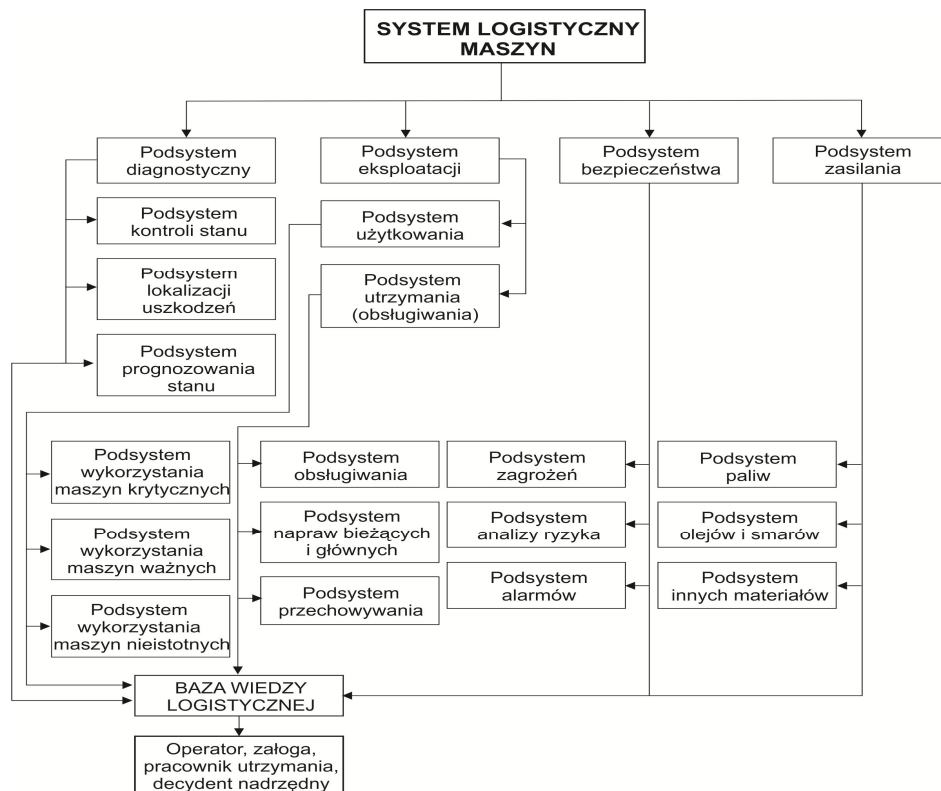
Opracowanie koncepcji systemu utrzymania zdolności maszyn, obejmuje następujące zagadnienia:

- sformułowanie pojęcia systemu logistycznego maszyn,
- określenie istoty sterowania utrzymaniem maszyn w stanie zdolności,
- algorytmy sterowania z uwzględnieniem: bezpieczeństwa, stanu i kosztów,
- system diagnostyczny w sterowaniu zdolnością maszyn i bezpieczeństwem,
- budowa systemu utrzymania zdolności maszyn,
- zarządzanie utrzymaniem zdolności maszyn,
- ocena efektywności funkcjonowania systemu utrzymania maszyn,
- informatyczne podsystemy zarządzania utrzymaniem zdolności maszyn.

System logistyczny S_L maszyn (rys. 3.2) zdefiniowano za pomocą wyrażenia:

$$S_L = \langle S_D, S_E, S_B, S_Z, R_{DZ} \rangle \quad (3.1)$$

gdzie: S_D – podsystem diagnostyczny,
 S_E – podsystem eksploatacji,
 S_B – podsystem bezpieczeństwa,
 S_Z – podsystem zasilania/zaopatrzenia.



Rys. 3.2. Schemat funkcjonalny systemu logistycznego maszyn

Obecnie stosowane pojęcie „eksploatacja maszyn” jest niewystarczające i wymaga modernizacji, w związku z tym istnieje potrzeba wprowadzenia nowego pojęcia – „system logistyczny maszyn”. Jest to podyktowane następującymi czynnikami:

- trzeba sterować utrzymaniem i bezpieczeństwem maszyn, a takimi narzędziami sterowania są zasady, metody i środki diagnostyki technicznej,
- podsystem eksploatacji jest narzędziem realizacji konkretnych działań ludzi,
- maszyna musi być bezpieczna w zakresie własnym, operatora i otoczenia,
- do efektywnego funkcjonowania maszyn są niezbędne materiały, które do tej chwili były umiejscowione w podsystemie zaopatrzenia systemu logistycznego.

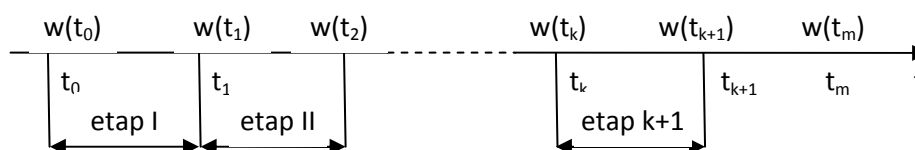
Tak rozumiany i przedstawiony system logistyczny maszyn jest samowystarczalny, w pełni zabezpieczający efektywny proces ich eksploatacji, a w tym ich bezpieczne i racjonalne funkcjonowanie.

Istota sterowania utrzymaniem maszyn w stanie zdatności

W systemie eksploatacji maszyn obok przekazywanych informacji jest istotne także gromadzenie, przetwarzanie oraz wykorzystywanie tej informacji do sprawnego działania. Przedmiot decyzyjny na podstawie otrzymanej informacji i odpowiedniego algorytmu przetwarzania wytwarza informację sterującą (decyzje) o sterowaniu utrzymaniem maszyn w stanie zdatności funkcjonalnej i zadaniowej.

Funkcjonowanie podsystemu obsługi maszyn, w tym podsystemu diagnostycznego, przebiega w czasie. Czas ten można podzielić na etapy. Przy tym podziale czasu proces decyzyjny jest procesem wieloetapowym i ma charakter dyskretny (rys. 3.3). Stąd też i decyzje są podejmowane w chwilach dyskretnych $t_0, t_1, t_2, \dots, t_k, \dots, t_m$. W chwili zakończenia przez obiekt k -tego etapu funkcjonowania, należy ustalić jego stan $w(t_k)$ przynależny do zbioru stanów w możliwych do zaistnienia w chwili k -tego etapu. Mając ustalony stan w chwili t_k , ustala się stan obiektu w chwili t_{k+1} zakończenia $k+1$ etapu funkcjonowania, który jest stanem początkowym dla etapu następnego. W takim ujęciu decyzja jest podejmowana na podstawie informacji o aktualnym stanie maszyny, tj. w danej dyskretniej chwili t_k .

Przewidywanie stanu maszyny w chwili $t_p > t_0$ jest istotne z uwagi na konieczność ustalenia w chwili t_p (terminu) następnego diagnozowania, które w tym przypadku ma sens profilaktyczny, zapobiegający wystąpieniu przyszłych stanów niezdatności. Należy zwrócić uwagę na to, że termin następnego diagnozowania nie jest stały, gdyż jest on uwarunkowany stanem maszyny w chwili poprzedniej. Zatem istota zagadnienia sprowadza się nie do wykrycia uszkodzeń, lecz do zapobiegania ich występowania.



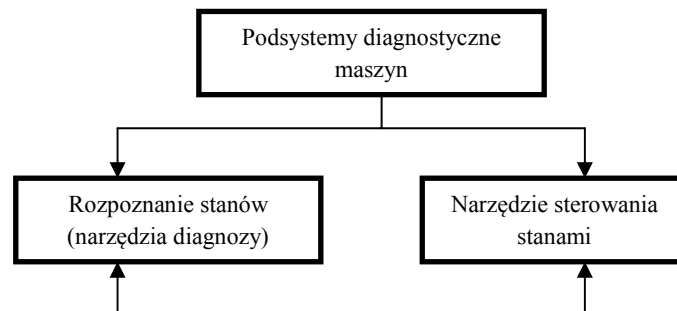
Rys. 3.3. Etapy sterowania utrzymaniem maszyn w stanie zdatności

Do sterowania utrzymaniem maszyn w stanie zdatności funkcjonalnej zadaniowej jest nieodzowny algorytm sterowania. Algorytm ten powinien zawierać trzy zasadnicze elementy: badania i ocenę stanów, ustalenie przyczyn zaistniałych stanów, przewidywanie rozwoju stanów [9, 10, 12, 13, 14, 30]. Istotnym elementem sterowania stanem maszyn jest ich diagnozowanie i obsługiwanie po wykonaniu określonych zadań.

Podsystem diagnostyczny

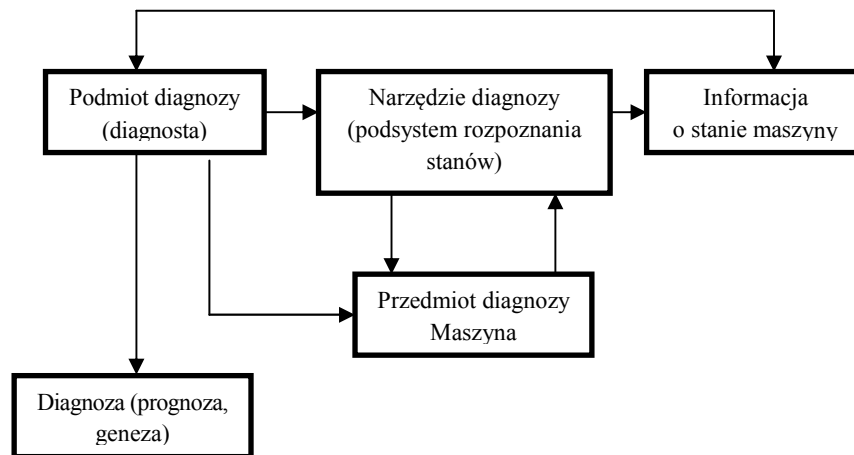
We współczesnych systemach eksploatacji maszyn podstawową rolę spełnia podsystem diagnostyczny [4, 9, 10, 12]. Ze względu na spełnianie funkcji rozróżnia się dwa rodzaje podsystemów diagnostycznych (rys. 3.4):

- podsystem związany bezpośrednio lub pośrednio z maszyną, który nazwano podsystemem rozpoznania stanów jako narzędzie diagnozy,
- podsystem związany bezpośrednio z systemem utrzymania maszyn jako jego zasadniczy element, zatem narzędzie sterowania stanami maszyn, czyli likwidacji maszyn niezdatnych.



Rys. 3.4. Ilustracja graficzna rodzajów podsystemów diagnostycznych maszyn

Istotę podsystemu diagnostycznego traktowanego jako narzędzia diagnozy przedstawiono na rysunku 3.5.



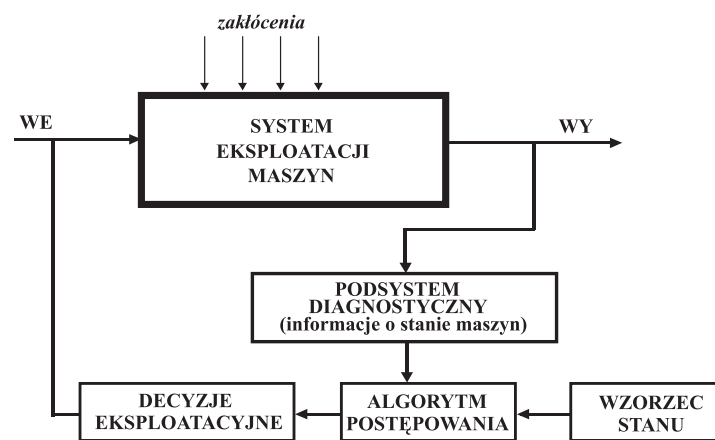
Rys. 3.5. Ilustracja graficzna układu diagnosta-narzędzie diagnozy-maszyna

System rozpoznania stanu jest zbiorem elementów pomiarowych, dopasowujących, obliczeniowych i programów, przeznaczonych do: wydobywania, zbierania, gromadzenia, przetwarzania i przedstawiania informacji o stanie maszyn. Synonimami systemu rozpoznania stanu maszyn są: system diagnostyczny, urządzenie diagnostyczne, środek diagnozy, środek diagnozowania.

Centralne miejsce w obsłudze w aspekcie obiegu informacji o stanie degradacji maszyn, zajmuje podsystem diagnostyczny D_G , opisany następująco (rys. 3.6):

$$D_G = \langle O_T, M_D, A_D, T_D, S_S, D_D, R_{DT} \rangle \quad (3.2)$$

gdzie: O_T – zbiór maszyn,
 M_D – zbiór modeli diagnostycznych maszyn,
 A_D – zbiór algorytmów diagnozowania maszyn,
 T_D – zbiór procesów diagnozowania i obsługi maszyn,
 S_S – zbiór systemów rozpoznania stanów maszyn (środków i urządzeń),
 D_D – zespół diagnostów,
 R_{DT} – relacje.



Rys. 3.6. Podsystem diagnostyczny jako narzędzie sterowania stanem maszyn

Na podstawie zebranych informacji w podsystemie diagnostycznym diagnosta musi podjąć następujące decyzje:

- stan maszyny w chwili t (obiekt zdalny, obiekt niezdalny),
- w przypadku zdalności maszyny – jej stan w chwili $t+\Delta t$,
- czas pracy maszyny do likwidacji, w celu skierowania do recyklingu,
- czas pracy maszyny do naprawy głównej,
- lokalizacja uszkodzonych elementów maszyny.

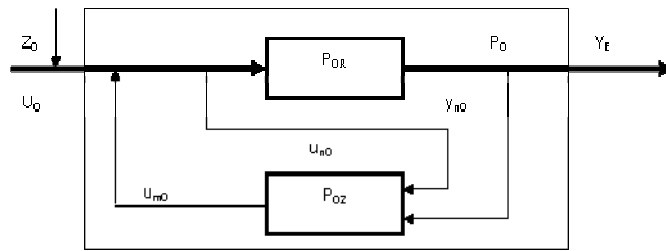
System utrzymania maszyn

W aspekcie sterowania podsystemem utrzymania maszyn zdefiniowano następująco (rys. 3.7) [9, 28]:

$$P_O = \langle P_{OR}, P_{OZ}, R_{OZ} \rangle \quad (3.3)$$

gdzie: P_O – podsystem utrzymania maszyn,
 P_{OR} – roboczy podsystem utrzymania,
 P_{OZ} – podsystem zarządzania utrzymaniem,
 R_{OZ} – relacje.

Podsystem P_{OZ} zarządzania utrzymaniem, a w zasadzie jego podsystem informacyjny zbiera wszelkie informacje (sygnały u_{no}) o wejściach podsystemu utrzymania (np.: liczb obiektów oczekujących na obsługiwaniu, stan bazy obsługowej, kwalifikacje pracowników, itp.), a także informacje wyjściowe z podsystemu (sygnały y_{no} – np.: jakość usług, koszty usług). Na podstawie tych informacji podsystem zarządzania podejmuje decyzje i za pomocą sygnałów sterujących u_{mo} nadzoruje i koordynuje funkcjonowanie całego podsystemu.



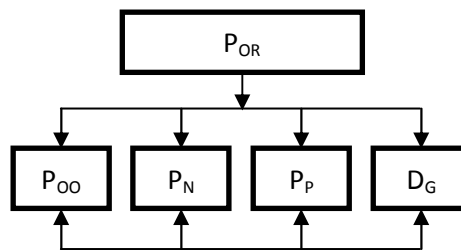
Rys. 3.7. Podsystemu utrzymania maszyn w aspekcie sterowania: P_{OR} – podsystem roboczy obsługiwania, P_{OZ} – podsystem zarządzania obsługiwaniem, U_O – wejście, Y_O – wyjście, Z_O – zakłócenia, u_{no} , y_{no} , u_{mo} – sygnały odpowiednio: wejściowe, wyjściowe i sterujące

Podsystem roboczy utrzymania

Podsystem roboczy P_{OR} utrzymania maszyn opisuje wyrażenie (rys. 3.8) [30, 34]:

$$P_{OR} = \langle P_{OO}, P_N, P_P, D_G, R_{OG} \rangle \quad (3.4)$$

gdzie: P_{OO} – podsystem obsługiwań bieżących i okresowych,
 P_N – podsystem napraw (remontu),
 P_P – podsystem przechowywania,
 D_G – **podsystem diagnostyczny**,
 R_{OG} – relacje.



Rys. 3.8. Składowe elementy roboczych podsystemu utrzymania maszyn

W podsystemie utrzymania obowiązują następujące zasady: obiekty przed i po obsługiwaniu są diagnozowane w podsystemie diagnostycznym.

Podsystem obsługiwań bieżących i okresowych służy do realizacji obsługiwań w układzie:

- zbiór sprawdzeń wynikających z ustalonych algorytmów diagnozowania,
- operacje, które należy wykonać w wyniku postawienia diagnozy (np.: regulacje, naprawy bieżące),
- operacje, które należy wykonać w miarę potrzeb (np. sprawdzenie i ustalenie poziomów płynów eksploatacyjnych).

Do typowych operacji obsługowych maszyn należą: sprzątanie, mycie, smarowanie, przegląd, dokręcanie, połączeń, demontaż i montaż, prace ślusarskie, prace mechaniczne, prace blacharskie, prace spawalnicze, prace stolarskie, prace lakiernicze, inne.

Podsystem napraw obejmuje wykonywanie napraw: bieżących, średnich oraz głównych.

Naprawa bieżąca maszyn jest to zbiór operacji o zmiennym zakresie i okresowości. Zakres naprawy jest ustalany indywidualnie dla każdego obiektu na podstawie jego diagnozowania. Z reguły chwila wystąpienia naprawy bieżącej jest losowa. Celem naprawy bieżącej obiektu jest przywrócenie obiektowi stanu zdadności, przez wymianę najczęściej pojedynczych części i prostych podzespołów. Z uwagi na bardzo częste występowanie rozregulowań różnych par kinematycznych maszyn wyróżniono rozregulowanie jako charakterystyczny oddzielny rodzaj uszkodzenia, zaś regulacje traktuje się jako jedną z operacji obsługi.

Naprawy średnie wykonuje się dla maszyn o pracochłonności większej niż pracochłonność napraw bieżących. Naprawa średnia polega na wymianie jednego lub kilku słabych ogniw maszyny. Podkreślić należy, że naprawy średnie z reguły stosuje się tylko dla niektórych maszyn specjalnego przeznaczenia.

Naprawy główne są wykonywane metodą indywidualną, wymiany zespołów lub mieszaną. Naprawa główna maszyn powinna być uzasadniona ekonomicznie. Z reguły koszt naprawy głównej wynosi 60÷70% wartości nowego obiektu technicznego. Ta zasada nie dotyczy maszyn specjalnych.

Celem **podsystemu przechowywania** maszyn jest:

- przechowywanie maszyn użytkowania bieżącego (na stanowiskach roboczych),
- przechowywania maszyn na konserwacji,
- ograniczenie do minimum procesów starzenia maszyn,
- utrzymanie maszyn w stanie zdadności funkcjonalnej i zdadności zadaniowej.

Podsystem zarządzania utrzymaniem maszyn

Zasadnicze zadania podsystemu zarządzania P_{OZ} (rys. 3.9) systemem utrzymania maszyn są następujące:

- planowanie i podejmowanie decyzji w zakresie obsługi,
- organizowanie obsługi,
- pobudzanie i inicjowanie racjonalnego przebiegu procesów obsługi,
- kontrolowanie stopnia realizacji zadań.

W sensie decyzyjnym podsystem zarządzania utrzymaniem P_{OZ} można opisać wyrażeniem:

$$P_{OZ} = \langle I_{IO}, D_{IO}, R_{LO} \rangle \quad (3.5)$$

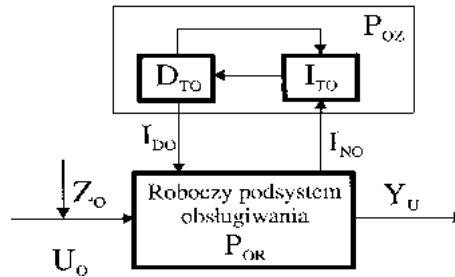
gdzie: I_{IO} – podsystem ewidencyjno-sprawozdawczy,

D_{IO} – podsystem planistyczno-decyzyjny,

R_{LO} – relacje.

Podsystem ewidencyjno-sprawozdawczy I_{L0} służy do:

- zbierania, przetwarzania i przedstawiania informacji o procesach utrzymania,
- odtwarzania istotnych zdarzeń z funkcjonowania systemu utrzymania,
- uzyskania danych do racjonalnego gospodarowania systemem utrzymania,
- opracowania i generowania pełnego zakresu wymaganych sprawozdań,
- generowania danych o obsłudze obiektów dla innych podsystemów,
- generowania danych potrzebnych do podjęcia decyzji.



Rys. 3.9. Struktura podsystemu zarządzania utrzymaniem maszyn

Podsystem planistyczno-decyzyjny D_{LO} systemu utrzymania powinien:

- przygotowywać dane do planowania funkcjonowania systemu utrzymania,
- generować propozycje planów obsługiwan obiektów,
- generować meldunki i dane do systemów nadrzędnych,
- generować dane do podejmowania decyzji na różnych szczeblach zarządzania.

W podsystemie planistyczno-decyzyjnym I_{LO} są podejmowane decyzje związane z racjonalnym obsługiwaniem maszyn, wśród których można wyróżnić:

- wybór strategii utrzymania maszyn w stanie zdadności,
- dopasowanie systemu utrzymania do potrzeb systemu użytkowania,
- planowanie i obsługiwania,
- organizacja i funkcjonowanie systemu utrzymania,
- określenie optymalnych terminów diagnozowania obiektów,
- wybór metod i urządzeń diagnostycznych,
- programowania asortymentu części wymiennych.

Utrzymanie maszyn powinno być zarządzane za pomocą rachunku kosztów [9, 12, 35]. Istota zarządzania utrzymaniem maszyn w stanie zdadności za pomocą rachunku kosztów polega na:

- utworzeniu budżetu (planu) kosztów utrzymania maszyn,
- realizacji zadań obsługiwan obiektów z uwzględnieniem budżetu kosztów,
- analizie kosztów utrzymania maszyn.
- analizie kosztów utrzymania maszyn obejmuje zagadnienia:
- ciągłe śledzenie zmian kosztów utrzymania (bilans kosztów).
- wykorzystaniu mierników efektywności utrzymania.
- wpływie kosztów utrzymania na zysk i efektywność systemu działania.
- bilansie kosztów całkowitych i utrzymania maszyn w systemie działania.

Budżet kosztów utrzymania maszyn powinien być na bieżąco śledzony i analizowany. Jeśli jest spełniony warunek:

$$C_{er_{min}} < C_{rz} < C_{er_{max}} \quad (3.6)$$

nie ma podstaw do twierdzenia, że gospodarka eksploatacyjna jest prowadzona niewłaściwie. W przypadku, gdy zachodzi nierówność (3.7):

$$\begin{aligned} C_{rz} &> C_{er_{max}} \\ C_{rz} &< C_{er_{min}} \end{aligned} \quad (3.7)$$

istnieje podejrzenie, że system utrzymania maszyn funkcjonuje niewłaściwie i wówczas należy ustalić przyczynę zaistnienia tego zdarzenia.

Ocena efektywności funkcjonowania systemu utrzymania maszyn

Do oceny efektywności funkcjonowania systemu utrzymania maszyn można wykorzystać dwie metody [9, 35]:

- **największego efektu (największej wydajności)**, co oznacza, że przy stałych kosztach C systemu utrzymania maszyn należy dążyć do osiągnięcia maksymalnej wartości dochodów D .

$$E_{ef} = \max \left(\frac{D}{C} \right) \quad C = const, D \rightarrow \max \quad (3.8)$$

- **oszczędności środków**, co oznacza, że przy stałych dochodach D systemu utrzymania maszyn, należy dążyć do uzyskania minimalnej wartości kosztów C .

$$E_{ef} = \max \left(\frac{D}{C} \right) \quad D = const, C \rightarrow \min. \quad (3.9)$$

Ocenę efektywności funkcjonowania systemu utrzymania maszyn można dokonać za pomocą: **wskaźników, współczynników, jednostek wartościowych**.

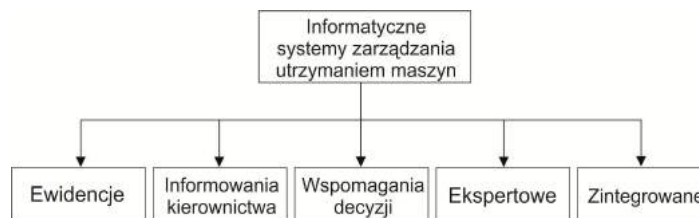
Mierniki efektywności procesu utrzymania maszyn mogą być wyrażone w postaci wskaźników (stosunek dwóch wielkości niejednorodnych), współczynników (stosunek dwóch wielkości jednorodnych), a także w jednostkach materialnych, których podstawą są fizyczne jednostki miar, na przykład objętości, ciężaru, czasu, powierzchni oraz z jednostek wartościowych wyrażanych w postaci pieniężnej (np. jednostki pomnożone przez ceny).

Informatyczny podsystem zarządzania utrzymaniem maszyn

Ze względu na rodzaj realizowanych funkcji systemy informatyczne zarządzania utrzymaniem maszyn (rys.3.10) można podzielić na [12, 15, 26, 33]:

- ewidencyjne (ewidencyjno-informacyjne, transakcyjne),
- informowania kierownictwa,
- wspomagania decyzji,
- systemy ekspertowe.

Podstawowym zadaniem systemów ewidencyjnych jest bieżąca rejestracja wszystkich faktów, w tym gospodarczych w systemie działania. Służą one do przygotowania sprawozdań dotyczących poszczególnych dziedzin funkcjonowania systemu działania. Pełnią one również funkcje usługowe dla innych podsystemów. Przykładami takich podsystemów mogą być: ewidencja zatrudnienia, płac, środków finansowych, rachunkowość i koszty, gospodarka środkami trwałymi, gospodarka materiałowa itp.



Rys. 3.10. Rodzaje informatycznych podsystemów zarządzania

Zasadniczą wadą systemów transakcyjnych jest dostarczenie informacji z dużym opóźnieniem czasowym, stąd mała ich przydatność do bieżącego zarządzania syste-

mem. Wady tej nie mają **systemy informowania kierownictwa (SIK)**. Celem systemów informowania kierownictwa jest usprawnienie i racjonalizacja procesów informacyjno-decyzyjnych, tzn. dostarczanie bez zwłoki kierownictwu systemów działania niezbędnych do operacyjnego i taktycznego, bieżącego zarządzania systemem. Systemy te z reguły obsługują średni szczebel zarządzania.

Systemy informowania kierownictwa stanowią zbiór wyspecjalizowanych programów zorientowanych problemowo, których celem jest wsparcie analiz techniczno-ekonomicznych. Informacje wynikowe w szczególności dotyczą:

- odchyłeń od ustalonych wskaźników (np. wskaźnik efektywności działania, zysk, dochód, koszty, współczynnik gotowości technicznej itp.),
- wskaźników alarmowych, wskazujących na zagrożenie stopnia realizacji zadań systemu działania, źródła i miejsca wystąpienia zagrożeń (np. przekroczenie kosztów produkcji podstawowej, logistycznych, w tym eksploatacji),
- wskaźników strukturalnych charakteryzujących stabilność lub zmiany w systemie działania i jego otoczenia (np. ceny materiałów i maszyn, wartość sprzedaży, kształtowanie się: wartości produkcji, zatrudnienia, kosztów itp.).

System wspomagania decyzji umożliwia decydującym szczebla najwyższego możliwości identyfikacji problemu decyzyjnego oraz tworzenie i rozwiązywanie modeli decyzyjnych, umożliwiających wybór właściwych decyzji. Systemy te są wykorzystywane we wspomaganiu podejmowania decyzji strategicznych i taktycznych (długookresowych), w problematyce: planowania działalności gospodarczej, inwestycji, zaopatrzenia, sprzedaży wyrobów i usług, gospodarki finansowej i naprawczej.

Ekspertowe systemy zarządzania – w systemach tych komputer spełnia rolę eksperta, czyli środka do rozwiązywania problemów na podstawie reprezentacji wiedzy z wykorzystaniem odpowiednich reguł poprawnego rozumowania, a w szczególności reguł wnioskowania. Można wyróżnić dwie cechy takiego systemu komputerowego:

- komputer wyznacza rozwiązanie problemu na podstawie dostępnej wiedzy, którą posiadamy o systemie utrzymania maszyn, za pomocą programu, który realizuje pewien proces rozumowania,
- opis wiedzy o utrzymaniu maszyn nie jest podany w postaci precyzyjnych wzorów matematycznych, a w postaci zbioru faktów i reguł logicznych.

Informatyczne systemy zarządzania utrzymaniem maszyn są obsługiwane przez systemy informatyczne klasy **CMMS** (Computerised Maintenance Management System - gospodarka naprawcza, utrzymanie, inwestycja, serwis). Znanych jest wiele systemów informatycznych klasy CMMS, jak na przykład: maszyna, APIPro, IFS, ISA - BPCS.

Opracowana koncepcja doskonalenia systemu eksploatacji maszyn w aspekcie **badania zagrożeń zdolności środowiskowych systemów technicznych** uwzględnia:

- obecnie istniejące systemy utrzymania maszyn opierające się głównie na metodzie planowo-zapobiegawczej z wykorzystaniem metod diagnostyki technicznej,
- proponowane koncepcje systemu utrzymania maszyn z wykorzystaniem kryterium stanu technicznego, które poza nielicznymi próbami wdrożenia nie zostały powszechnie zastosowane w praktyce,
- potrzebę opracowania systemu utrzymania maszyn opartego o kryteria: stanu technicznego, efektywności (kosztów) i bezpieczeństwa.

Przedstawiona problematyka została szczegółowo opracowana w realizowanym projekcie badawczym, a dokonania zespołu badawczego zaprezentowano w szeregu publikacjach.

Metodyka badań ewolucji stanu zdolności środowiskowych systemów technicznych obejmuje:

- opracowanie zasad ewolucji stanu systemów technicznych (systemów modułowych oraz ewolucji procesów uszkodzeń),
- opracowanie i adaptację procedur rozpoznawania stanu badanych systemów technicznych narzędziami inżynierii wirtualnej (MatLab SIMULINK, systemy ekspertowe, sieci neuronowe, data mining, zbiory rozmyte, szare systemy, optymalizacja, programowanie genetyczne i ewolucyjne),
- modelowanie diagnostyczne degradacji badanych systemów technicznych (modele symptomowe, holistyczne),
- weryfikację opracowanego systemu narzędzi kształtowania jakości zadaniowej obiektów technicznych w proponowanych systemach utrzymania zdolności – diagnostyczny system eksploatacji maszyn – w aplikacji praktycznej wybranych przedsiębiorstw, z uwzględnieniem systemów zarządzania jakością w przedsiębiorstwie (FMEA, TPM, QFD, Kansei),
- opracowanie miar dla badań systemów technicznych w aspekcie efektywności funkcjonalnej i ekonomiczności, bezpieczeństwa oraz analizy ryzyka technicznego,
- praktyczne wskazania stosowania procedur inżynierii wirtualnej w obszarach dedykowanych systemów diagnostycznych w życiu obiektów (diagnostyka, niezawodność, projektowanie, konstruowanie, technologia wytwarzania, eksploatacja, bezpieczeństwo, ochrona środowiska),
- opracowanie zasad wdrażania dokonań projektu w praktycznych przykładach zastosowań.

Egzemplifikacja wypracowanych rozwiązań przeprowadzona została w badaniach stanowiskowych i eksploatacyjnych wybranych obiektów (system transportu kolejowego, silniki spalinowe, przekładnie zębate, łożyska, badania eksploatacyjne pojazdów samochodowych marki STAR), w których na podstawie rzeczywistych przebiegów sygnałów wybranych modułów maszynowych przeprowadzono weryfikację proponowanej metodyki monitorowania ewolucji stanu.

W zakresie rozważań szczegółowych zagadnień tego projektu opracowano i zwerifikowano wiele oryginalnych procedur ułatwiających realizację i opis badań, obejmujących:

- metodę wyboru punktów pomiarowych mierzonych sygnałów,
- metody wyznaczania wartości granicznych dla estymatorów sygnałów,
- graficzną metodę wielowymiarowej prezentacji wektorów i wartości własnych,
- metodę wyznaczania wskaźników jakości eksploatacji,
- metodę wyznaczenia terminu kolejnego diagnozowania.

Wnioskowanie diagnostyczne prowadzące do trafnej decyzji diagnostycznej wymaga obróbki pozyskanych danych pomiarowych z badań, które należy poddać różnorodnym zabiegom w czasie archiwizacji, selekcji informacji, ekstrakcji informacji o stanie w zakresie wyznaczania wartości granicznych, modelowania, oceny niezawodności i ryzyka, czy optymalizacji terminów kolejnych diagnozowań.

Ogromna ilość informacji diagnostycznej z badań stanowiskowych i eksploatacyjnych (głównie zespołów i układów samochodu) poddana została opracowaniu statystycznemu w zakresie ekstrakcji informacji użytecznej oraz dla potrzeb wyznaczania wskaźników charakteryzujących zdolność zadaniową.

Czynnikiem sprzyjającym realizacji zadań badawczych jest prowadzona przez członków zespołu aktywna współpraca naukowa z wieloma ośrodkami krajowymi (AGH, Politechnika Poznańska, Politechnika Warszawska, WITPiS) i zagranicznymi (Southampton Instytut, Bristol University, University of Sheffield, University of Kiev, EAFIT University of Colombia) od lat specjalizującymi się w diagnostyce technicznej maszyn.

Także aktywna praca w zespołach diagnostycznych (NDT, PTDT, ZD SPE KBM PAN, ZŚ SPE KBM PAN) skupiających liderów zagranicznej i polskiej diagnostyki, stwarza nie do przecenienia sprzyjające warunki do realizacji zadań.

3.2. TEMATYKA PROJEKTU W BADANIACH ŻYCIA MASZINY

Ewolucja stanu maszyn jest uwarunkowana czynnikami konstrukcyjnymi i technologicznymi, czynnikami zewnętrznymi obiektywnymi i subiektywnymi oraz czynnikami wewnętrznymi. Ponadto wskutek oddziaływania otoczenia oraz realizacji przez maszynę zadań jej początkowe właściwości ulegają zmianie, co odzwierciedla się w zmianie wartości cech mierzalnych i niemierzalnych, przy czym proces ewolucji stanu maszyn w czasie eksploatacji może być zdeterminowany:

- wskutek powolnych, nieodwracalnych procesów starzeniowych i zużyciowych, zachodzących w maszynie,
- w wyniku pojawienia się procesów odwracalnych o różnej intensywności przebiegu, wywołanych przez czasowe przekroczenia dopuszczanych wartości czynników wymuszających.

W związku z powyższym uszkodzenia maszyny w czasie eksploatacji mogą zachodzić w sposób skokowy, polegające na nieciągłym przejściu jednej lub więcej cech poza granicę przyjęte za dopuszczalne dla maszyny, co powoduje że uszkodzenie jest jednym z istotnych zdarzeń występujących w procesie użytkowania maszyn, determinującym ich niezawodność, efektywność wykorzystania oraz zakres obsługiwań technicznych.

Pojęcie uszkodzenia maszyny definiuje się jako zdarzenie polegające na przejściu maszyny ze stanu zdatności do stanu niezdatności. Za stan zdatności przyjmuje się taki stan, w którym maszyna spełnia wyznaczone funkcje i zachowuje parametry określone w odpowiedniej dokumentacji, zaś przez stan niezdatności rozumie się stan, w którym nie spełnia ona, chociażby jednego z określonych wymagań. Stwierdzono także, że aktualny stan maszyny wynika z jej przeszłości, zaś znajomość aktualnego stanu maszyny oraz stanu w przeszłości jest potrzebna do ustalenia zachowania się maszyny w przyszłości. Stąd, modelując ewolucję procesu uszkodzeń należy uwzględnić stan maszyny: w chwili badania, w czasie przeszłym eksploatacji oraz w czasie przyszłym eksploatacji.

Do aspektów poznawczych należy opracowanie metodyki projektowania dedykowanych systemów diagnozowania, a w tym optymalnego pozyskiwania i przetwarzania wielo-symptomowych macierzy obserwacji dla potrzeb wyznaczania programu diagnostycznego. W tym obszarze opracowano i wykorzystano wiele metod opracowania statystycznego wyników, takich jak: OPTIMUM, SVD, metody wyznaczania relacji przyczynowo-skutkowych, z których dodatkowo zaimplementowano system do opracowania wyników badań diagnostycznych.

Przedstawione zamierzenia wsparte wieloma specyficznymi i szczegółowymi zagadnieniami diagnozowania umożliwiają monitorowanie stanu zdatności i ewolucji tego stanu na poziomie modułów maszyn, z jednoczesnym wyznaczeniem wielu wartości

miar niezawodności i jakości eksploatacji (potrzeby użytkowników), koniecznych i możliwych do wyznaczenia, opierając się na „dobrych” sygnałach diagnostycznych.

Do aspektów użytkowych zalicza się opracowanie: metodyki projektowania i budowy dedykowanych systemów monitorowania stanu oraz metodyki pozyskiwania i przetwarzania sygnałów dla potrzeb procedur monitorowania stanu.

Realizacja zadań tego projektu, opartego na najnowszych dokonaniach teorii projektowania i konstruowania, eksploatacji i diagnostyki technicznej, nowoczesnego zarządzania techniką w zakładzie pozwala na wytworzenie nowoczesnego narzędzia wspomagającego wytwarzanie i badanie stanu technicznego modułów konstrukcyjnych maszyn, na które oczekują zakłady produkcyjne, stacje diagnostyczne i warsztaty naprawcze maszyn roboczych.

Uwzględniając dokonane ustalenia w zakresie koncepcji systemów nadzoru maszyn, można przyjąć, iż charakter jego pracy powinien spełniać następujące funkcje:

- użytkowe – dotyczy nadzorowania pracy maszyn w czasie jego użytkowania,
- diagnostyczno-obługowe – dotyczy diagnozowania maszyn oraz realizację ich obsługi według wyznaczonych czasów pracy i stanu układu,
- informacyjne – dotyczy tworzenia bazy danych historii eksploatacji maszyn zapewniającej: określanie rodzajów (i przyczyn) uszkodzeń odnoszonych do czasu eksploatacji (wykonanej pracy),
- wyznaczanie alertowych czasów eksploatacji odnoszonych do bezpieczeństwa eksploatacji (ludzi, otoczenia).

Poprawna realizacja przedstawionych zadań jest unikalna w dokonaniach praktyki projektowania systemów eksploatacji maszyn i obejmuje:

• **Projektowanie i konstruowanie**

Opracowano podstawy teoretyczne z zakresu projektowania i konstruowania metodyki badania systemu mechanicznego. Sprecyzowano pojęcia związane z opisem zasad projektowania i konstruowania oraz metodologii badań obiektów, zaproponowano, opierając się na dostępnych narzędziach informatycznych systemy wspomagające omawiane procesy.

• **Technologia wytwarzania**

Opracowano podstawy teoretyczne z zakresu technologii wytwarzania obiektów. Dokonano analizy aktualnych narzędzi wirtualnych niezbędnych do wspomagania procesu wytwarzania. Na tej podstawie stworzono system modelowania w procesie wytwarzania, wykorzystując następujące narzędzia informatyczne: środowisko SolidEdge, NXGraphics, AutoDesk Inventor, MeasX Dasy Lab. Wirtualne metody modelowania technologii wytwarzania zostały praktycznie zweryfikowane w cyklu badań wybranych obiektów technicznych, w tym budynków, pojazdów, systemów transportowych.

• **Eksploatacja — badania przemysłowe**

Nowoczesne narzędzia informatyczne stanowią konieczny element systemu modelowania eksploatacji systemów technicznych. W ramach prac dokonano analizy obecnie stosowanych narzędzi informatycznych w celu usprawnienia procesu eksploatacji wybranych obiektów mechanicznych. Na tej podstawie stworzono i wdrożono kompleksowy system symulacji i modelowania stanu destrukcji obiektów opierając się na narzędziach informatycznych: SIBI – System Informatyczny Badań Identyfikacyjnych, PBSM – Procedury Badań Stanu Maszyn, środowisko Matlab, środowisko LMS Test.Xpress, LMS Imagine AMESim, LMS Virtual.Lab.

• Bezpieczeństwo i ochrona środowiska

W ramach badań dokonano przeglądu istniejących zagrożeń bezpieczeństwa dla środowiska oraz przedstawiono metody zwiększające bezpieczeństwo maszyn, wykorzystując wspomaganie programami komputerowymi. Opracowano nowe paliwo alternatywne nagrodzone srebrnym medalem na targach w Brukseli, jak również hydrogeniczne ogniwo paliwowe – generator tlenu i wodoru. Dokonano szeregu badań krajowych oraz zagranicznych z bezpieczeństwem i hałasem ruchu drogowego, mającego na celu zobrazowanie wpływu tworów ludzkich na bezpieczeństwo oraz wynikające zagrożenia środowiska.

Przedstawione zadania szczegółowe zrealizowane zostały przez wielu wybitnych uczonych, doświadczonych i młodych, studentów i doktorantów.

W realizacji projektu zaangażowano szereg jednostek naukowych krajowych i zagranicznych, a także przedstawicieli przemysłu. Całość dokonań projektu w zwartej formie zaprezentowano w wielu publikacjach.

3.3. WYKAZ PUBLIKACJI W PROJEKCIE

Problematyka publikacji podjęta w różnych opracowaniach członków zespołu tematycznie dotyczy głównie realizacji problematyki racjonalnie zarządzanej i efektywnie zorganizowanej eksploatacji obiektów technicznych.

Nowoczesne narzędzia oceny jakości, nowe podejście systemowe w obszarze zarządzania życiem produktu oraz dostępne szeroko komercyjne oprogramowania tego zakresu stanowią podstawy metodyki budowy dedykowanych systemów monitorowania stanu życia produktu oraz oceny zagrożeń bezpieczeństwa i środowiska ze strony użytkowanych maszyn krytycznych.

Wymiernym efektem realizacji przedstawionego projektu są prace dyplomowe członków zespołu badawczego (3 zrealizowane rozprawy doktorskie), wiele publikacji konferencyjnych i opracowania książkowe członków zespołu badawczego.

PUBLIKACJE W PROJEKCIE

1. Kałaczyński T., Żółtowski B.: Zastosowanie zbiorów rozmytych w diagnozowaniu stanu technicznego silnika o zapłonie iskrowym. *Studia I Materiały Polskiego Stowarzyszenia Zarządzania Wiedzą*, nr 46, 2011, s. 104-114.
2. Łukasiewicz M.: Diagnozowanie stanu technicznego automatycznych skrzynek biegów. *Studia I Materiały PSZW*, nr 46, 2011, s. 217-231.
3. Łukasiewicz M.: Zasady projektowania, budowa i eksploatacja automatycznych skrzynek biegów. *Studia I Materiały Polskiego Stowarzyszenia Zarządzania Wiedzą*, nr 46, 2011, s. 232-247.
4. Żółtowski B., Kałaczyński T., Łukasiewicz M.: Badania stanu dynamicznego linii produkcyjnej HOR6002. *Studia I Materiały Polskiego Stowarzyszenia Zarządzania Wiedzą*, nr 46, 2011, s. 263-278.
5. Deczyński J.: Satelitarne systemy monitoringu pojazdów. *Studia I Materiały Polskiego Stowarzyszenia Zarządzania Wiedzą*, nr 47, 2011, s. 52-63.
6. Kuliś E., Żółtowski B.: Badania układów hamulcowych. *Studia I Materiały Polskiego Stowarzyszenia Zarządzania Wiedzą*, nr 47, 2011, s. 126-140.
7. Przybyliński B.: Wybrane aspekty projektowania maszyny bezpiecznej. *Studia I Materiały Polskiego Stowarzyszenia Zarządzania Wiedzą*, nr 47, 2011, s. 231-245.

8. Sadowski A., Żółtowski B.: Badanie rozplywu energii pojazdu samochodowego. *Studia I Materiały Polskiego Stowarzyszenia Zarządzania Wiedzą*, nr 48, 2011, s. 4-17.
9. Wilczarska J.: Koncepcja systemu rozpoznawania stanu maszyn. *Studia I Materiały Polskiego Stowarzyszenia Zarządzania Wiedzą*, nr 48, 2011, s. 109.
10. Żółtowski B., Żółtowski M.: Doskonalenie strategii utrzymania zdadności maszyn. *Materiały Zimowej Szkoły Niezawodności*, Szczyrk 2012. s. 49.
11. Tylicki H., Żółtowski B.: Wykorzystanie dedykowanego systemu diagnostycznego w rozpoznawaniu stanu maszyn. *Materiały Zimowej Szkoły Niezawodności*, Szczyrk 2012, s. 39.
12. Żółtowski B., Żółtowski M.: Information processing in the process of making exploitation decision. *Innovations in management and production engineering. Part V*, Oficyna Wydawnicza PTZP, Opole 2012, pp. 375-389.
13. Żółtowski B., Żółtowski M.: Company information techniques in production engineering. *Innovations in management and production engineering. Part VII*, Oficyna Wydaw. PTZP, Opole 2012, pp. 557-588.
14. Żółtowski B.: The investigation aid in exploitation. *XI International Technical Systems Degradation Conference*, Liptowski Mikulasz, 2012, pp. 15-19.
15. Żółtowski B.: Elementy systemu zapewnienia zdadności środków transportowych. *Logistyka w dobie zrównoważonego rozwoju*, BSW, Bydgoszcz, 2012, s. 342-357.
16. Żółtowski B., Sadowski A.: Elementy zdadności samochodu ciężarowego w aspekcie ochrony środowiska. *Prace Komisji Ekologii...*, BTN, Bydgoszcz 2012, s. 237-248.
17. Żółtowski B. ii: Wybrane problemy motoryzacyjne ochrony środowiska. *Prace Komisji Ekologii...*, BTN, Bydgoszcz 2012, s. 323-334.
18. Żółtowski B.: Doskonalenie systemów eksploatacji maszyn. *Problemy eksploatacji*, 2/2012 (85), ITE-PIB, Radom 2012, s. 1-7.
19. Żółtowski B., Stanowski P.: Wpływ domieszki etanolu na parametry pracy silnika i zanieczyszczenie silnika. *Ekologia i Technika*, vol. XX, nr 4(119), 2012. s. 209-216.
20. Żółtowski B., Tylicki H.: New elements in the tests programmes of machine vibrations. *CIMAC*, Vol.7, No 2, Gdańsk 2012.
21. Żółtowski B., Żółtowski M.: Projektowanie zaplecza obsługowego transportu. *Logistyka* 6/2012.
22. Tylicki H., Żółtowski B.: The estimation of the cause of the machines damages. *Diagnostyka*, PTDT nr 1 (61) 2012. pp.31-39.
23. Żółtowski B., Kałaczyński T., Łukasiewicz M.: The investigations aid in exploitation. *Diagnostyka*, PTDT, nr 2(62)2012, pp. 65-69.
24. Żółtowski B., Kałaczyński T., Łukasiewicz M.: Application of the operational modal analysis in transmission gearbox technical state identification. *Diagnostyka*, PTDT, nr 3(63)2012, pp. 23-28.
25. Łukasiewicz M., Kałaczyński T., Kostek R., Liss M.: Zastosowanie metod analizy modalnej w badaniach wybranych elementów maszyn przemysłu spożywczego. *Inżynieria i Aparatura Chemiczna*, 2/2013, s. 102-105. Bydgoszcz 2013.
26. Łukasiewicz M., Kałaczyński T., Kasprowicz T., Folborski M.: Zastosowanie nowoczesnych aplikacji inżynierskich w celu ochrony środowiska, XVIII Międzynarodowa Konferencja Studenckich Kół Naukowych i XXX Sejmik SKN Wrocław 2013. ISBN 978-83-7717-129-5.

27. Łukasiewicz M., Kałaczyński T., Liss M.: Natural frequencies estimation of folded technical objects with usage of modal analysis methods. Bulletin of the Kiev National University Technologies and Design, no 3, 2013.
28. Wilczarska J.: System jakości produktu i usług. Inżynieria i aparatura chemiczna 52(44). Gliwice 2013.

OPRACOWANIE ZWARTE Z ZAKRESU PROJEKTU

Podsumowanie wyników prac B+R realizowanych w ramach projektu przez zespół prof. Bogdana ŻÓŁTOWSKIEGO dokonano w serii opracowań zbiorowych z zakresu projektu:

- Żółtowski B., Niziński S.: Modelowanie procesów eksploatacji. Wydawnictwo Instytutu Eksploatacji Maszyn, Radom, 2010.
- Żółtowski B., Wilczarska J.: Mikroekonomia eksploatacji i diagnostyki maszyn. Wydawnictwo Instytutu Eksploatacji Maszyn, Radom, 2010.
- Tylicki H., Żółtowski B.: Rozpoznawanie stanu maszyn. Wydawnictwo Instytutu Eksploatacji Maszyn, Radom, 2010.
- Tylicki H., Żółtowski B.: Genezowanie stanu maszyn. ITE-PIB, Radom 2012.
- Żółtowski B., Kwiatkowski K.: Zagrożone środowisko. UTP, Bydgoszcz 2012.
- Żółtowski B., Landowski B., Przybyliński B.: Projektowanie eksploatacji maszyn. ITE-PIB, Radom 2012.
- Żółtowski M.: Operacyjna analiza modalna w badaniach konstrukcji budowlanych. Wydawnictwa UTP, Bydgoszcz, 2012.

3.4. PROMOCJA DOKONAŃ PROJEKTU

Ogromne możliwości szerokiego wykorzystania rezultatów projektu motywują potrzebę zrealizowanych badań projektu, jak też szerokiej popularyzacji jego dokonań. Wyniki badań projektu wykorzystane zostały do opracowania wielu oryginalnych publikacji i opracowań zwartych członków zespołu, jak też do realizacji kolejnych etapów rozpraw naukowych (2 rozprawy habilitacyjne i 3 doktorskie) członków zespołu badawczego.

Inne formy upowszechniania i popularyzacji wyników uzyskanych w projekcie i ich udostępniania zainteresowanym podmiotom obejmowały:

- konferencje naukowe krajowe i zagraniczne (Ukraina, Słowacja, Kolumbia, Niemcy),
- współpracę z EAFIT University, Kolumbia (2 staże naukowe, 2 wizyty wyjazdowe),
- organizacja konferencji: *Techniki wirtualne w badaniach stanu maszyn*, WIM, Bydgoszcz, wrzesień 2011,
- wyróżnienie opracowania nowego paliwa PB E20 srebrnym medalem na targach innowacji „Brussels Innova – 60th Edition”,
- informację o postępach badawczych na cyklicznych zebraniach Zakładu Pojazdów i Diagnostyki WIM UTP Bydgoszcz,
- prezentację dokonań projektu na XI Kongresie Budowy i Eksploatacji Urządzeń Technicznych, Radom 2012,
- referowanie osiągnięć podczas obrad na Szkole Niezawodności Procesów i Systemów technicznych, Szczyrk 2012, 2013,
- aktywny udział (z referatami) w konferencji KONES – Ryn, 2012,

- udział wieloosobowy z referatami w Konferencji naukowej w Liptowskim Mikule-szu, Słowacja, 2012, 2013,
- prezentację dokonań projektu w programie TV, *Sila Wiedzy*, Bydgoszcz, 2012,
- udział w IX Kongresie PTZW: Ciechocinek, 2012,
- artykuły i wystąpienia w kolejnych konferencjach: Logistyka w dobie zrównoważonego rozwoju, Tleń, 2012, XVII Konferencja „Recykulacja w budowie maszyn”, Gdynia, 2012, 41 Konferencja Badań Nieniszczących, Toruń, 2012.

Tego rodzaju wystąpienia pozwalały przekazać więcej informacji o zadaniach realizowanych w ramach projektu, jak i również stwarzały możliwość odpowiedzi na pytania nurtujące osoby zainteresowane działaniami w projekcie.

Oprócz wyjazdów konferencyjnych promowanie wyników badań projektu kilkakrotnie odbywało się na wystawach, w tym na:

- wystawa innowacyjności WIPRO, UTP Bydgoszcz, 2011, 2012,
- Bydgoski Festiwal Nauki (corocznie),
- Dni Otwarte UTP (corocznie).

W ramach zadań projektu przeprowadzono kilka szkoleń z zakresu budowy układów do pomiarów oraz obsługi aparatury badawczo – laboratoryjnej zakupionej w projekcie. Nawiązano również współpracę z następującymi przedsiębiorstwami:

- EUROROBAC Organizacja Odzysku S.A.,
- Auto – Styl, partner DEKRA,
- Philips Lighting Poland S.A. w Pile,
- GRAFPOL w Bydgoszczy.

Promowano również tematykę projektu na uczelniach zagranicznych w tym:

- Uniwersytecie EAFIT w Medellin,
- Technische Universität w Chemnitz,
- Chmmielnicki University of Ukraina.

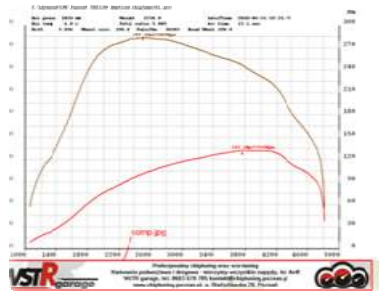
3.5. APARATURA NAUKOWO-BADAWCZA

Akwizycja i przetwarzanie informacji wspomagane technikami informatycznymi ze specjalistycznym oprogramowaniem do przeprowadzenia analizy i syntezy wyników badań eksploatacyjnych maszyn umożliwią ocenę wybranych i proponowanych procedur diagnostycznych do opracowania projektu i wykonania prototypu systemu monitorowania stanu modułów konstrukcyjnych maszyn roboczych.

Szczególnie istotne są zakupy specjalistycznych programów komputerowych z obszaru sztucznej inteligencji (badanie modeli, badania symulacyjne) implementowane w systemie diagnostycznym maszyn roboczych. Ponadto w celu konsultacji problemów i realizacji wybranych fragmentów badań w trakcie realizacji projektu badawczego zrealizowano dwa wyjazdy (4 osoby) do grupy badawczej GEMI, EAFIT University of Medellin (realizującej badania systemu kolejowego w tym projekcie), przeprowadzenie konsultacji naukowych w ośrodkach naukowych krajowych i zagranicznych, z którymi współpracują wykonawcy projektu.

Aparatura zakupiona:

- 2011, Kamera termowizyjna FLIRi5 (s/n470037688),
- 2011, Przenośny przyrząd do badania analizy drgań IPAD 32Gb,
- 2011, Zestaw do pomiaru momentu obrotowego,
- 2011, Hamownia przenośna.



3.6. OFERTA NAUKOWO-BADAWCZA

BADANIA TERMOWIZYJNE I AKUSTYCZNE

1. Pomiary laboratoryjne oraz na obiektach
2. Wibroizolacja elementów maszyn i konstrukcji
3. Badania dynamiki maszyn (*MES*, *AM*)



4. Badania i ocena zagrożeń środowiska
5. Doradztwo techniczne
6. Badania drganiowe i akustyczne pojazdów instalacji przemysłowych, maszyn
7. Diagnostyczne systemy eksploatacji

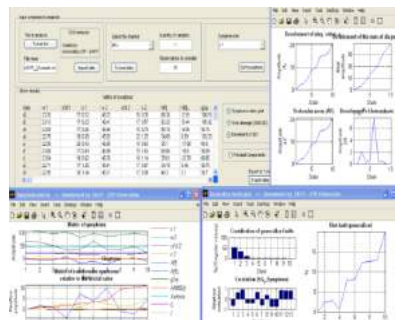


8. Diagnozowanie obiektów technicznych
9. Badania nieniszczące (VT, PT, UT, RT)
10. Mechanika, dynamika, drgania, akustyka
11. Badania degradacji stanu maszyn
12. Projektowanie technologii eksploatacji
13. Ocena stanu pojazdów i maszyn



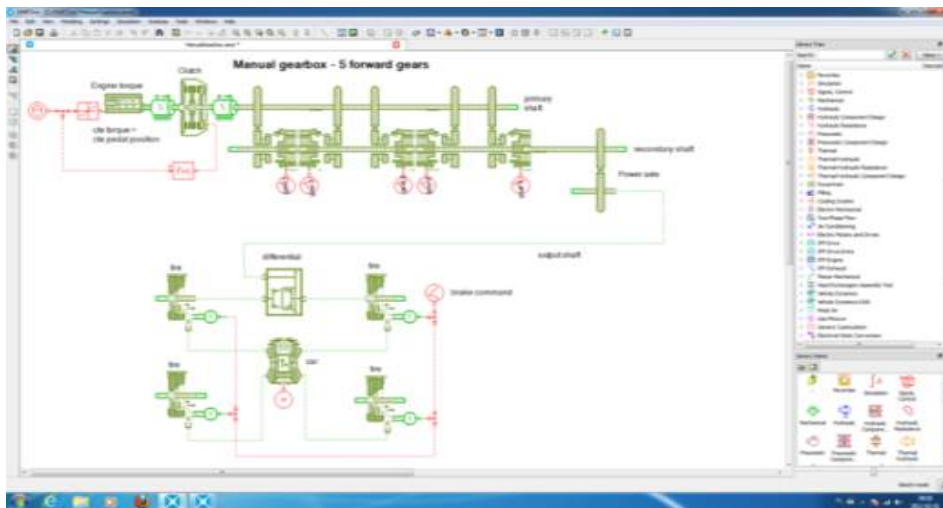
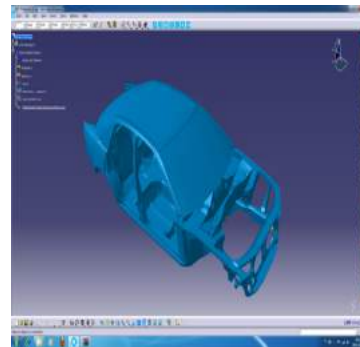
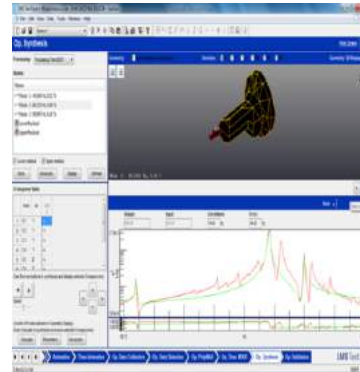
DRGANIA I HAŁAS

- Wykrywanie i lokalizowanie uszkodzeń
- Monitorowanie zdolności maszyn
- Analiza zjawisk związanych z drganiami i hałasem
- Pomiar i analiza sygnałów
- Ocena szkodliwego oddziaływania hałasu



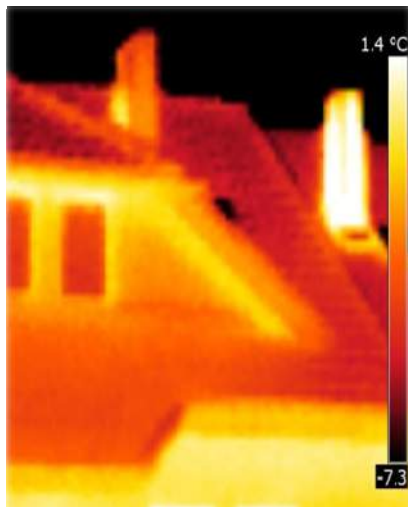
MODELOWANIE I ANALIZA

1. LMS TESTLAB. MODAL ANALYSIS LIFE
 - Analizy danych
 - Dynamiczna analiza struktury obiektu
 - Automatyczna korekcja wartości tłumienia FRF
2. LMS VIRTUAL.LAB
 - Symulacja rzeczywistych zachowań obiektów
 - Porównanie zgodności modelu z rzeczywistością
 - Optymalizacja konstrukcji
 - Usprawnienie działania modelu
 - Poprawa parametrów konstrukcji
3. LMS IMAGINE.LAB AMESim
 - Analiza jakości działania układów w fazie projektowania
 - Optymalizacja współpracy pomiędzy układami
 - Uniknięcie błędów projektowych
 - Badanie innowacyjnych rozwiązań
4. SIBI
 - Akwizycja sygnałów drganiowych
 - Badania wrażliwości symptomów
 - Wnioskowanie statystyczne
 - Analiza i przetwarzanie
 - Badania współzależności procesów drganiowych
 - Wizualizacja wyników analizy



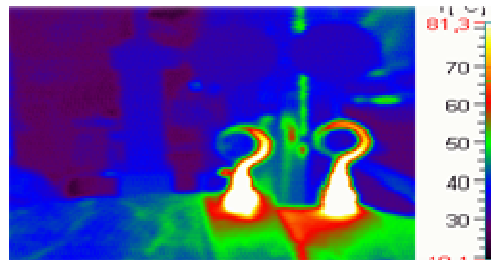
TERMOWIZJA

- badania strat energii cieplnej obiektów technicznych
- diagnozowanie maszyn w ujęciu termograficznym
- lokalizowanie uszkodzeń metodą termowizyjną
- termokontrola trudno dostępnych miejsc
- kontrola instalacji elektrycznych



KAMERA TERMOWIZYJNA

Flir-i5 wraz z programem do analizy zdjęć, kamera przetwarza niewidzialną podczerwień albo promieniowanie ciepłe na gotowe do analizy termogramy poprzez bezkontaktowy pomiar temperatury w połączeniu z fotografią cyfrową.



ENDOSKOPIA

KONTROLA KOMORY SPALANIA

- bezdemontażowa detekcja uszkodzeń
- wykrywanie śladów korozji
- wykrywanie pęknięć i por silników
- kontrola układu wylotowego
- kontrola obiektu po jego naprawie



BEZPIECZEŃSTWO I NIEZAWODNOŚĆ MASZYN

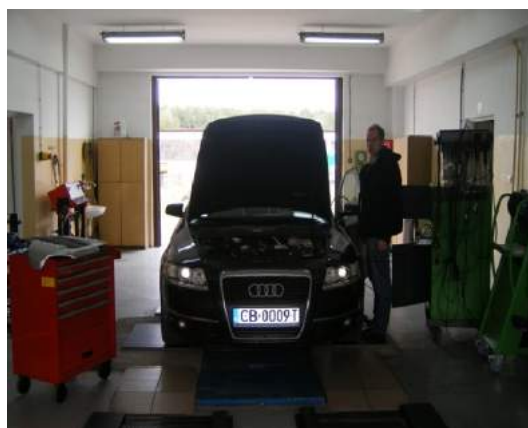
- projektowanie maszyn bezpiecznych
- zarządzanie parkiem maszynowym
- zapewnienie zdolności eksploatacyjnej
- modernizacja i naprawa maszyn
- dostosowanie do minimalnych wymagań



DIAGNOZOWANIE POJAZDÓW



- analiza spalin i zadymienie
- diagnostyka sterowników
- kontrola stanu układu hamulcowego
- weryfikacja stanu oświetlenia
- diagnozowanie układu zawieszenia
- kontrola układu kierowniczego
- diagnozowanie, napełnianie i odgrzybianie klimatyzacji



BADANIA SYMULACYJNE



- **SYSTEMY STEROWANIA:**

- TYPU DIESEL EDC
- COMMON RAIL
- TYPU D – JETRONIC
- MOTRONIC ML4.1

symulacyjne sterowanie pracą silnika w zakresie:

- dawki paliwa
- kąta wyprzedzenia wtrysku
- temperatury
- obrotów
- obciążenia

- **SENSORYKA SYSTEMÓW POJAZDOWYCH:**

- układ do sprawdzania przepływomierzy powietrza
- układ do sprawdzania MAP-sensorów
- zestaw głównych czujników systemów pojazdowych



BADANIA MOCY I ROZPŁYWU ENERGII

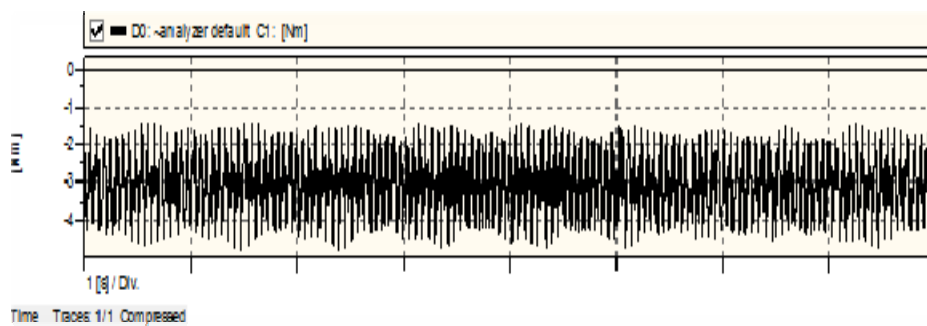
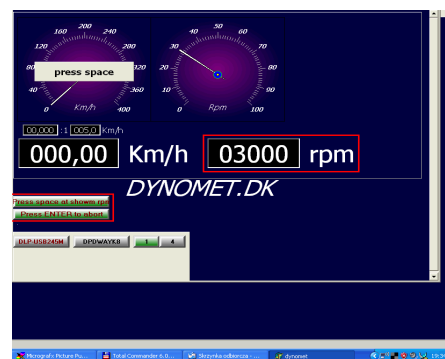
- pomiary w warunkach rzeczywistych:**

- o mocy pojazdów
- o momentu obrotowego
- o określenie strat energii w układzie napędowym
- o przyspieszenia
- o drogi hamowania



- bezkontaktowe pomiary:**

- o momentu obrotowego
- o prędkości obrotowej
- o mocy
- o analiza rozplywu energii



3.7. SUKCESY BADAŃ

A. NOMINACJE PROFESORSKIE

- *prof. dr hab. inż. Henryk TYLICKI*
- *prof. dr inż. Leonel CASTANEDA – EAFIT Medellin*



Wypromowani doktorzy:

- *dr inż. Tomasz KAŁACZYŃSKI*
- *dr inż. Piotr STANOWSKI*
- *dr inż. Piotr ALEKSANDROWICZ*



Otwarte przewody doktorskie:

- *mgr inż. Małgorzata KASTELIK*
- *mgr inż. Waldemar WINTER*

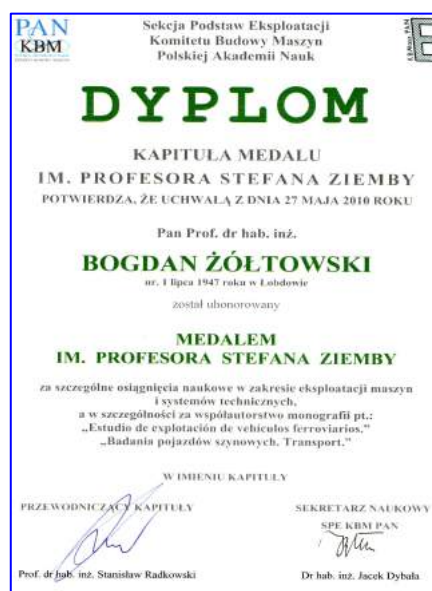
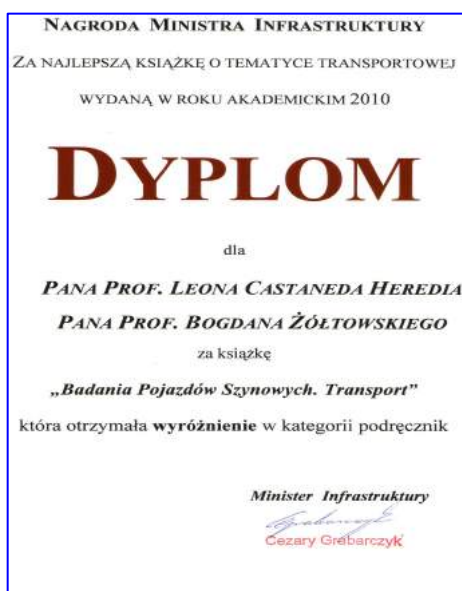


Zaawansowani doktoranci zespołu:

- *- mgr inż. Ewa KULIŚ*
- *- mgr inż. Andrzej SADOWSKI*
- *- mgr inż. Jarosław DECZYŃSKI*



B. NAGRODZONE KSIĄŻKI I DZIAŁALNOŚĆ



C. WYRÓŻNIONE PALIWO



Brussels Innova - 60th Edition

17 > 19 November 2011

**Brussels Expo
Silver medal
Pb E-20 FUEL**



**Inventor: Prof. dr hab. inż. Bogdan ŻÓLTOWSKI
Dr inż. Piotr STANOWSKI**

UNIVERSITY OF TECHNOLOGY AND LIFE SCIENCES
im. J.J. Śniadeckich

**Faculty of Mechanical Engineering
Bydgoszcz - Poland**

Section: Car industry and road safety

Description: The subject of the invention is biofuel and its application as a sole fuel or an additive to (hydrocarbon) petrol fuelling motors with spark ignition, carburettor system and direct fuel injection. The best formulation is 93% vol. of high wines, 4% emulsifier, 2.5% ignition initiator and 0.5% combustion stabiliser. The fuel can be used in mixture with commercial petrol Pb-95 and Pb-98 in proportions 20% to 80% without the need for motor modifications, and as a sole fuel following modifications in motor design. With correctly working and maintained motor the product of combustion is carbon dioxide CO₂ within emission standards and steam H₂O.

D. WYNIKI MOGĄCE PODLEGAĆ WDROŻENIOM I KOMERCJALIZACJI

„Badania zagrożeń zdolności środowiskowych systemów technicznych” to tematyka rozważań, której zrealizowanie daje przesłanki do szerokiego zastosowania wymienionych poniżej dokonań:

- **PBSM (procedury badania stanu maszyn)** aplikacja inżynierska działająca w środowisku MATLAB, będąca narzędziem do realizacji szybkiej identyfikacji uszkodzeń poprzez: konfigurację parametrów, analizę jedno i wielowymiarową, prognozowanie wartości symptomu, korelacja i kowariancja symptomów, analizę uszkodzeń kończąc na wnioskowaniu przyczynowo skutkowym w analizie stanu obiektów technicznych.
- **SUD (system uzgadniania decyzji)** program ten umożliwia postawienie diagnozy na podstawie utworzonych baz danych, wyboru miar własnych, optymalizację miar sygnałów, diagnozowanie zmiany stanu, prognozowanie zmiany stanu.
- **Dedykowane systemy diagnostyczne** program ten umożliwia optymalizację parametrów diagnostycznych, ocenę stanu obiektu, genezowanie stanu obiektu, prognozowanie stanu obiektu.
- **SIBI (system informatyczny badań identyfikacyjnych)** program wykorzystywany do oceny zmian stanu, rozwoju uszkodzeń oraz lokalizacji przyczyn zaistniałego stanu umożliwia: akwizycję i przetwarzanie danych pomiarowych, tworzenie wielu miar sygnałów diagnostycznych, ich badania wrażliwości diagnostycznej, opracowanie statystyczne, badania współzależności procesów drganiowych oraz wnioskowanie diagnostyczne i wizualizację wyników analizy.

Wyniki badań i ich praktyczna weryfikacja, zaprezentowane w materiałach tego opracowania potwierdzają poprawność opracowanych procedur badania zmian stanu degradacji obiektów mechanicznych. Przedstawione wybrane przykłady praktycznego zastosowania wiedzy diagnostycznej, na przykładzie badań wybranych obiektów technicznych, obrazują złożoność prowadzonych badań i szerokie możliwości stosowania technik informatycznych w diagnozowaniu stanu obiektów technicznych.

Przedstawione w pracy nowe metody i procedury diagnostyczne sprawdzają się zarówno w prostych przekładniach zębatych, jak również w dużych obiektach wielkogabarytowych, np. siłowniach wiatrowych. Zastosowanie proponowanych rozwiązań umożliwia wpływ na zmiany konstrukcyjne obiektu, poprzez wprowadzenie wymaganych modyfikacji, wpływając na poprawność i efektywność realizowanych zadań i celów eksploatowanych obiektów technicznych.

Do zalet stosowania zaproponowanych rozwiązań z wykorzystaniem nowoczesnych technik komputerowych zaliczyć należy fakt, iż badane obiekty nie muszą być wyłączane z normalnej eksploatacji, zatem nie generują kosztów, a uzyskane wyniki pomiarów są wynikami rzeczywistymi, na bazie których można wnioskować z większą dokładnością niż w przypadku budowy i analizy modeli teoretycznych.

...lepiej dobrze czynić, niż mówić...

4. RYZYKO I BEZPIECZEŃSTWO MASZYN

Bezpieczeństwo systemu, polegające na odporności systemu na oddziaływanie czynników wymuszających występowanie zagrożeń bezpieczeństwa (w tym sposób działania człowieka) jest jednym z istotnych elementów przy podejmowaniu decyzji o stosowaniu systemu. Nerozerwalnie połączone jest z analizą ryzyka.

Analiza ryzyka jest elementem niezwykle istotnym przy projektowaniu, produkcji i eksploatacji urządzeń technicznych. Przepisy polskich i europejskich norm nakładają obowiązek stosowania analizy ryzyka nie tylko przy analizie bezpieczeństwa, ale także przy podejmowaniu decyzji o wdrażaniu do eksploatacji danego systemu, będąc jego obowiązkową częścią. W badaniach ryzyka wykorzystuje się szereg metod, z których niektóre to: analiza drzewa zdarzeń, analiza rodzajów i skutków niezdatności oraz analiza skutków i krytyczności niezdatności, analiza drzewa niezdatności, badania zagrożeń i gotowości operacyjnej, analiza niezawodności człowieka, wstępna analiza zagrożeń, schemat blokowy niezawodności, stopniowanie kategorii, listy sprawdzeń, analiza uszkodzeń jednakowego rodzaju, modele następstw, metoda delhijska, wskaźniki zagrożeń, symulacja Monte-Carlo i inne metody symulacyjne.

Na etapie eksploatacji koncepcja zapewnienia bezpieczeństwa maszyn realizowana jest poprzez przestrzeganie minimalnych wymagań dotyczących użytkowania i obsługi maszyn wg wskazań producenta, podejmowania przez eksploatatorów dodatkowych technicznych i organizacyjnych środków bezpieczeństwa adekwatnie do warunków pracy maszyn, utrzymania poziomu bezpieczeństwa wprowadzonych na stanowisko pracy maszyn poprzez zapewnienie ich kontroli przewidzianych w dyrektywach społecznych, udziału operatorów maszyn w działaniach dotyczących zmniejszania ryzyka zawodowego oraz przekazywania przez eksploatatorów producentom maszyn informacji o wadach, uszkodzeniach i nieprawidłowościach ujawnionych w trakcie eksploatacji ich wyrobów.

4.1. UWARUNKOWANIA PRAWNE BEZPIECZEŃSTWA MASZYN

Zapewnienie bezpieczeństwa oraz stworzenie warunków do tworzenia wymaganego przepisami prawnymi poziomu bezpieczeństwa pracy i ochrony zdrowia jest zadaniem wszystkich stron uczestniczących w procesie pracy (art. 207, 211, 212, 215 i 217 Kodeksu pracy). Wszystkie osoby uczestniczące w procesie konstruowania, produkcji oraz eksploatacji maszyn i innych urządzeń ponoszą odpowiedzialność za niedopełnienie obowiązków związanych z ich niebezpiecznym funkcjonowaniem.

Jeżeli maszyny nie mogą być używane bez ryzyka dla bezpieczeństwa lub zdrowia pracowników, pracodawca powinien zastosować rozwiązania mające na celu zminimalizowanie ryzyka związanego z ich eksploatacją.

Zadaniem pracodawcy jest podjęcie działań mających na celu zapewnienie, że maszyny udostępnione pracownikom na terenie zakładu pracy lub w miejscu wyznaczonym przez pracodawcę są właściwe do wykonywania pracy lub odpowiednio przystosowane do jej wykonywania oraz mogą być eksploatowane bez pogorszenia bezpieczeństwa lub zdrowia pracowników. Dokonując wyboru maszyny, pracodawca powi-

nien brać pod uwagę specyficzne warunki i rodzaj wykonywanej pracy, a także istniejące w zakładzie pracy lub w miejscu pracy zagrożenia istotne dla bezpieczeństwa i zdrowia pracowników, w szczególności zagrożenia występujące na stanowisku pracy [30].

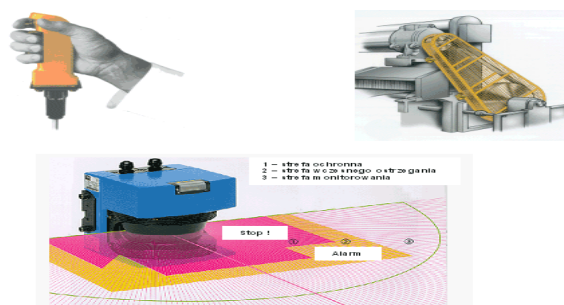
Od 1 maja 2004 roku wraz z wejściem Polski w struktury Unii Europejskiej zaczęło obowiązywać w pełni prawo UE. Zgodnie z traktatem akcesyjnym, Polska zobowiązana została do wprowadzenia do prawa wewnętrznego europejskiego dorobku legislacyjnego, zachowując zasadę niedopuszczalności ograniczania krajowego dorobku z bezpieczeństwa i ochrony zdrowia zatrudnionych.

Wdrażanie europejskiej koncepcji bezpieczeństwa maszyn realizowane jest przez dyrektywy UE, czyli akty prawne skierowane do wszystkich państw członkowskich. Dyrektywy podzielić można na dwa podstawowe rodzaje.

Pierwszy rodzaj stanowią dyrektywy nowego podejścia dotyczącego projektowania, budowy i wprowadzania na rynek wyrobów. Wydawane są w celu zapewnienia możliwie najwyższego poziomu ich bezpieczeństwa. Ich przepisy dotyczą projektantów i konstruktorów oraz producentów tych wyrobów. Tylko wyroby spełniające wymagania ujęte w tych dyrektywach mają zapewniony swobodny przepływ w Europejskim Obszarze Gospodarczym (EOG), który tworzą państwa członkowie Unii Europejskiej oraz Islandia, Lichtenstein i Norwegia – członkowie EFTA, sygnatariusze umowy EOG oraz w Szwajcarii (umowa dwustronna z UE).

Drugi rodzaj dyrektyw dotyczy pracodawców – są to tzw. dyrektywy socjalne, określające minimalne wymagania bhp, jakie powinni oni zapewnić pracownikom podczas pracy.

Podstawową dyrektywą pierwszego rodzaju, dotyczącą zasadniczych wymagań dla maszyn, jest dyrektywa 2006/42/WE nazwana „maszynową”. Do podstawowych dyrektyw społecznych należy dyrektywa 89/391/EWG, tzw. „ramowa” i wydane na jej podstawie dyrektywy szczegółowe, w tym dyrektywa 2009/104/WE. Głównym celem dyrektywy 2006/42/WE jest gwarancja przekazania na rynek UE tylko maszyn bezpiecznych poprzez ujednolicenie krajowych przepisów bezpieczeństwa z zakresu projektowania i wytwarzania opartych na wymaganiach zawartych w dyrektywie (rys. 4.1).



Rys. 4.1. Ochrona, ostrzeżenie i monitorowanie bezpieczeństwa maszyn

Spełnienie zasadniczych wymagań dla maszyn wymaga uwzględnienia w projektowaniu takich kwestii, jak zapewnienie eliminacji lub ograniczenie zagrożeń mechanicznych, elektrycznych, termicznych i innych wyzwalanych w eksploatacji maszyn. Także zastosowanie zasad ergonomii, przystosowanie maszyn nie tylko do bezpiecznego użytkowania, ale również obsługiwanie, poszukiwań rozwiązań technicznych ograniczających hałas i drgania w czasie pracy maszyny, wyzwalane promieniowanie,

stosowanie zabezpieczeń eliminujących zagrożenia ze strony materiałów i substancji przetwarzanych, zużywanych, produkowanych i usuwanych przez maszyny. Wymagania te dotyczą też zapewnienia niezawodności stosowanego wyposażenia, mechanizacji i automatyzacji załadunku i rozładunku oraz umiejscowienie punktów nastawiania i konserwacji poza strefami niebezpiecznymi oraz ograniczenia zagrożeń związanych ze środowiskiem, w którym maszyna jest eksploatowana [30].

Potwierdzeniem spełnienia zasadniczych wymagań dla maszyn jest przeprowadzenie przez projektanta (producenta) oceny zgodności. Dyrektywa 2006/42/WE przewiduje stosowanie kilku zasadniczo różnych procedur oceny zgodności, przyjmowanych w zależności od stopnia stwarzanych przez maszynę zagrożeń. Normy zharmonizowane z poszczególnymi dyrektywami to techniczne normy europejskie (EN), przyjęte w krajach członkowskich Unii Europejskiej. Wprowadzono następującą strukturę hierarchiczną norm dotyczących bezpieczeństwa:

normy typu A – podstawowe normy dotyczące bezpieczeństwa zawierające zasadnicze pojęcia, zasady projektowania i ogólne aspekty bezpieczeństwa stosowane do wszystkich maszyn (np. PN-EN ISO 12100:2011, PN-EN 614-1+A1:2009, PN-EN 614-2+A1:2010, PN-EN 1005-1+A1:2010),

normy typu B – mogą mieć zastosowanie do wielu różnych maszyn, a dotyczą jednego aspektu bezpieczeństwa lub jednego rodzaju urządzeń bezpieczeństwa,

normy typu B1 – odnoszą się do poszczególnych aspektów bezpieczeństwa (np. odległości bezpieczeństwa – PN-EN ISO 13857:2010, PN-EN 349+A1:2010, PN-EN ISO 13855:2010, PN-EN ISO 13849-1:2008, PN-EN 547-1+A1:2010, PN-EN ISO 14159:2008, PKN-CENELEC/Guide 29:2008, PN-EN 1265+A1:2009),

normy typu B2 – odnoszą się do urządzeń związanych z bezpieczeństwem (np. urządzenia sterowania oburęcznego PN-EN 574+A1:2010, urządzenia blokujące PN-EN 1088+A2:2011, urządzenia czułe na nacisk PN-EN 1760-1+A1:2009, osłony – PN-EN 953+A1:2009),

normy typu C – zawierają szczegółowe wymagania dotyczące bezpieczeństwa dla poszczególnych maszyn lub grup maszyn (np. norma PN-EN 1870-1+A1:2010 dotycząca pilarek tarczowych składa się z 17 części dla różnych rozwiązań).

Normy te zawierają konkretne rozwiązania i wymagania techniczne. Wytwórca może skorzystać z domniemania zgodności wyrobu z zasadniczymi wymaganiami dyrektywy, jeśli wyrób został wyprodukowany zgodnie z wymaganiami normy zharmonizowanej. Domniemanie zgodności dotyczy tylko tych zasadniczych wymagań, które objęte są daną normą zharmonizowaną. Istotne jest, aby zastosowane normy zharmonizowane objęły wszystkie zasadnicze wymagania, jakie dotyczą danego wyrobu. Zastosowanie norm zharmonizowanych, które dają domniemanie zgodności jest dobrowolne. Jeśli jednak wytwórca zdecyduje się na niestosowanie norm zharmonizowanych, musi innymi środkami wykazać zgodność wyrobu z zasadniczymi wymaganiami dyrektywy.

Istotnym elementem wymagań zasadniczych są informacje dotyczące eksploatacji maszyn, a w tym warunki bezpiecznego użytkowania maszyny, zgodnego z przeznaczeniem, z uwzględnieniem wszystkich rodzajów jej pracy. W szczególności eksploatator powinien być poinformowany o istniejącym ryzyku resztkowym i jego wpływie na rzeczywiste bezpieczeństwo eksploatacji. Informacje dotyczące eksploatacji powinny obejmować: transport, montaż i zainstalowanie, przekazywanie do eksploatacji, użytkowanie (nastawianie, uczenie, programowanie, zmianę procesu), obsługiwanie (czyszczenie, wykrywanie defektów oraz konserwację i naprawy) maszyny oraz, jeżeli to konieczne, wycofanie z eksploatacji, demontaż i złomowanie [30].

4.2. METODY I ŚRODKI ZAPEWNIENIA BEZPIECZEŃSTWA MASZYN

Maszyna wprowadzona do eksploatacji musi spełniać wymagania bezpieczeństwa zgodnie z zapisami prawa. Spełnienie tych wymagań osiąga się, z jednej strony przez właściwe, zgodne ze aktualnym stanem wiedzy zaprojektowanie i wytworzenie maszyny, a z drugiej przez zgodne z funkcjami maszyny jej eksploatację. Zarówno producent, jak i eksploatacja powinien dążyć do zapewnienia bezpieczeństwa na akceptowalnym poziomie. Z tego względu niezbędne jest poznanie zagrożeń (nawet wydawać by się mogło nieistotnych lub mało prawdopodobnych) stwarzanych przez pełnione funkcje maszyny (jaka praca, do czego służy, w jakich warunkach – obciążenia, atmosfera, itp.).

Jest to ważne, gdyż jak wynika z danych literaturowych [9, 30] prace związane z różnego rodzaju maszynami stanowią aż 40% wypadków mających najczęściej miejsce w czasie obsługi produkcyjnej stacjonarnych maszyn i urządzeń, przy użytkowaniu sprzętu do pracy na wysokości, maszyn i urządzeń mobilnych oraz wyposażenia do podnoszenia ładunków.

Zagrożenia ze strony maszyn i ich skutki dla człowieka (zgniecenie, zmiżdżenie, przecięcie lub odcięcie, wplątanie, wciągnięcie lub pochwycenie, uderzenie, przekłucie lub przebiecie, starcie lub obtarcie, wytrysk cieczy o wysokim ciśnieniu, a także poślizgnięcia, potknięcia, śmierć) i środowiska stanowią podstawę projektowania i wdrażania środków technicznych – eliminujących lub ograniczających zagrożenia tak, aby maszyny były bezpieczne same z siebie, jak również zapewnione było ich właściwe instalowanie, użytkowanie, obsługiwanie i reutilizacja. Takie podejście do spraw bezpieczeństwa ma na celu zmniejszenie kosztów społecznych dużej liczby wypadków powodowanych bezpośrednio przez eksploatację.

Poza wspomnianymi powyżej rozwiązaniami należy wskazać także inne metody ograniczające zagrożenia, polegające na stosowaniu środków ochrony indywidualnej (np. rękawice chroniące przed urazem mechanicznym, odzież ochronna stosowana przy zagrożeniu pochwycenia i wplątania się w ruchome części, niepalna odzież impregnowana, obuwie antyelektrostatyczne, okulary przeciwdpryskowe, osłony twarzy) oraz odpowiednia wizualizacja informacji o istniejących zagrożeniach (w szczególności w przypadku substancji niebezpiecznych).

Zagrożenia czynnikami maszynowymi, podobnie jak innymi niebezpiecznymi czynnikami, należy eliminować lub ograniczać poprzez eliminowanie czynników lub zmniejszenie ich aktywności oraz ograniczanie ekspozycji osób na czynniki, których nie udało się wyeliminować. Eliminowanie lub ograniczanie aktywności zagrożeń realizowane jest głównie na etapie projektowania poprzez odpowiednią konstrukcję maszyny, wyposażanie ją w odpowiednie środki techniczne bezpieczeństwa, a następnie uzupełnianie jej układem sterowania bezpieczeństwem, który stanowi ochronę dodatkową w sytuacji, gdy dwa opisane wyżej etapy projektowania nie wystarczają do zapewnienia wymaganego poziomu bezpieczeństwa. Ograniczanie ekspozycji na zagrożenia maszynowe realizowane jest natomiast na etapie eksploatacji.

Podstawowe możliwości na etapach projektowania i eksploatacji zapobiegania zagrożeniom stwarzanym przez maszyny przedstawiono na rysunku 4.2.

Projektowe ograniczenie aktywności czynników zagrażających sprowadza się, w głównej mierze, do eliminowania czynnika lub utrudniania możliwości powstawania sytuacji zagrożenia poprzez dobór kształtów, wymiarów, gładkości powierzchni, parametrów ruchu elementów oraz stworzenia możliwości uwolnienia się człowieka z sytu-

acji zagrożenia bądź zmniejszenia skutków takich sytuacji. Projektant winien również przewidywać anormalne sytuacje w pracy obiektu technicznego lub zakłócenia wywołane błędem człowieka lub uszkodzeniami, pęknięciami, nadmiernym okształceniem, obłuzowaniem i innymi naruszeniami konstrukcji maszyny doprowadzające do ich awarii.

Eksplatacyjne ograniczenie możliwości powstawania zagrożeń polega w głównej mierze na właściwym doborze maszyny do warunków pracy, przestrzeganiu wszelkich zaleceń producenta dotyczących użytkowania i obsługi maszyn, stosowaniu środków ochrony indywidualnej, dopuszczeniu do pracy na nich osób o odpowiednich kwalifikacjach (przeszkolonych), właściwej organizacji pracy (zmianowość, przerwy w pracy itp.).



Rys. 4.2. Wybrane sposoby zapobiegania zagrożeniom maszynowym [33]

Najskuteczniejszym sposobem eliminowania lub ograniczania ekspozycji na niebezpieczne czynniki jest takie jego usytuowanie, aby człowiek, przy pełnej swobodzie ruchów, nie mógł osiągnąć do strefy zagrożenia lub ruchomy element maszyny nie dosięgał człowieka. Podstawę do ustalania odległości uniemożliwiających osiągnięcie do strefy zagrożenia, nazywanych odległościami bezpieczeństwa, stanowią wymiary

antropometryczne i możliwości ruchowe (np. tułowia, kończyn) ustalone w wyniku badań osób dorosłych i podane w Polskiej Normie.

Z wielu środków technicznych służących zapobieganiu zagrożeniom powodowanych eksploatacją maszyn istotne znaczenie mają specjalne urządzenia stosowane do ochrony przed zagrożeniami operatora lub innych osób. Urządzenia te są nazywane technicznymi środkami ochronnymi i podzielono je na osłony i urządzenia ochronne.

Osłony i urządzenia ochronne powinny być wytrzymałe i umieszczone w odpowiedniej odległości od strefy niebezpiecznej, nie powinny powodować dodatkowego ryzyka, nie powinny dawać łatwo się obejść lub wyłączyć, nie powinny powodować utrudnienia w obserwacji procesu produkcyjnego, jak również powinny umożliwiać dostęp konieczny do mocowania lub wymiany narzędzi oraz konserwacji.

Urządzenia ochronne są to wszelkie urządzenia, które nie stanowią materialnej przegrody między człowiekiem a niebezpiecznym czynnikiem mechanicznym. Podczas normalnego funkcjonowania maszyny uniemożliwiają one uaktywnienie czynnika mechanicznego wówczas, gdy człowiek lub część jego ciała znajduje się w strefie niebezpiecznej lub uniemożliwiają wtargnięcie do działania tego czynnika (rys. 4.3).

Bezpieczeństwo funkcjonalnie jest zdefiniowane w normie [30] następująco: część bezpieczeństwa maszyny i systemu sterowania maszyny, która zależy od poprawnego funkcjonowania systemów SRECS, związana z bezpieczeństwem systemów wykonanych w innych technikach oraz zewnętrznych środków redukowania ryzyka (SRECS – elektryczne systemy sterowania związane z bezpieczeństwem). Oznacza to także ochronę przed zagrożeniem spowodowanym nieprawidłowym działaniem samych funkcji bezpieczeństwa.



Rys. 4.3. Sterownik i czujniki bezpieczeństwa

Każdą funkcję bezpieczeństwa poddaje się całościowej analizie w celu ustalenia takich środków redukcji ryzyka (ochrony), które byłyby mierzalne w sposób jakościowy i ilościowy. Znaczy to, że analizowane są w całości wszystkie funkcje systemu, tj. wykrywanie, przetwarzanie i reakcja.

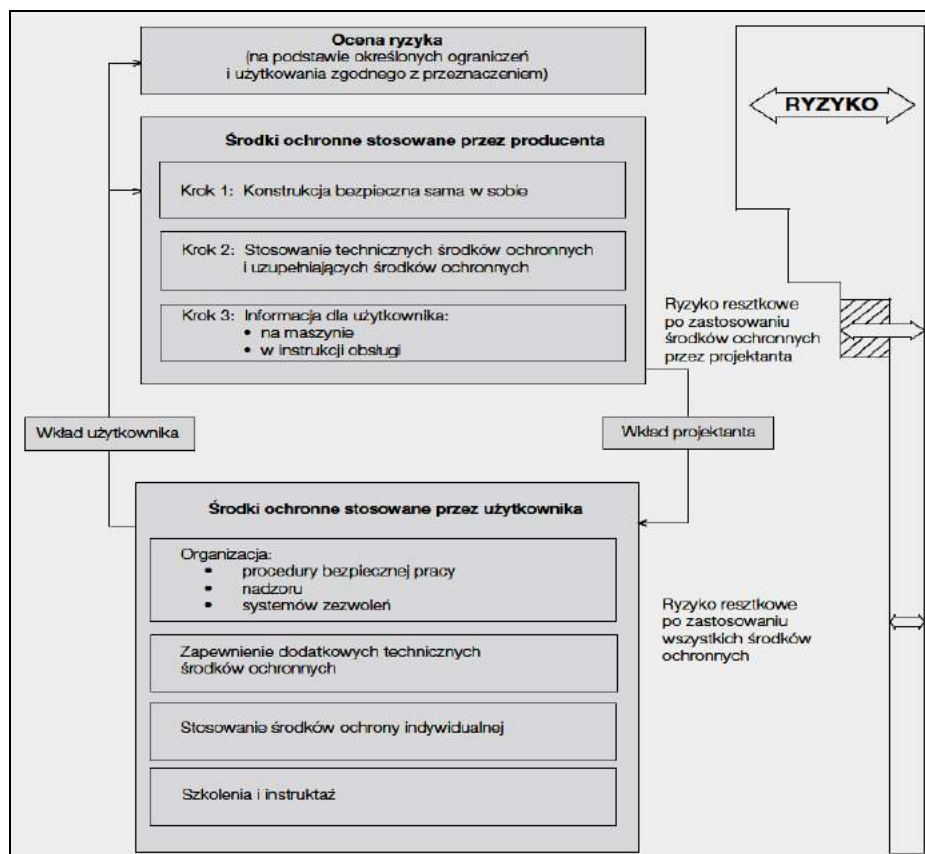
Po to, aby osiągnąć funkcjonalne bezpieczeństwo danej maszyny czy urządzenia, konieczne jest prawidłowe funkcjonowanie części mechanizmów zabezpieczających, istotnych ze względu na zasady bezpieczeństwa oraz takie ich zadziałanie w przypadku błędu, które zapewni pozostanie maszyny czy urządzenia w bezpiecznym stanie lub doprowadzenie do takiego stanu. W tym celu niezbędne jest zastosowanie zaawansowanych urządzeń technicznych, które potrafią sprostać wymaganiom odnośnych norm [30].

Omówione wyżej urządzenia i środki chronią w sposób czynny przed następstwami zagrożeń mechanicznych. Ochronę bierną stanowią wszelkiego rodzaju informacje o zagrożeniach w postaci barw, znaków, sygnałów itp. Środki te, informując lub ostrzegając o zagrożeniach, mogą istotnie zmniejszać ryzyko związane z tymi zagrożeniami.

Jeśli wyczerpanie wszystkich możliwości eliminowania zagrożeń mechanicznych lub zmniejszenia związanego z nimi ryzyka i jest ono wyższe od akredytowanego, to należy stosować środki ochrony indywidualnej. W zakresie ochrony przed zagrożeniami maszynowymi będą to przede wszystkim środki ochrony przed upadkiem z wysokości, przed spadającymi przedmiotami, gorącymi powierzchniami, ostrymi elementami, odpryskami, itd.

4.3. RYZYKO W EKSPLOATACJI MASZYN

Zgodnie z zasadami bezpieczeństwa maszyn analizy i oceny ryzyka maszynowego dokonuje się tego głównie na etapie projektowania i produkcji. Bez względu na to czy produkuje się maszynę unikatową (prototypową), podobną, czy też odtwórczą należy wykorzystać informacje o zagrożeniach maszynowych wskazywanych przez eksploatatorów maszyn, aby maksymalnie zminimalizować ryzyko maszynowe (rys. 4.4).



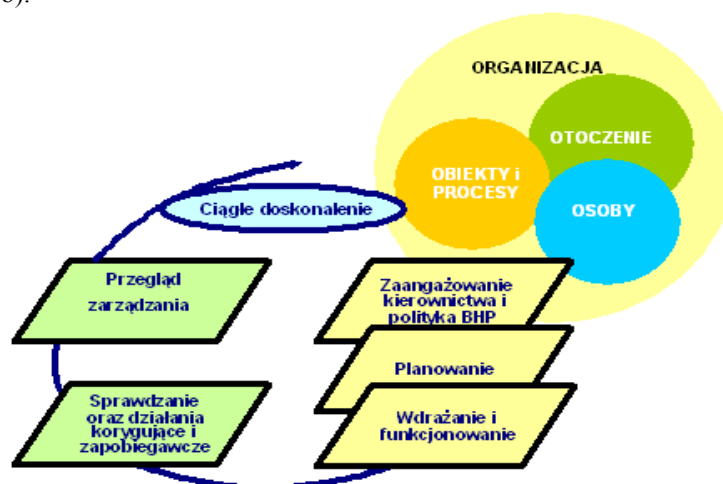
Rys. 4.4. Minimalizowanie ryzyka związanego z obsługą maszyn [30]

Proces oceny ryzyka winien być realizowany na dwóch etapach – na pierwszym należy określić ograniczenia dotyczące maszyny, zidentyfikować zagrożenia oraz oszacować ryzyko, a na drugim ocenić czy ryzyko jest akceptowalne.

Określenie ograniczeń dotyczących maszyn polega na zebraniu informacji odnośnie określonych faz życia maszyny, historii każdego wypadku i zdarzenia prawie wypadkowego lub pogorszeniu stanu zdrowia operatora (dla podobnych maszyn lub warunków pracy), rodzaju pracy i procedur obsługi, miejsca eksploatacji (np. przemysłowe, amatorskie), wykształcenia operatorów, ekspozycji innych osób na zagrożenie, zasięgu pracy maszyny, wymaganej przestrzeni do użytkowania oraz obsługi maszyn, wymagań związanych z zasilaniem, limitu czasu użytkowania (cała maszyna, podzespoły), zalecanych okresów między-obługowych i naprawczych, ograniczeń w użytkowaniu, czystości otoczenia, itp.

Identyfikacja zagrożeń maszynowych (rys. 4.5) powinna obejmować zarówno widoczne gołym okiem czy też stosunkowo łatwo identyfikowalne pochodzące np. od poruszających się części maszyn, jak i takie, których wykrycie wymaga stosowania odpowiednich przyrządów pomiarowych lub też mogące powstać na skutek błędnego lub celowego działania człowieka.

Podstawowe zagrożenia, które może stwarzać analizowana maszyna oraz zagrożenia związane z otoczeniem, w którym przewidywane jest jej użytkowanie wymieniono w normie [wg 30]. Szacowanie ryzyka związanego ze zidentyfikowanymi zagrożeniami polega na ustaleniu, jakie mogą być szkodliwe następstwa zagrożenia i jakie jest prawdopodobieństwo, że one wystąpią. Stopień ciężkości możliwej szkody można oszacować uwzględniając charakter tego, co ma być chronione (osoby, mienie, środowisko), ciężkość urazów lub pogorszenia stanu zdrowia (lekkie – zazwyczaj odwracalne, ciężkie – zazwyczaj nieodwracalne) oraz zakres szkody związanej z maszyną (jedna osoba, wiele osób).



Rys. 4.5. Systemowe wdrażanie zasad bezpieczeństwa w zakładzie

Prawdopodobieństwo zaistnienia szkody szacuje się z uwzględnieniem częstości i czasu trwania narażenia, możliwości zaistnienia zdarzenia zagrażającego, możliwości uniknięcia lub ograniczenia szkody, świadomości ryzyka przez operatora, jego osobni-

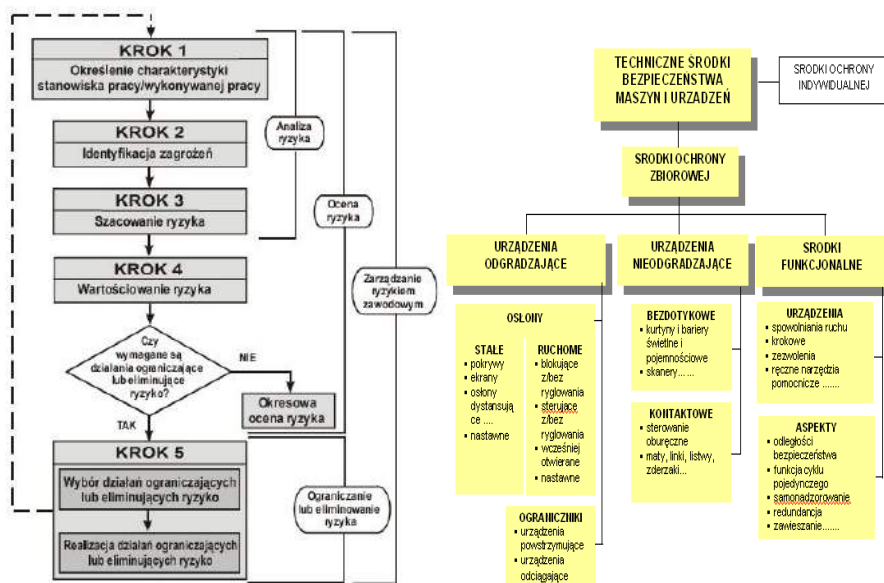
czych możliwości uniknięcia lub ograniczenia szkody (refleksu, zwinności, zdolności do ucieczki), praktycznego doświadczenia i wiedzy.

Zagrożenia powodujące urazowy lub szkodliwy wpływ na człowieka należy szacować, analizując wszystkie rodzaje działania maszyny i metody pracy, a więc nie tylko normalnego użytkownika maszyny, ale również kwestii potrzeby dostępu podczas ustawiania, programowania, zmian lub korekt procesu, czyszczenia, obsługiwaniania i napraw.

W szacowaniu ryzyka należy uwzględnić możliwość uszkodzenia elementów składowych maszyny (w tym uszkodzenia lub fizycznego zużycia technicznych środków bezpieczeństwa), zaniku zasilanie energetycznego (np. brak prądu), organizację pracy, zastosowanie środków ochrony indywidualnej, itd.

Istotnym elementem wpływającym na ryzyko jest człowiek, a więc należy w szacowaniu zagrożeń uwzględnić np. aspekty współdziałania człowieka z maszyną, czynniki psychologiczne, ergonomiczne, wykształcenie, umiejętności oraz zarządzanie ryzykiem (rys. 4.6). Należy także przewidzieć omijanie lub eliminowanie przez operatorów maszyn środków bezpieczeństwa zainstalowanych w maszynie (np. usuwanie osłon).

W wyniku analizy ryzyka otrzymuje się informacje niezbędne do jego oceny, która z kolei umożliwia podejmowanie decyzji o bezpieczeństwie związanym z maszyną [10]. Oceny ryzyka dokonuje się, stosując różne mierniki. Ich wybór zależy od rodzaju ryzyka, jakie podlega ocenie, przy czym zawsze szacowanie ryzyka musi być oparte na dwóch elementach: skutkach i prawdopodobieństwie szkody.



Rys. 4.6. Zarządzanie ryzykiem oraz środki bezpieczeństwa

Oszacowania zawsze są obarczone niepewnością związaną przede wszystkim z przypadkowym charakterem zdarzeń i sposobem wyznaczania szkodliwych następstw zagrożeń dla zdrowia człowieka. Do szacowania ryzyka stosuje się na ogół wskaźniki, opisujące w sposób ogólny zakres prawdopodobieństwa wystąpienia oraz wielkość strat. Do szacowania ryzyka wykorzystać można metody [30]: oszacowanie ryzyka

zawodowego w skali trójstopniowej wg Polskiej Normy, wstępnej analizy zagrożeń (PHA), oceny ryzyka za pomocą wskaźnika ryzyka – Risk Score, oceny ryzyka za pomocą analizy bezpieczeństwa pracy (JSA), analiza rodzajów uszkodzeń i ich skutków (FMEA), systematycznej analizy ryzyka (MOSAR), analiza drzewa błędów (FTA).

W metodzie trójstopniowej, zalecanej przez Polską Normę korzysta się z dwóch parametrów ryzyka: ciężkości następstw (skutków) występujących zagrożeń maszynowych oraz prawdopodobieństwa, z jakim następstwa te (urazy, choroby) mogą wystąpić.

Źródłem zagrożeń maszynowych może być także nieprzystosowania warunków pracy na danej maszynie do możliwości fizycznych konkretnego człowieka. Wymuszona, nienaturalna pozycja ciała przy pracy, konieczność używania znacznej siły fizycznej, powtarzalność ruchów prowadzić może do powstawania chorób objawiających się np. dolegliwościami mięśniowo-szkieletowymi. Do ich oceny mogą być stosowane przykładowo takie ergonomiczne metody, jak: OWAS, REBA, RULA [30].

W normie [wg 30] zawarto również zasady oceny ryzyka dotyczącego wyzwalanych w czasie pracy maszyny czynników chemicznych. Szacowanie ryzyka odbywa się na podstawie dopuszczalnych, chwilowych i pułapowych stężeń i natężeń czynników szkodliwych podanych w przepisach prawnych lub w przypadku czynników niemających ustalonych wartości dopuszczalnych uwzględnia się trzy zmienne: podstawowe zagrożenie daną substancją chemiczną, skłonność do przedostawania się substancji do środowiska (lotność/tworzenie pyłów) oraz ilość substancji użyta w ocenianej operacji.

4.4. PROJEKTOWANIE BEZPIECZEŃSTWA EKSPLOATACJI MASZYN

Projektowanie bezpieczeństwa maszyn powinno być realizowane od etapu planowania zakupu nowego środka pracy, poprzez cały proces eksploatacji, aż do momentu wycofania maszyny ze stanowiska pracy. Jednym ze sposobów spełnienia tego warunku jest kontrola maszyn [12, 30]:

- wstępna po ich zainstalowaniu, a przed przekazaniem do eksploatacji,
- po zainstalowaniu na innym stanowisku pracy lub w innym miejscu,
- regularna, gdy maszyna pracuje w warunkach pogarszających jej stan,
- specjalna, w przypadku możliwości pogorszenia bezpieczeństwa będącego wynikiem prac modyfikacyjnych, zjawisk przyrodniczych, wydłużonego czasu postoju maszyny lub niebezpiecznych uszkodzeń albo wypadków przy pracy,
- okresowa, nie rzadziej niż co 5 lat, celem której jest ocena, czy nie zmieniły się przepisy prawne – decydujące o doprowadzeniu maszyny oraz stanowiska pracy do przepisów aktualnie obowiązujących.

Wyniki kontroli powinny być rejestrowane i przechowane przez okres 5 lat od dnia zakończenia tych kontroli, a w miejscu eksploatacji maszyny powinien być dostępny dokument, potwierdzający przeprowadzenie ostatniej kontroli w postaci, np. świadectwa dopuszczenia do eksploatacji podpisanego przez uprawnione osoby. Różne zastosowania maszyn, coraz bardziej zaawansowane konstrukcje, ciągle zwiększanie ich wydajności (np. poprzez wyższe prędkości robocze i zwiększone moce) różnorodność sposobów sterowania

i obsługi, powodują, że współczesne maszyny stwarzają szereg zagrożeń, które mogą powodować wzrost ryzyka wypadku. Z tego względu, wyposażając nowe stanowiska pracy w maszyny i urządzenia techniczne należy precyzyjnie określić specyfikę pracy i uwzględnić to w analizach bezpieczeństwa, jeszcze przed świadomym podjęciem decyzji o wprowadzeniu danej maszyny do eksploatacji. Uczynić to można poprzez dobór maszyn do wykonywania danej pracy (właściwym jest konsultacja z pracownikami lub ich przedstawicielami dotyczących wprowadzania nowych technik oraz wyboru maszyn i innych urządzeń technicznych), prawidłowe przystosowanie do tego celu miejsca eksploatacji maszyny (uwzględniając wymogi ochrony środowiska) oraz zapewnić najmniejsze ryzyko użytkowania i obsługi maszyn.

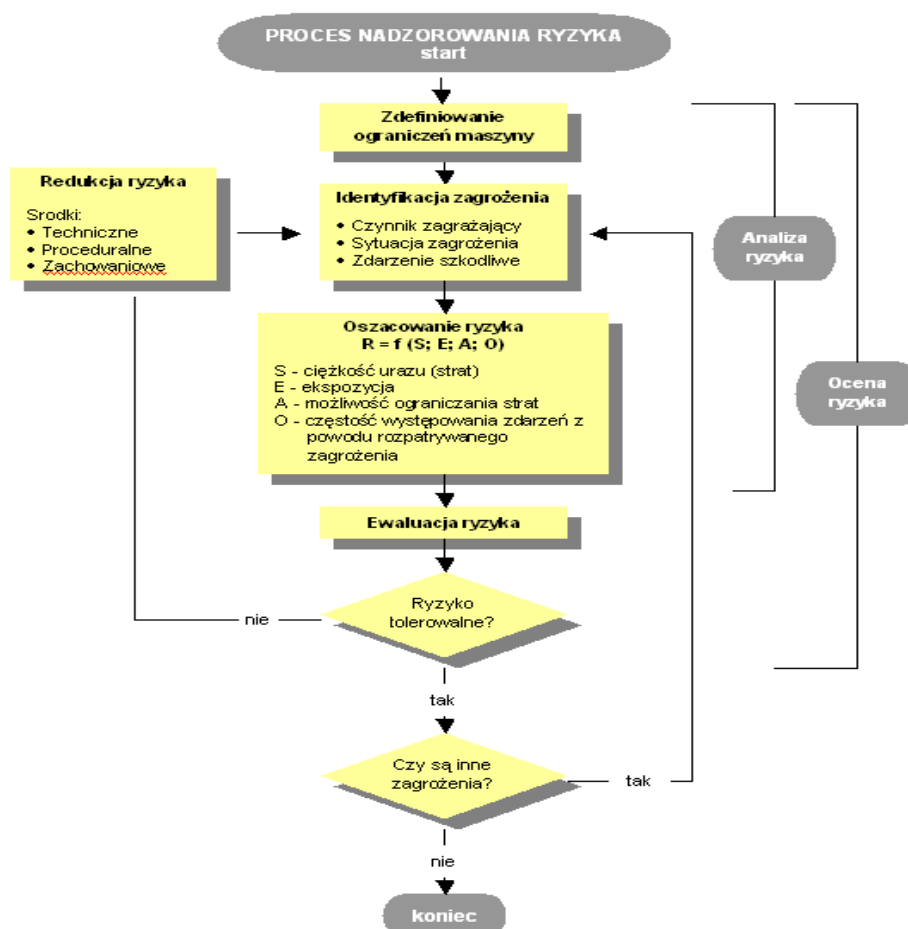
Ułatwieniem podjęcia decyzji może być stan dotychczasowej wiedzy dotyczącej przyczyn i sekwencji wypadków z udziałem maszyn [30, 34]. Wynika z niego, że maszyny mimo odrębnej specyfiki budowy i zastosowania, pod względem poziomu bezpieczeństwa są do siebie zbliżone – sytuacje niebezpieczne w eksploatacji maszyn oraz mechanizmy powstawania wydarzeń wypadkowych w procesach pracy są w istocie podobne i powtarzalne. Jak wskazuje literatura [4, 7, 15] około 75-80% wypadków maszynowych występuje podczas użytkowania maszyn.

Maszyna wprowadzona do eksploatacji staje się najważniejszym elementem stanowiska pracy operatora, ale również jest obiektem zainteresowania służb utrzymania ruchu w zakładzie. Przepisy dotyczące utrzymania maszyn stanowią, iż w czasie całego swego „życia”, maszyna, poprzez właściwe wykorzystanie oraz odpowiednią obsługę, powinna być utrzymywana w stanie zgodności z wymaganiami bhp. Pierwszą z możliwości uzyskania takiego stanu jest permanentne szkolenie operatorów, a drugą utrzymywanie zdolności zadaniowej maszyn przez właściwe obsługiwanie.

Nałożony na pracodawcę obowiązek szkolenia pracowników oraz pisemnego przekazywania im właściwie zredagowanych, merytorycznych i treściwych instrukcji eksploatacji maszyny powinien być zaprojektowany metodycznie i zrealizowany w sposób zgodny z zasadami przyswajania wiedzy. Instrukcje powinny być zrozumiałe dla pracowników i zawierać co najmniej informacje dotyczące bezpieczeństwa i higieny pracy w zakresie:

- warunków i sposobów użytkowania maszyn (sterowania, kierowania, itp.),
- zaleceń związanych z obsługiwaniem,
- występowania możliwych do przewidzenia sytuacji nietypowych,
- zagrożeń pochodzących od innych maszyn znajdujących się na sąsiednich stanowiskach pracy i o zmianach mogących wpływać na bezpieczeństwo.

Współdziałanie z pracownikami (nadzorowanie – rys. 4.7) powinno mieć charakter zwrotny, gdzie eksploatacysty maszyn, dostrzegając niedoskonałości w ich pracy zgłaszają potrzebę zmian poprawiających bezpieczeństwo.



Rys. 4.7. Nadzorowanie ryzyka i bezpieczeństwa eksploatowanych maszyn

Maszyna, aby w pełni można było wykorzystać jej potencjał wynikający z funkcji podlegać winna działaniom obsługowym (przeglądy, sprawdzenia, pomiary, wymiany części, regulacje, naprawy, wykrywanie usterek i nieprawidłowości, serwisowanie) [19, 30]. Czynności powyższe wykonują służby utrzymania ruchu zakładu zgodnie z zaprojektowanym i wdrożonym w przedsiębiorstwie systemem obsługowo-naprawczym. Wykonywanie tych czynności, poza przywróceniem lub utrzymaniem funkcjonalności maszyny, powinno powodować przywrócenie wymaganego przepisami poziomu bezpieczeństwa maszyny [19, 30].

W trakcie eksploatacji maszyny może zachodzić potrzeba jej modyfikacji lub modernizacji. Modyfikacja polegać będzie na zamianie części lub zespołów oryginalnych na zamienniki (ze względu na niedostępność oryginalnych lub niższą cenę), o tej samej funkcjonalności, do pracy w danej maszynie. Moderni-

zacja polegać będzie na zmianach dokonanych w maszynie w celu jej usprawnienia, zmianie funkcjonalności, poszerzenia opcji działania, itp.

Ze względu na poziom bezpieczeństwa maszyn szczególnego znaczenia nabiera kwestia modernizacji, a więc ingerencji w konstrukcję maszyny lub zasady jej eksploatacji. Jeżeli maszyna po modernizacji uległa istotnym zmianom modyfikującym jej parametry pracy należy przeprowadzić procedurę oceny jej zgodności z wymaganiami zasadniczymi dla maszyn [30, 36].

W warunkach wytężonej produktywności wymagającej utrzymywania maszyn w stanie zdolności eksploatacyjnej, prowadzenie bieżących prac regulacyjnych, smarowniczych, konserwacyjnych oraz bieżących naprawczych pracownik obsługujący musi często realizować zadania w stanie podwyższonego ryzyka, przy aktywnych zagrożeniach i zwolnionych urządzeniach ochronnych, w zespołach wieloosobowych, pod presją czasu.

Statystyka wykazuje, że 20-25% wypadków maszynowych związanych jest z wykonywaniem niezbędnych działań dotyczących utrzymania maszyn w ruchu, czyli w obsłudze. Te ostatnie dane są szczególnie alarmujące i z tego względu poświęca się temu problemowi wiele uwagi [19, 30, 36].

Właściwa obsługa maszyn i urządzeń technicznych oraz prawidłowe zarządzanie pracami obsługowymi staje się niezbędne dla utrzymania bezpiecznych i wydajnych miejsc pracy, dotyczy każdego miejsca pracy, we wszystkich sektorach przemysłu oraz wszystkich pracowników, na każdym szczeblu (rys. 4.8).

Z tak przedstawionych wyżej warunków bezpiecznego obsługiwanie wynika, że projektowanie procesu obsługiwanie powinno obejmować [9, 14, 30]:

- planowanie,
- podejście zorganizowane, oparte na ocenie ryzyka zawodowego,
- wyraźny podział ról i obowiązków,
- jasne wskazówki, jak ma być przeprowadzone,
- przeprowadzenie odpowiedniego szkolenia pracowników,
- zagwarantowanie środków: ochrony indywidualnej, sprzętu i narzędzi pracy,
- regularne kontrole procesu obsługiwanie w celu zapewnienia ich skuteczności.

Planowanie powinno obejmować takie kwestie, jak:

- zakres zadania, czyli co należy zrobić, ile czasu potrzeba na wykonanie, jaki wpływ będzie to miało na pracowników i czynności na stanowisku pracy,
- określenie źródeł zagrożeń celem oceny ryzyka związanego z zadaniem,
- niezbędne elementy danej czynności: umiejętności i liczba pracowników potrzebnych do wykonania zadania, nazwiska uczestników procesu, rola poszczególnych osób w realizacji zadania,
- niezbędne narzędzia, środki ochrony indywidualnej, których celem jest ochrona pracowników (np. rusztowanie, sprzęt do monitoringu),
- wyznaczenie bezpiecznego dostępu do prowadzonych prac i drogi ewakuacji,
- szkolenia i informacje dotyczące zadania oraz hierarchii służbowej pracowników, którzy je wykonują oraz dla osób pracujących w ich otoczeniu.

Przestrzeganie planu pracy jest niezbędne, nawet w przypadku pracy pod presją czasu – tzw. droga na skróty może być bardzo kosztowna i prowadzić do wypadków, obrażeń lub uszkodzenia mienia. W razie nieoczekiwanych zdarzeń konieczne może być powiadomienie kierownictwa lub konsultacja z innymi specjalistami. Należy pamiętać, że przekraczanie zakresu własnych umiejętności i kompetencji może zakończyć się bardzo poważnym wypadkiem.



Rys. 4.8. Różnorodne zagrożenia współczesnego przemysłu

Sprawdzenie wykonanej pracy jest niezbędnym elementem czynności obsługowo-naprawczych. Pozwala stwierdzić, czy zadania zostało właściwie wykonane i obsługiwana maszyna jest w bezpiecznym stanie.

Ostatnim krokiem jest sporządzenie sprawozdania dla kierownictwa, zawierającego opis wykonanej pracy wraz z uwagami dotyczącymi napotkanych trudności i zalecanych ulepszeń. Wskazane byłoby także omówienie realizacji zadania na spotkaniu personelu, podczas którego pracownicy uczestniczący w procesie obsługi, jak również osoby pracujące w ich otoczeniu mogłyby omówić pracę i wystąpić z propozycjami dotyczącymi udoskonalenia procesu [30].

W procesie rozwoju techniki i produkcji istotnym zagadnieniem jest zapewnienie wyrobom odpowiedniej „jakości”, bezpieczeństwa i efektywności. Właściwości obiektu, wpływające na jakość, bezpieczeństwo i efektywność, wywołują coraz to nowe problemy techniczne dla specjalistów różnych dziedzin techniki, jak i dla ekonomistów zainteresowanych nimi w aspekcie potrzeb gospodarki. Traktując użytkowanie maszyn jako główny etap weryfikacji ich przydatności i spełniania oczekiwań społecznych, coraz częściej na tym etapie prowadzi się intensywne badania poprawności działania w odpowiednio sformalizowanych strukturach eksploatacji.

Możliwości dokonania wszystkich dziedzin teorii eksploatacji pozwalają na nowoczesne rozwiązania w zakresie planowania i optymalizacji procedur projektowania, konstruowania, wytwarzania i eksploatacji maszyn, według głównego kryterium ich jakości i efektywności wykorzystania.

WYKAZ WAŻNIEJSZYCH PRZEPISÓW PRAWNYCH I NORM

- Ustawa z dnia 26 czerwca 1974 r. Kodeks pracy (jednolity tekst Dz.U. z 1998 r. Nr 21, poz. 94 z późn. zmianami),
- Rozporządzenie Ministra Gospodarki z dnia 30 października 2002 r. w sprawie minimalnych wymagań dotyczących bezpieczeństwa i higieny pracy w zakresie użytkowania maszyn przez pracowników podczas pracy (Dz.U. Nr 191, poz. 1596, zm. Dz.U. z 2003 r. Nr 178, poz. 1745),
- Rozporządzenie Ministra Pracy i Polityki Społecznej z dnia 26 września 1997 r. w sprawie ogólnych przepisów bezpieczeństwa i higieny pracy (jednolity tekst Dz.U. z 2003 r. Nr 169, poz. 1650 z późn. zmianami),
- Rozporządzenie Ministra Gospodarki z dnia 23 lipca 2009 r. w sprawie bezpieczeństwa i higieny pracy przy procesach galwanotechnicznych (Dz.U. Nr 126, poz. 1043),
- Rozporządzenie Ministra Gospodarki z dnia 14 kwietnia 2000 r. w sprawie bezpieczeństwa i higieny pracy przy obsłudze obrabiarek do drewna (Dz.U. Nr 36, poz. 409),
- Rozporządzenie Ministra Gospodarki z dnia 10 maja 2002 r. w sprawie bezpieczeństwa i higieny pracy przy użytkowaniu wózków jezdniowych z napędem silnikowym (Dz.U. Nr 70, poz. 650 z późn. zmianami),
- Rozporządzenie Ministrów Pracy i Opieki Społecznej oraz Zdrowia z dnia 19 marca 1954 r. w sprawie bhp przy obsłudze przenośników (Dz.U. Nr 13, poz. 51),
- Rozporządzenie Ministrów Pracy i Opieki Społecznej oraz Zdrowia z dnia 20 marca 1954 r. w sprawie bhp przy obsłudze żurawi (Dz.U. Nr 15, poz. 58),
- PN-EN ISO 12100:2011 Bezpieczeństwo maszyn. Ogólne zasady projektowania. Ocena ryzyka i zmniejszanie ryzyka,
- PN-EN 953+A1:2009 Bezpieczeństwo maszyn. Osłony. Ogólne wymagania dotyczące projektowania i budowy osłon stałych i ruchomych,
- PN-EN ISO 13849-1:2008 Bezpieczeństwo maszyn. Elementy systemów sterowania związane z bezpieczeństwem. Część 1 Ogólne zasady projektowania,
- PN-EN ISO 13855:2010 Bezpieczeństwo maszyn. Umiejscowienie wyposażenia ochronnego ze względu na prędkości zbliżania części ciała człowieka,
- PN-EN 60204-1:2010 Bezpieczeństwo maszyn. Wyposażenie elektryczne maszyn. Część 1: Wymagania ogólne,
- PN-EN 60529:2003 Stopnie ochrony zapewnianej przez obudowy (Kod IP).

...wszystko należy robić we właściwym czasie...

5. UTRZYMANIE ZDATNOŚCI MASZYN

Utrzymanie maszyn w ruchu jest w przedsiębiorstwie produkcyjnym sprawą kluczową, a właściwie przyjęta strategia eksploatacji rozumiana jako sposób użytkowania i obsługi maszyn oraz relacje między nimi mogą decydować o konkurencyjności przedsiębiorstwa na rynku.

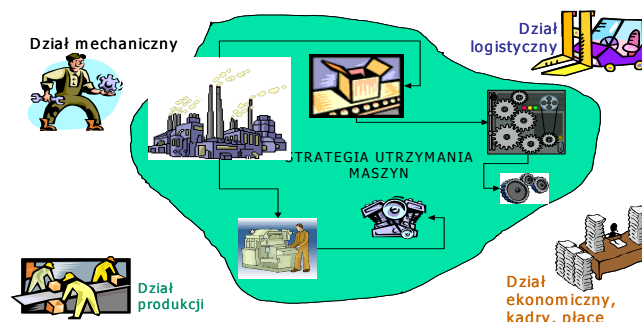
Istnieje wiele systemów i strategii utrzymania maszyn i w praktyce jej wybór najczęściej sprowadza się do przyjęcia jednego z poniższych modeli lub ich kombinacji [21]:

- strategia wynikająca z procedur ISO,
- outsourcing usług związanych z utrzymaniem maszyn,
- wg instrukcji obsługi, DTR i wymagań prawnych (głównie UDT),
- strategię o podejściu filozoficznym (5S, Kazein, TPM itp. w nowoczesnych, niekoniecznie dużych przedsiębiorstwach),
- strategia ukierunkowana na produkcję (do uszkodzenia).

Stany maszyn w zależności od celów analizy są w różny sposób definiowane i klasyfikowane. W sensie niezawodnościowym, w klasycznej teorii niezawodności, wyróżnia się stan zdatności i niezdatności. W zagadnieniach dotyczących identyfikacji, modelowania, oceny i analizy efektywności realizowanego procesu eksploatacji wyróżnia się stany eksploatacyjne maszyn. Na ogół stany niezawodnościowe i eksploatacyjne związane są z tzw. stanem technicznym maszyny.

Stan maszyny w określonej chwili czasu może być opisany za pomocą zbioru wartości jej istotnych cech w analizowanej chwili czasu. Oddziaływanie czynników wymuszających, związanych zarówno z realizowanym procesem roboczym, jak i oddziaływaniem otoczenia, na maszynę powoduje zmiany wartości jej cech. W wyniku użytkowania maszyny i zachodzenia procesów zużycia jej elementów następuje degradacja cech użytkowych maszyny.

Klasyczny opis działania maszyn wyróżnia dwa stany jej zdatności: zdatności i niezdatności. Niezdatność maszyny to stan, w którym nie może ona realizować wymaganych funkcji z wyłączeniem braku zdatności w czasie obsługi zapobiegawczej lub innych planowych działań lub z powodu braku materiałów eksploatacyjnych. Stan niezdatności jest często określany jako stan niezdatności wewnętrznej, a przywracanie zdatności jest możliwe po wykonaniu obsługi prewencyjnej (rys. 5.1).



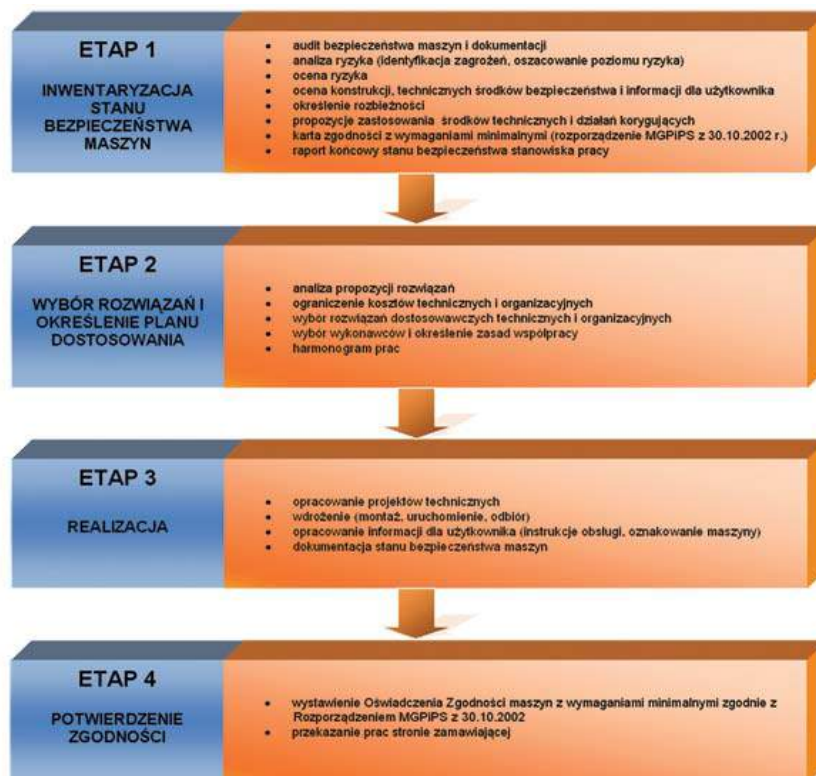
Rys. 5.1. Strategia utrzymania zdatności maszyn

Zdatność to stan maszyny charakteryzujący się tym, że może ona realizować wymagane funkcje (sformułowane w dokumentacji technicznej) przy założeniu, że konieczne środki zewnętrzne są zapewnione. Rozróżnia się zdatność zadaniową oraz funkcjonalną. Ta pierwsza jest to zdatność maszyny do realizowania zadania w wybranym przedziale czasu Δt lub innej wielkości, a druga jest to zdatność do realizowania zadania w wybranej chwili czasu t każdego zadania ze zbioru zadań, które są możliwe do zrealizowania przez maszynę.

Zadaniem maszyn jest spełnienie określonych wymagań w ciągu wyznaczonego przedziału czasu, w warunkach oddziaływania zbioru czynników wymuszających (czynniki robocze, czynniki zewnętrzne, czynniki antropotechniczne, czynniki uwarunkowane funkcjonowaniem maszyny, czynniki nieuwarunkowane funkcjonowaniem maszyny) powodujących zmiany własności maszyny.

5.1. ROLA SŁUŻB UTRZYMANIA RUCHU

Przez proces eksploatacji rozumie się ogół procesów dotyczących obiektów technicznych znajdujących się w fazie eksploatacji decydujących o efektywności i bezpieczeństwie ich zastosowania oraz efektywności i bezpieczeństwie systemu w którym są eksploatowane (rys. 5.2). W zbiorze sterowanych procesów eksploatacji istotne znaczenie mają procesy zapewniania zdatności.



Rys. 5.2. Poprawne kształtowanie bezpieczeństwa maszyn

Uszkodzenia maszyn mogą wynikać z błędów konstrukcyjnych, wad technologicznych, niewłaściwej eksploatacji (np. w warunkach nadmiernych obciążeń), naturalnego zużywania i starzenia, itp. Uszkodzenie jest nagłe lub stopniowe i może pojawić się niezależnie od czasu użytkowania. Na uszkodzenie maszyny może składać się działanie jednego lub więcej czynników jednocześnie i stąd jej uszkodzenie może być:

- mechaniczne (naprężenia statyczne, pełzanie, zmęczenie, pitting, zużycie cierne),
- chemiczne (korozja metali, starzenie gumy, farb, izolacji, butwienie drewna),
- elektryczne (elektrokorozja),
- cieplne (nadtapianie, zgorzelina).

Na utratę zdolności maszyn istotny wpływ (choć coraz większy nacisk na etapie projektowania kładzie się na jego ograniczenie) stanowi człowiek. W trakcie pracy zdolności człowieka do prawidłowego (efektywnego) sterowania maszynami wyczerpują się, przy czym na szybkość zmian stanu psychofizycznego operatora decydujący wpływ mają: indywidualne cechy operatora, stopień wykształcenia, zgodność wymogów techniki z cechami operatora, motywacje, organizacja pracy, stan zdrowia operatora, stan maszyny i otoczenia.

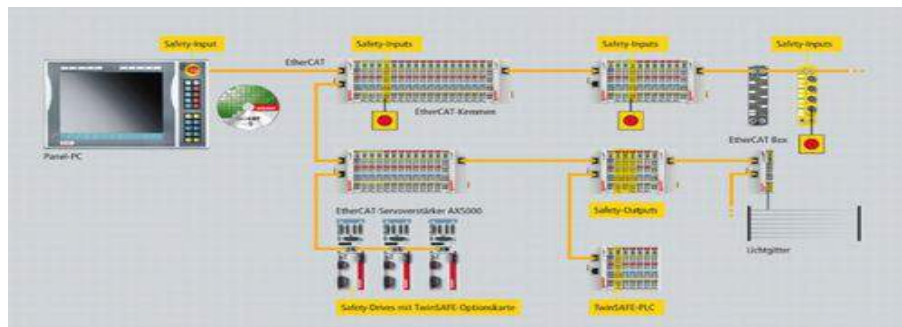
Procesy fizyko-chemiczne zachodzące w maszynach mają istotny wpływ na zmiany ewolucji ich stanu technicznego (cech ich elementów, podzespołów, zespołów). Mają zatem związek z użytkowaniem i szeroko rozumianym obsługiwaniem modułów konstrukcyjnych współczesnych maszyn. Procesy te są źródłem sygnałów diagnostycznych, których analiza pozwala (lub pozwalać powinna) generować informacje o ewolucji stanu technicznego maszyn.

Badania stanu zdolności maszyn realizowane za pomocą urządzeń diagnostycznych sprowadzają się obecnie do oceny danych pomiarowych w odniesieniu do stanu obiektów, na podstawie wiedzy posiadanej przez użytkowników. Wnioski operatorów są niekiedy błędne i w znacznym stopniu wpływają na wyniki badań diagnostycznych już w początkowym etapie pozyskiwania informacji diagnostycznej. Po to, aby wyeliminować ten subiektywny czynnik (wiedza operatora głównie decyduje o możliwościach skutecznej lokalizacji uszkodzeń), należy w konstrukcji urządzeń monitorujących (rys. 5.3) stan modułów konstrukcyjnych maszyn wykorzystać nowoczesne narzędzia inżynierii wirtualnej z obszaru diagnostyki technicznej umożliwiające budowę dedykowanych, pokładowych systemów bezpieczeństwa monitorujących stan maszyny.

W zbiorze procesów zapewniania zdolności maszyn można wyróżnić dwa podstawowe podzbiory [34]:

- procesy obsługi – podtrzymujące wartości cech użytkowych,
- procesy odnowy – realizowane w celu odtwarzania cech użytkowych maszyn.

Do podstawowych celów działania służb utrzymania ruchu (SUR) należy efektywna realizacja procesów zapewniania zdolności maszyn. Podstawowym zadaniem tych służb jest utrzymanie stanu zdolności zadaniowej maszyn oraz przywrócenie im stanu zdolności w przypadku, gdy uległy uszkodzeniu.



Rys. 5.3. Integracja systemów bezpieczeństwa

Rolą służb utrzymania ruchu jest utrzymanie maszyn we właściwym stanie technicznym i zapewnienie wymaganej gotowości do realizacji zadań oraz zapewnienie bezpiecznej realizacji procesów produkcyjnych (usługowych). W podsystemy zapewnienia zdolności, których elementem są służby utrzymania ruchu, w systemach eksploatacji (organizacjach, przedsiębiorstwach) prowadzone są działania dotyczące:

- realizacji, oceny i modernizacji stosowanej strategii eksploatacji maszyn, a w tym:
- zarządzania maszynami i innymi środkami trwałymi infrastruktury technicznej,
- zarządzania zasobami obsługiwanymi (środki smarne, płyny eksploatacyjne, narzędzia),
- zarządzania pracownikami służb utrzymania ruchu,
- prowadzenie gospodarki magazynowej dla procesów zapewniania zdolności,
- analizy i prognozowania stanów maszyn,
- sprawozdawczości.

Rozwiązywanie problemu kompleksowego zapewniania zdolności maszyn związane jest z realizacją zadań dotyczących między innymi (na podstawie [9]):

- identyfikowania możliwości realizacji procesów obsługowo-naprawczych maszyn,
- identyfikowania relacji między podsystemami użytkowania i zapewniania zdolności,
- oceny możliwego zakresu realizowanych procesów obsługowo-naprawczych,
- analizy tendencji rozwojowych organizacji i technologii wykonywania obsług i napraw,
- projektowania i budowy odpowiedniego do specyfiki realizowanego procesu roboczego i użytkowanych maszyn podsystemu obsługowo-naprawczego, lub jego modernizacji,
- gromadzenia informacji o uszkodzeniach, ich przyczynach, postaciach i skutkach,
- kształcenia pracowników eksploatacyjnych.

Pracochłonność i zakres realizacji zadań przez służby utrzymania ruchu uzależnione są między innymi od stanu maszyn, ich jakości, prawidłowości realizacji poszczególnych procesów eksploatacji, intensywności oddziaływań procesów destrukcyjnych, kosztów realizacji czynności obsługowo-naprawczych, itd. – rysunek 5.4 [9, 34].



Rys. 5.4. Czynności obsługowe o różnym skomplikowaniu

Do głównych zadań służb utrzymania ruchu należy:

- realizacja procesów obsługi profilaktycznego maszyn (w ramach przyjętej strategii eksploatacji),
- identyfikowanie i lokalizowanie uszkodzeń elementów maszyn oraz ich usuwanie,
- identyfikacja, analiza i ograniczanie intensywności procesów zużycia elementów,
- monitorowanie i usuwanie skutków zachodzących procesów zużycia,
- paszportyzacja maszyn oraz ewidencja danych o stanach maszyn oraz ich elementów.

Efektywne (zarówno w sensie ekonomicznym, jak i technicznym) i skuteczne realizowanie procesów zapewniania zdolności maszyn przez służby utrzymania ruchu ma istotny wpływ na bezpieczeństwo i efektywność użytkowania maszyn.

5.2. TECHNIKI INFORMACYJNE W UTRZYMANIU RUCHU MASZYN

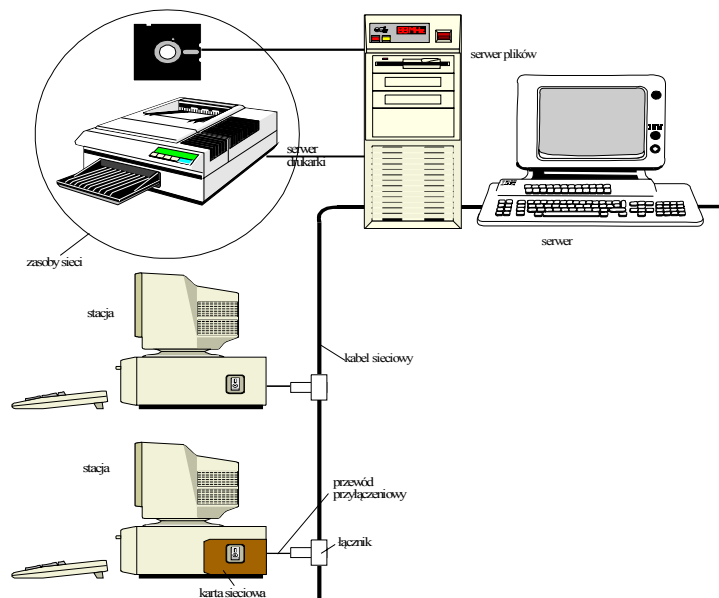
Procesy decyzyjne dotyczące działań eksploatacyjnych oraz związanych z nimi działań pomocniczych mogą być skutecznie wspomagane technologią informatyczną [36]. We współczesnych systemach eksploatacji w wielu przypadkach wykorzystuje się aplikacje komputerowe, wspomagające zarządzanie eksploatacją i utrzymaniem ruchu.

W podsystemie informatycznym przetwarza się dane i obsługuje procesy komunikatywne – sposobem tradycyjnym lub za pomocą elektroniki w ramach tzw. podsystemu informatycznego. Ze względu na rodzaj pełnionych funkcji podsystemy informacyjne można podzielić na: ewidencyjne, informowania kierownictwa, wspomagania decyzji oraz doradcze [36].

Zadaniem podsystemów ewidencyjnych jest bieżąca rejestracja wszystkich faktów gospodarczych, a także przygotowanie podstawowych sprawozdań dotyczących poszczególnych dziedzin funkcjonowania systemu eksploatacji. Pełnią one również funkcje usługowe dla innych podsystemów. Przykładami podsystemów ewidencji mogą być: ewidencja zatrudnienia, płac, środków finansowych, dostawców i odbiorców, zamówień, sprzedaży oraz rachunkowość i koszty, gospodarka środkami trwałymi, gospodarka materiałowa [9, 12, 36].

Celem podsystemów przeznaczonych do informowania kierownictwa jest usprawnianie i racjonalizacja procesów informacyjno-decyzyjnych, tzn. bezpośrednie dostarczanie kierownictwu systemy eksploatacji informacji niezbędnych do operacyjnego i taktycznego zarządzania. Podsystemy te obsługują głównie średnie szczeble zarządzania.

Podsystem wspomagania decyzji służy decydującym do identyfikacji problemów decyzyjnych oraz formułowania i rozwiązywania różnego rodzaju modeli decyzyjnych, umożliwiających podjęcie właściwych działań. Podsystemy te wspomagają planowanie działalności gospodarki gospodarczej, inwestycji, zaopatrzenia, sprzedaży wyrobów i usług oraz gospodarki finansowej. Rozszerzony zakres automatyzacji procesów podejmowania decyzji mają systemy doradcze o dowolnym zasięgu i czasie działania (decyzje: strategiczne, taktyczne i operacyjne). Systemy te (sieci) mogą być wykorzystywane także do bieżącego zarządzania system eksploatacji (rys. 5.5).



Rys. 5.5. Przykładowe elementy sieci w nadzorze eksploatacji maszyn

We współczesnych systemach eksploatacji w wielu przypadkach wykorzystuje się aplikacje komputerowe wspomagające zarządzanie eksploatacją i utrzymaniem ruchu. Kompleksowo opracowany, służący wymienionemu celowi system informatyczny określa się akronimem CMMS (*Computer Aided Maintenance Management System*), co w wolnym przekładzie można określić jako komputerowo wspomagany system zarządzaniem eksploatacją i utrzymaniem ruchu obiektów technicznych. Zastosowanie odpowiedniego oprogramowania (w systemach komputerowych typu *main frame*, w sieciach lokalnych komputerów osobistych lub z mniejszych systemach, w skład których wchodzi komputer osobisty) do zarządzania utrzymaniem ruchu zależy od wielkości, wymagań i struktury organizacyjnej przedsiębiorstwa. Sam system komputerowego wspomagania przetwarzanych danych jest w tym kontekście narzędziem pośrednim, a jego wykorzystanie zależy od złożań i przyjętych celów [36, 37].

Za pomocą komputerowego systemu wspomagania przetwarzanych danych w zakresie obsługiwań i napraw można [12]:

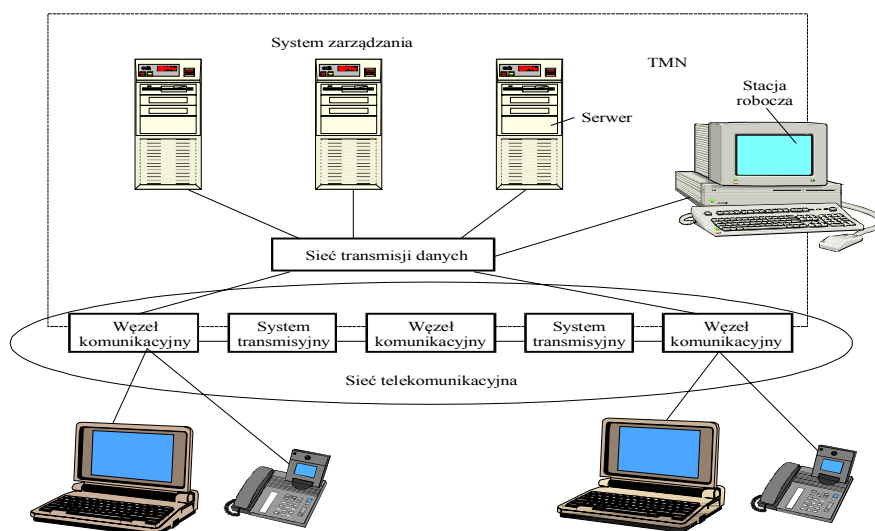
1. Budować system informatyczny, którego składnikami oraz zaletami są:
 - pełna dokumentacja,
 - przejrzystość terminologii,

- redukcja przestojów urządzeń i maszyn,
 - możliwość szybkiej analizy uszkodzeń powstających w miejscach na nie narażonych,
 - przejrzystość kosztów,
 - rozgraniczenie obliczania kosztów robocizny i materiałów według rodzaju kosztów,
 - osiągnięcia najlepszego stanu gospodarki materiałowej,
 - gromadzenie danych o dostawach,
 - kontrola i ocena zapasów,
 - sterowanie wykorzystaniem miejsc magazynowanych,
 - ulepszanie planowania potrzeb,
 - poprawa usług świadczących przez magazyn.
2. Zwiększyć dyspozycyjność urządzeń i maszyn przez:
 - gromadzenie danych o czasie wykorzystania maszyn oraz ich podział według:
 - czasów kalendarzowych i czasów eksploatacji,
 - czasów przeznaczonych na eksploatację i czasów wyłączenia,
 - gromadzenie danych o trwaniu postojów i ich podział według zakresu odpowiedzialności personelu produkcyjnego i utrzymaniem ruchu.
 3. Określać na podstawie analizy czasów przestojów i ich podział według zakresu odpowiedzialności personelu produkcyjnego i utrzymaniem ruchu.
 4. Analizować przyczyny pojawiania się uszkodzeń i określać ich cechy charakterystyczne oraz częstość występowania.

Systemowi wspomagania przetwarzanych danych w obsługiwaniach i naprawach można przypisać różne wymagania i funkcje [9]:

1. możliwość gromadzenia danych dotyczących wszystkich przedsięwzięć w ramach obsługi, dozoru i napraw,
2. wspieranie czynności przygotowawczych i planowania oraz maszynowej obróbki zleceń na wykonanie prac za pomocą:
 - instrukcji i przepisów roboczych,
 - planów pracy,
 - zleceń na wykonanie prac,
 - dostarczanie materiałów na podstawie specyfikacji z podziałem na rodzaje części,
 - planów roboczych, dowodów księgowych płac, kwitów pobrania materiałów,
 - ewidencjonowania zapasów części zamiennych,
 - planowania wykorzystania „mocy produkcyjnej” personelu,
 - planowania wykorzystania środków produkcji,
 - kierowania przebiegiem prac,
 - gromadzenia danych i sprawozdań z wykonywanych zleceń na obsługi i naprawy (roboczo-godziny, materiały, usługi obce, dane techniczne).
3. Możliwość usprawnienia przebiegu operacyjnego ze względu na:
 - zezwolenia techniczne,
 - uwolnienie środków preeliminowanych,
 - składanie sprawozdań.
4. Gromadzenie danych i rozliczanie kosztów obsługiwania i napraw z zastosowaniem specjalnej sprawozdawczości statystycznej – według miejsc ich powstania (wykonawca i odbiorca usług) oraz ich rodzajów.

5. Prowadzenie rejestru przebiegu eksploatacji urządzeń i maszyn w postaci opisowej, z wielu miejsc pracy (rys. 5.6) za pomocą sieci telekomunikacyjnej.
6. Gromadzenie i kontrolę danych podstawowych, zwłaszcza dotyczących:
 - miejsc powstania kosztów,
 - zbiorów stałych materiałów,
 - zbiorów stałych miejsc pracy,
 - zbiorów stałych środków produkcji.



Rys. 5.6. Ilustracja systemu zarządzania siecią złożonej struktury eksploatacji

Systemy Komputerowe CMMS do wspomagania utrzymania ruchu zostają coraz częściej wykorzystywane w przedsiębiorstwach. Poprawiają efektywność zarządzania firmą poprzez podtrzymywanie ciągłej produkcji, co pozwala na jej zwiększenie oraz zwiększenie korzyści i zysków w przedsiębiorstwie. Inwestując w odpowiednio dobrany system, firma zyskuje znaczącą przewagę nad konkurencją, zapewniając sobie nie tylko korzyści z nowych kontraktów, ale także ograniczenie kosztów działalności. Pozwala na to usystematyzowanie schematów działania, automatyzację wielu czynności, posiadanie spójnych danych przez pracowników, zachowanie wiedzy doświadczonych pracowników i łatwy dostęp do niej dla nowych pracowników.

5.3. OPROGRAMOWANIE UTRZYMANIA RUCHU

Istnieje potrzeba prowadzenia racjonalnej eksploatacji maszyn w zakresie optymalizacji ich stanu zdolności i badania rozwijających się zużyć. Stosowane są w tym zakresie nowoczesne systemy nadzoru i diagnozowania aktualnego stanu technicznego, w tym środki informatyczne o różnej skuteczności działania, które warto oceniać [36, 37].

Ciągłe dążenie do obniżania kosztów działania przedsiębiorstwa, minimalizacji czasów przestojów awaryjnych oraz czasów obsługiwań profilaktycznych, a także ciągły wzrost wymagań dotyczących bezpieczeństwa użytkowania maszyn uzasadniają konieczność i potrzebę stosowania informatycznych systemów służby utrzymania ruchu.

Zakup i wdrożenie właściwego systemu informatycznego wspomagającego procesy obsługi i zarządzania podsystemami utrzymania ruchu uzależnione jest od:

- wymagań stawianych tego typu systemom przez decydentów,
- rodzaju produkcji czy realizowanych usług,
- stosowanych urządzeń technicznych (ich złożoności i poziomu automatyzacji),
- wielkości przedsiębiorstwa,
- struktury organizacyjnej przedsiębiorstwa.

Systemy wspomagające procesy obsługi i utrzymania ruchu są tylko narzędziem, a korzyści z ich wdrożenia zależą nie tylko od właściwego ich wyboru ze względu na specyfikę przedsiębiorstwa i cele im stawiane przez decydentów, ale także (głównie) od racjonalnego ich stosowania i wiedzy oraz umiejętności wykorzystania ich możliwości i funkcji. Poprawne sformułowanie celów i wymagań stawianych tego typu systemom jest warunkiem niezbędnym do właściwego wyboru i uzyskania oczekiwanych efektów z ich wdrożenia.

Do podstawowych celów, jakie mogą zostać zrealizowane poprzez wdrożenie i racjonalne użytkowanie informacyjnych systemów wspomagających podsystemy utrzymania ruchu, poza celami głównymi (obniżenie kosztów przy zapewnieniu wymaganego poziomu gotowości i niezawodności eksploatowanych obiektów technicznych, skrócenie czasów przestojów maszyn i wzrost efektywności procesów obsługi i utrzymania), należy zaliczyć:

- utworzenie kompleksowej dokumentacji dotyczącej eksploatowanych maszyn, narzędzi i innych obiektów technicznych (paszportyzacja maszyn technologicznych, posiadane certyfikaty, atesty, itp.) i zapewnienie łatwego i szybkiego dostępu do tych danych przez uprawnione osoby,
- standaryzacja stosowanej terminologii,
- wspomaganie planowania procesów obsługi i zakupów materiałów eksploatacyjnych i elementów wymiennych,
- ewidencja i przetwarzanie danych dotyczących zdarzeń eksploatacyjnych (użytkowanie, obsługa, uszkodzenia, itd.), w tym automatyzacja niektórych z procesów ewidencji i przetwarzania danych,
- ograniczenie czasów przestojów maszyn,
- szybka analiza danych dotyczących uszkodzeń obiektów technicznych,
- automatycznie generowanie opracowanych raportów dla wybranych przedziałów czasu dotyczących: czasów pracy, czasów obsługi, przestojów, itd.,
- identyfikacja kosztów związanych z procesami obsługi, w tym możliwość rejestracji i analizy kosztów w układzie rodzajowym,
- optymalizacja zarządzania materiałami eksploatacyjnymi i częściami wymiennymi (automatyzacja procesów składania zamówień do przedsiębiorstw zewnętrznych),
- kontrola, analiza i optymalizacja tzw. zapasów,
- identyfikacja węzłów szczególnie podatnych na uszkodzenia (tzw. słabych ogniw),
- identyfikacja tzw. uszkodzeń powtarzalnych,
- zwiększenie efektywności i jakości realizowanych procesów obsługowych dzięki zwiększeniu zaangażowania pracowników – poprzez identyfikację ich działań.

Do podstawowych funkcji systemów informatycznych wspomagających procesy utrzymania ruchu należy zaliczyć:

- ewidencję i przetwarzanie danych dotyczących eksploatowanych obiektów technicznych (linii technologicznych, maszyn wchodzących w ich skład, innych urządzeń) i środków eksploatacji,
- odwzorowanie struktury przedsiębiorstwa (dekompozycja struktury organizacyjnej i technicznej dla przyjętego poziomu szczegółowości) i jej wizualizację,
- ewidencję i przetwarzanie danych dotyczących procesów obsługowych (w zakresie ustalonym przez decydentów przedsiębiorstwa),
- wspomaganie procesów obsługi i ich planowania, między innymi poprzez:
 - ewidencję zakresów czynności i ich automatyczne generowanie dla danej obsługi,
 - automatyzację generowania zleceń na wykonanie procesów obsługowych (zakres czynności, pracownik realizujący obsługę, wykaz narzędzi i środków, przekazywanie zleceń do wskazanych stanowisk w przedsiębiorstwie),
 - zarządzanie uprawnieniami pracowników realizujących obsługę,
 - rozliczenia wykonanych prac,
- automatyczne generowanie sprawozdań i raportów okresowych i bieżących,
- ewidencję i rozliczanie kosztów (w ujęciu rodzajowym i miejscu ich powstawania),
- automatyczne monitorowanie (alarmowanie) o terminach usług planowych.

Zakresy funkcji oferowanych przez dostępne na rynku systemy informatyczne wspomagające SUR są znacznie rozbudowane w stosunku do zestawionych powyżej funkcji podstawowych. Zróżnicowanie funkcji tego typu systemów z jednej strony umożliwia właściwy dobór systemu do specyfiki i potrzeb przedsiębiorstwa, a z drugiej utrudnia (ze względu na brak unifikacji) analizę tych systemów i ich właściwy dobór.

Jako cenną cechę niektórych spośród oferowanych tego typu systemów należy wskazać modułowość tych systemów (współpraca pomiędzy modułami i ich integracja) i możliwość niezależnego wdrażania poszczególnych modułów w zależności od aktualnych potrzeb przedsiębiorstwa.

Programy komputerowe typu CMMS (Computerised Maintenance Management Systems) przeznaczone są do wspomagania szeroko rozumianego podsystemu utrzymania ruchu (służb utrzymania ruchu) zarówno w przedsiębiorstwach produkcyjnych, usługowych, jak i innych, w których eksploatowane są obiekty techniczne. Umożliwiają one między innymi gromadzenie informacji o uszkodzeniach obiektów i realizowanych w przedsiębiorstwie procesach eksploatacji wraz z ich szczegółowymi opisami dla maszyn, urządzeń i pojazdów oraz opracowanie harmonogramów przeglądów okresowych oraz ich kolejkovanie. Stąd coraz większa liczba dostępnych na polskim rynku tego typu systemów.

Istniejące rozwiązania w większości przypadków realizują podstawowe funkcje wymagane od tej kategorii oprogramowania. Jednak ich stopień złożoności, łatwość wdrożenia i stosowania, zakres oferowanych funkcji dodatkowych, podatność na ingerencje użytkownika i dostosowanie do jego specyficznych potrzeb oraz szereg innych cech znacznie utrudniają, a niekiedy uniemożliwiają bezpośrednie porównanie oferowanych rozwiązań. Tym samym utrudniony jest proces doboru najlepiej dostosowanego pakietu do specyfiki przedsiębiorstwa.

Systemy komputerowego wspomagania procesów eksploatacji dedykowane do podsystemów utrzymania ruchu powstały jako programy ułatwiające racjonalne realizowanie procesów obsługi maszyn i napraw oraz planowanie działań prewencyjnych, ewidencjonowanie i rozliczanie kosztów obsługi, automatycznego generowania raportów dla zarządów, itp. Obecnie ich możliwości i funkcje mogą być znacznie

szersze. Programy tego typu są przystosowane do wdrożenia zarówno w małych jak i dużych przedsiębiorstwach różnych branż. Często oferowane oprogramowanie ma możliwość działania w sieci komputerowej, co umożliwia nadanie poszczególnym użytkownikom różnych uprawnień. Sieciowa struktura oferowanych programów umożliwia, korzystanie z sieci bezprzewodowych, sieci GSM i innych rozwiązań mobilnych, co daje możliwość aplikacji w systemach transportowych i rozproszonych. Często istnieje możliwość odwzorowania struktury przedsiębiorstwa i struktury funkcjonalnej eksploatowanych obiektów na wymaganym, przez przedsiębiorstwo wdrażające system poziomie, szczegółowości dekompozycji. Odwzorowanie struktury złożonych systemów produkcyjnych w postaci drzewa dekompozycji wzbogaconej o zdjęcia i rysunki techniczne urządzeń (zespołów, podzespołów, węzłów, itp.) ułatwia lokalizację obiektów.

Do dostępnych na polskim rynku programów komputerowe klasy CMMS należą: Agility, API PRO, CMMS Maszyna NG, CMMS SQL, Golem OEE, IBM Maximo Express, Plan9000, PREKON, S.U.R.-FBD, TETA CONSTALATION.

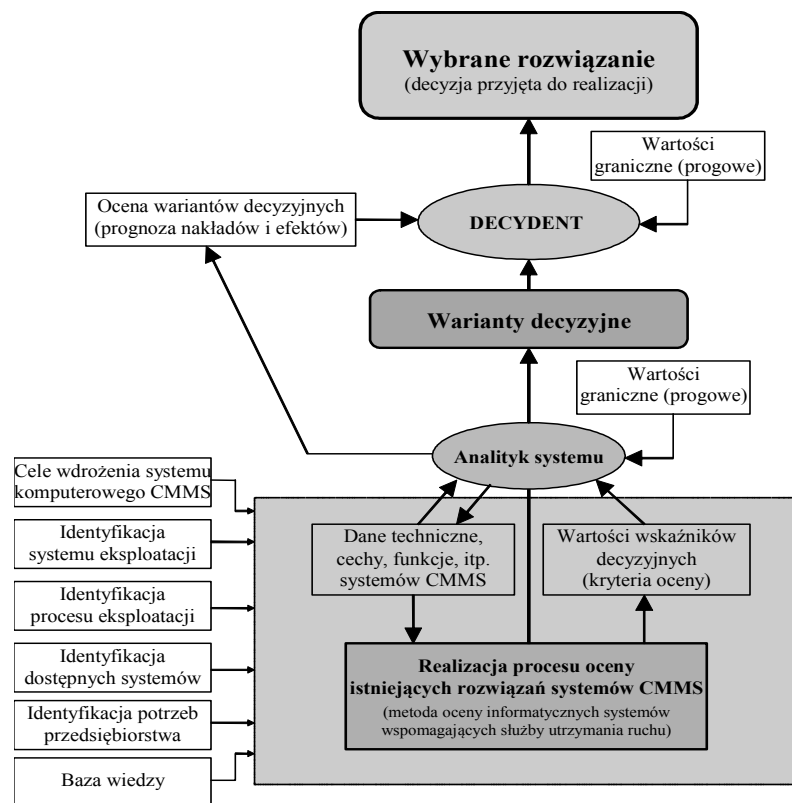
Do liczących się producentów narzędzi informatycznych wspomagających realizację kompleksowych analiz związanych z problematyką niezawodności, ryzyka, obsługiwalności oraz bezpieczeństwa złożonych systemów technicznych i procesów w różnych fazach ich istnienia należą: Isograph Ltd, Item Software, Relex Software Corporation, ReliaSoft. Tego typu narzędzia informatyczne najczęściej składają się z podstawowych modułów dedykowanych określonej klasie zadań, z których każdy można zakupić osobno lub mogą być zintegrowane w dowolnej kombinacji.

Zaawansowane pakiety programów komputerowych tego typu umożliwiają [30, 36]:

- analizę różnych miar niezawodnościowych i modeli opisujących procesy utraty i przywracania stanu zdadności (uszkodzenie, odnowa) elementów (model stałego prawdopodobieństwa, element wyłączony, wymuszenie sekwencyjne, element rezerwowy, binominalny, Poissona itd.) oraz operatorów logicznych (AND, PAND, OR, EXOR, NOT, „k” z „n”, i inne),
- oszacowanie gotowości i niezawodności oraz analizę systemów charakteryzujących się wielowymiarową, zmienną strukturą niezawodnościową z uwzględnieniem procesów obsługowych oraz stanów zapasów części zamiennych,
- realizację analiz dla różnych modeli (rozkładów) uszkodzeń i napraw elementów systemu (wykładniczy, normalny, Weibulla, Rayleigha),
- analizę schematów blokowy niezawodności (RBD),
- budowanie wielowierzchołkowych drzew niezdatności,
- analizę drzewa niezdatności (FTA),
- analizę drzewa zdarzeń (ETA),
- analizę stanów zdadności (success states),
- analizę systemu z wprowadzonym zdarzeniem zewnętrznym (house event analysis),
- prowadzenie różnego typu analiz FMEA/FMECA, a w tym:
 - projektowe: Design FMEA (DFMEA),
 - procesowe: Process FMEA (PFMEA),
 - maszynowe: Machinery FMEA (MFMEA) oraz inne,
- generowanie raportów FMEA oraz FMECA, w tym przy śledzeniu efektu końcowego,
- automatyzację procedury sporządzania raportów FMECA lub FMEA dla instalacji procesowych i dla nowych projektów (skrócenie czasu przygotowania raportów),

- analizę złożonych systemów technicznych w odniesieniu do niezdatności wywołanych zdarzeniami o wspólnej przyczynie (analizę zdarzeń o wspólnej przyczynie CCF, definiowania tabel definiujących te zdarzenia i tabel konsekwencji),
- prezentację rodzajów niezdatności w formie systemowego wykresu hierarchicznego,
- korzystanie z bibliotek opisów elementów systemów, zdarzeń i skutków niezdatności,
- tworzenie własnych bibliotek elementów, zdarzeń i skutków,
- prowadzenie czasowo zależnej analizy niezawodności i gotowości,
- realizację analiz wykorzystujących teorię łańcuchów i procesów Markowa,
- zarządzanie elementami zamiennymi (optymalizacja wg kryterium kosztów itp),
- analizę błędów ludzkich,
- modelowanie i analizę błędów ludzkich z wykorzystaniem metodologii HF-PFMEA (Human Factors Process Failure Mode and Effect Analysis),
- eksport danych do programów zewnętrznych.

Przeróżne możliwości, wielki wybór i zróżnicowany stan skomplikowania uzasadniają przyjęcie opracowanej metody (rys. 5.7) oceny informatycznych systemów wspomagających służby utrzymania ruchu. Istota opracowanej metody polega na realizacji w sposób sformalizowany wyróżnionych etapów postępowania oraz zastosowaniu systemu kryteriów i analizie wyznaczonych wartości wskaźników decyzyjnych [30].



Rys. 5.7. Istota opracowanej metody oceny informatycznych systemów wspomagających służby utrzymania ruchu [33]

5.4. OPROGRAMOWANIE CYKLU ŻYCIA PRODUKTU

Każda faza cyklu życia produktu wymaga prowadzenia różnej strategii marketingowej. Metody i narzędzia, w tym narzędzie informatyczne wspomagające pracowników i kadrę zarządzającą przedsiębiorstwa są również często dedykowane dla poszczególnych etapów istnienia na rynku produktu. Stosowane są także programy komputerowe, w postaci zbioru powiązanych i zintegrowanych pakietów informatycznych, dedykowanych metodzie **cyklu życia produktu** i wspomagające działania podejmowane w każdym z wyróżnionych etapów życia produktu.

Najczęściej wyróżnia się cztery podstawowe fazy cyklu życia produktu:

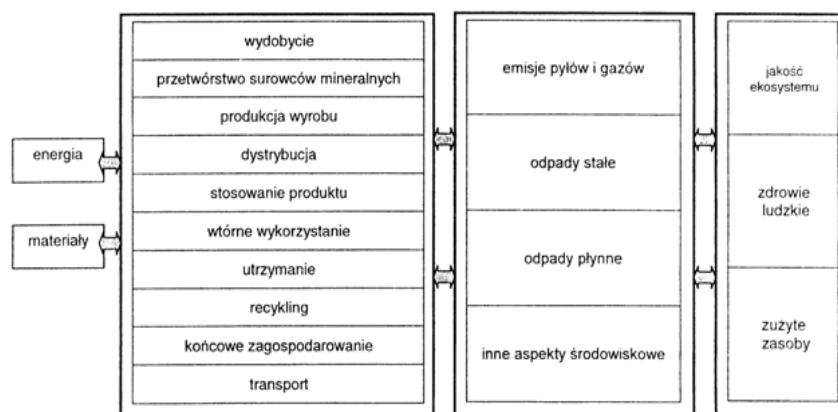
- I faza – wprowadzenie – powolny wzrost sprzedaży,
- II faza – wzrost – okres szybkiej akceptacji produktu przez rynek,
- III faza – dojrzałość – spowolnienie wzrostu sprzedaży i względna stabilizacja poziomu sprzedaży produktu,
- IV faza – spadek (schyłek, wycofanie) – znaczny spadek sprzedaży (a także zysków).

Oczywistym jest, że przedsiębiorcy dbają za pomocą różnych środków działania o to, aby obecność na rynku produktu przynoszącego zysk trwała jak najdłużej. Zależy to od wielu czynników. W związku z powyższym cykl życia produktu powinien być poddany analizie, a jej wyniki stanowią podstawę zarządzania produktem oraz marką.

Nieustannie wprowadzane innowacje powodują, że skraca się cykl życia produktu, a w konsekwencji jego poszczególne fazy. Dla niektórych kategorii produktów cykl ich życia jest coraz krótszy, szczególnie w branży elektronicznej i przetwarzania informacji.

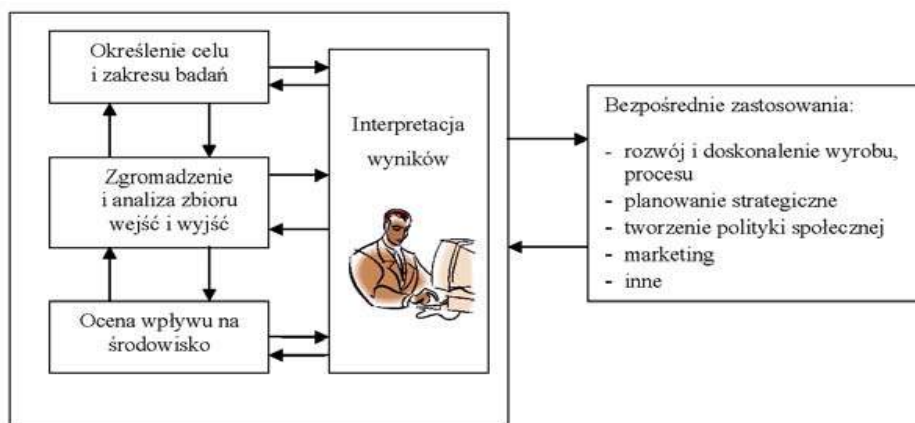
Wsparcie programowe technikami informacyjnymi takiego podejścia dotyczy różnych dostępnych już systemów, typu: **LCA, LCM, LCC oraz PLC**, które sygnalnie przedstawiono poniżej.

Ekologiczna Ocena Cyklu Życia (LCA – Life Cycle Assessment) jest techniką, która ma na celu ocenę zagrożeń środowiskowych związanych z wyrobem w całym okresie jego życia „od kołyski do grobu”. LCA umożliwia ocenę aspektów i wpływów środowiskowych (rys. 5.8) wynikających ze wszystkich etapów życia wyrobu, obejmujących: wydobycie i przetwarzanie surowców mineralnych, wytwarzanie (proces produkcji), dystrybucję, transport, użytkowanie, powtórne użycie, recykling, ostateczne unieszkodliwianie odpadów.



Rys. 5.8. Opis definicja Ekologicznej Oceny Cyklu Życia

LCA dotyczy złożonych interakcji pomiędzy wyrobem (usługą) a środowiskiem. Dotyczy pełnego cyklu życia wyrobu od pozyskania surowców, poprzez produkcję, transport, użytkowanie wyrobu, aż do jego utylizacji. LCA jest procesem oceny efektów, jaki dany wyrób wywiera na środowisko podczas całego życia poprzez wzrost efektywnego zużycia zasobów i zmniejszenie obciążeń środowiska. Ocena wpływu na środowisko może być prowadzona zarówno dla wyrobu, jak i dla jego funkcji. LCA jest traktowana jako „analiza od kołyski do grobu”. Podstawowymi elementami LCA są: (1) zidentyfikowanie i ocena ilościowa obciążeń wprowadzanych do środowiska, tj. zużytych materiałów i energii, oraz emisji i odpadów wprowadzanych do środowiska, (2) ocena potencjalnych wpływów tych obciążeń oraz (3) oszacowanie dostępnych opcji dla zmniejszenia tych obciążeń wprowadzanych do środowiska”. Norma ISO 14040:2000 przedstawia cztery fazy LCA (rys. 5.9).



Rys. 5.9. Fazy LCA na podstawie ISO 14040:2000

LCM – Life Cycle Management czyli Zarządzanie Cyklem Życia

Jest to nowa koncepcja zarządzania, której celem jest koncentracja na aspektach środowiskowych, ekonomicznych, technologicznych i społecznych, na wszystkich właściwościach produktu w całym jego cyklu życia. Najbardziej trafna wydaje się być definicja: „LCM jest koncepcją innowacyjnego zarządzania mającą na celu kształtowanie zrównoważonych produktów, poprzez wspomaganie przyjmowania strategicznych decyzji i rozwoju produktów”. W odróżnieniu od LCA cele koncepcji LCM rozszerzone są na wszystkie obszary funkcjonowania organizacji, a zarządzanie zorientowane jest nie tylko na środowisko, ale również na aspekty ekonomiczne, jakościowe i społeczne.

LCC – Life Cycle Cost Analysis - Metoda szacowania kosztu cyklu życia

Metoda szacowania kosztu cyklu życia wiąże ze sobą ekonomiczne i techniczne aspekty ocenianego obiektu w całym jego cyklu życia. Według PN-EN 60300-3-3 LCC to „łączny koszt ponoszony w cyklu wyrobu”. Koszty te dzieli się na:

- koszty badań i rozwoju – to koszty planowania produktu i wiążą się z prowadzeniem prac badawczych, dokumentacji projektowej, oprogramowania i oceny produktu,
- koszty konstruowania i produkcji – związane są z opracowaniem jak najkorzystniejszego wariantu wyrobu i obejmują m.in.: koszty zarządzania projektowaniem, analizę technologii, analizę operacji produkcyjnych, prac konstrukcyjnych, wytwarzania i kontroli jakości,

- koszty wsparcia procesu produkcji i eksploatacji produktu – to koszty dystrybucji marketingu, sprzedaży, zarządzania sprzedażą,
- koszty wycofania produktu z rynku – są związane z ograniczeniem wpływu produktu na środowisko naturalne np.: utylizację czy demontaż.

Analiza **cyklu życia**, wspomaga proces uzyskania odpowiedzi na podstawowe dla przedsiębiorstwa pytanie, kiedy zmodyfikować istniejący albo wprowadzić na rynek nowy produkt. Ciągłe dążenie do wzrostu konkurencyjności oraz coraz szybsze wprowadzanie nowych produktów na rynek w celu zwiększenia przewagi konkurencyjnej i osiąganych przez przedsiębiorstwo zysków sprawia, że niekiedy (w niektórych kategoriach produktów coraz częściej) jakaś faza cyklu zostaje pominięta. Producenci obserwują i analizują działalność konkurencji, dążąc przy tym do osiągnięcia sukcesu co związane jest z wprowadzaniem nowych produktów, a także doskonaleniem już istniejących.

Długość życia produktu zależy od wielu czynników. Uważa się, że obecnie najważniejszymi są moda i stan zaawansowania technologicznego. Najkrócej żyją produkty, na które celowo wykreowano krótkotrwałą modę lub moda taka wytworzyła się samoistnie. Są to tzw. produkty jednosezonowe. Cieszą się one bardzo dużą popularnością w momencie pojawienia się na rynku. Przy takich produktach ważne jest, aby bardzo dobrze oszacować zapotrzebowanie rynku kontrolując szybki wzrost wolumenu i wartości sprzedaży oraz śledząc ich bardzo szybki spadek.

Metoda PLC (*Product Life Cycle*) – czyli cykl życia produktu jest szeroko stosowaną techniką analizy kolejnych stadiów rynkowego rozwoju wyrobu [3, 30]. Podstawowe założenia tej metody [3, 30, 37]:

- każdy produkt ma ograniczoną żywotność,
- poziom sprzedaży danego produktu przechodzi przez różne fazy,
- w różny sposób kształtuje się zysk z danego produktu,
- przedsiębiorstwo powinno dostosowywać różne strategie dla poszczególnych etapów cyklu życia produktu.

Istnieje więc konieczność monitorowania przez przedsiębiorstwa nowych rozwiązań technicznych i technologicznych w obszarze swojego działania, prowadzenia prac nad nowymi produktami, inwestowania w nowe technologie oraz wprowadzania nowych produktów na rynek. Oczywiście zakres tego typu działań zależy od specyfiki przedsiębiorstwa, charakteru jego działalności, wielkości, złożoności struktury organizacyjnej, itp. Stąd nakłady środków kierowanych w organizacjach na różne fazy cyklu życia produktu zależy także od ich specyfiki, fazy rozwoju, pozycji rynkowej, itd.

Metody i techniki stosowane w zarządzaniu wykorzystujące teorię cyklu życia produktu oparte są między innymi na następujących przesłankach:

- produkt podlega procesom starzenia się, które następuje w wyniku naturalnych procesów rynkowych, postępu technologicznego lub działań konkurencji,
- wzrost efektywności ekonomicznej przedsiębiorstwa (zwiększanie zysku) związane jest z całkowitym wykorzystaniem zasobów,
- utrzymanie się na rynku przedsiębiorstwa oraz jego rozwój możliwy jest dzięki ciągłej modernizacji produktu oraz wprowadzania na rynek nowych rozwiązań i innowacyjnych produktów.

Jednym z wyróżników faz cyklu życia produktu są istotne zmiany wartości i (lub) wolumenu sprzedaży. Dla każdego produktu można wyznaczyć krzywą, która przedstawia zależność przychodów i zysku ze sprzedaży analizowanego produktu. Analiza przebiegu tak wyznaczonej krzywej pozwala zidentyfikować poszczególne fazy i osza-

cować długość przedziałów czasu przypisanych do poszczególnych faz. Należy zwrócić uwagę na najczęściej nieostre granice pomiędzy poszczególnymi fazami i trudności w ustalaniu jednoznacznych kryteriów wyznaczających początki i końce analizowanych przedziałów czasu. Istnieją produkty, dla których niektóre z wyróżnionych faz nie występują.

Odnosząc się do długości trwania cyklu życia produktu, można zauważyć, iż wraz z rozwojem cywilizacyjnym, społecznym, ekonomicznym, technicznym i technologicznym długość cyklu życia produktu skraca się. W różny sposób odnosi się to do kolejnych faz cyklu. Obecnie konsumenci są coraz bardziej nastawieni na innowacje, łatwiej i szybciej uczą się korzystać i obsługiwać zaawansowane technicznie produkty oraz łatwiej akceptują wdrażane nowe technologie. Często też zastosowane w produktach rozwiązania zwalniają konsumenta z konieczności uczenia się obsługiwanie urządzeń tzw. powszechnego użytku. Stosowane rozwiązania są „przyjazne” dla użytkownika, a czas trwania poszczególnych faz życia produktu jest różny.

Czynnikami wpływającymi na długość kolejnych faz, a w konsekwencji całego cyklu życia oraz kształt krzywej wolumenu sprzedaży i uzyskiwanych zysków są m.in. [3, 30, 37]:

- rodzaj i możliwość zróżnicowania produktu,
- zmiany wiążące się z modą, gustem i wyborem nabywców,
- postęp technologiczny,
- rodzaje rynków i segmentów (pojawianie się nowych, znikanie starych),
- relacja kosztów produkcji i sprzedaży.

Pojęcie cyklu życia produktu i związane z nim techniki i metodologia są wykorzystywane w działach marketingu, między innymi do wyjaśnienia dynamiki sprzedaży produktu i zachowania rynku. Stanowi ono narzędzie planowania, kontroli i prognozowania. Jako narzędzie planowania pozwala określić wyzwania marketingowe oraz sformułować zasadnicze strategie marketingowe. Kontrola umożliwia zmierzenie efektów rozwoju produktu na podstawie porównania z podobnymi w przeszłości. Prognozowanie jest możliwe pomimo zmiennych kształtów krzywych na podstawie tendencji krzywych na poszczególnych etapach [30].

Metoda PLC ma wielu krytyków. Zastrzeżenia i krytyczna ocena tej metody najczęściej dotyczą następujących obszarów [30, 36, 37]:

- nie można jednoznacznie wyznaczyć, w którym miejscu na krzywej znajduje się obecnie dany produkt. Nie wiadomo kiedy pojawi się następna faza oraz jak długo będzie trwała. Nieznany jest maksymalny poziom sprzedaży. Długość trwania kolejnych faz nie jest jednakowa dla różnych produktów, co znacznie utrudnia prognozowanie z wykorzystaniem cyklu życia,
- rozwój produktu nie zawsze przebiega zgodnie z czteroetapowym cyklem, gdyż w niektórych sektorach rynku produkt z wprowadzenia przechodzi od razu do schyłku, albo powraca po okresie spadku do wcześniejszej z faz cyklu,
- wytwórcy mają wpływ na kształt krzywej cyklu życia produktu.
- istota konkurencji rynkowej i podejmowane działania zmierzające do uzyskania przewagi konkurencyjnej na każdym etapie fazy PLC jest inna w zależności od rodzaju produktu i sektorów rynku.

Koncepcja cyklu życia produktu nie bierze pod uwagę wpływu czynników otoczenia (takich jak np.: poziom inflacji, uzyskiwane dochody przez konsumentów, stopa bezrobocia, migrację pracowników i konsumentów) na ewolucję rynków czy produktów. Niektórzy autorzy twierdzą, że przebieg cyklu życia jest raczej konsekwencją,

a nie przyczyną decyzji strategicznych podejmowanych przez decydentów organizacji, a tym samym rezultatem przyjętych strategii marketingowych, a nie nieuniknioną tendencją rozwoju poziomu sprzedaży [3, 30].

Stosowanie komputerowego wspomaganie realizowanych procesów w przedsiębiorstwach, przy istniejącej konkurencji rynkowej i ciągłym dążeniu do zwiększania efektywności działań podejmowanych w poszczególnych fazach cyklu istnienia produktu, staje się nieodzowne. Wykorzystanie narzędzi wspomaganie komputerowego ułatwia zarówno bieżącą działalność przedsiębiorstwa, jak i procesy zarządzania produktem w poszczególnych fazach jego istnienia. Zakres zastosowania narzędzi programistycznych i systemów informatycznych ciągle się zwiększa i dotyczy nie tylko złożonych organizacji, ale także średnich, małych i mikro przedsiębiorstw. Oczywiście staje się konieczność dostosowania stosowanych narzędzi do charakteru realizowanej działalności, specyfiki produktu i wytwórcy oraz skali jego działalności i stopnia złożoności struktury organizacyjnej przedsiębiorstwa.

Jednym z istotnych zagadnień, szczególnie dla firm produkcyjnych, jest możliwość szybkiego dostępu do informacji powstających w poszczególnych jednostkach organizacyjnych oraz dotyczących realizowanego aktualnie procesu produkcyjnego. Dostęp i analiza informacji o wydarzeniach zachodzących w poszczególnych fazach PLC (np. w fazie wprowadzania produktu na rynek wspomaga procesy ulepszenia i modyfikacji wprowadzanego produktu) jak i dotyczące ogólnego przebiegu cyklu życia danego produktu umożliwia podejmowanie racjonalnych decyzji i działań zmierzających do minimalizacji kosztów, czy poprawy wydajności procesów produkcyjnych.

Ze względu na różnorodność i zakres działań podejmowanych w kolejnych stadiach istnienia produktu narzędzia stosowane do wspomaganie analizy i zarządzania cyklem życia mogą obejmować tylko wybrane (przez podmiot stosujący metodę) fazy funkcjonowania produktu. Programy wykorzystywane do wspomaganie działań w kolejnych fazach cyklu życia produktu można podzielić na dwie zasadnicze grupy, tj. programy stosowane w poszczególnych, konkretnych fazach cyklu oraz wspomaganie całego cyklu.

Poniżej przedstawiono główne cechy i funkcje oraz zakres zastosowania wybranych pakietów programów do wspomaganie procesów dotyczących całego cyklu życia produktu. Działanie takich systemów skierowane jest przede wszystkim na problemy wynikające z realizowanego procesu produkcyjnego. Optymalizacja magazynów części zamiennych i materiałów eksploatacyjnych, zmniejszenie nakładu pracy związanego z obróbką dokumentów tradycyjnych, korzyści z tytułu lepszego planowania i analizy kosztów posiadanych zasobów, zarządzanie majątkiem trwałym, wydłużenie czasu życia maszyn i urządzeń, poprawa ciągłości produkcji, wzrost zdolności produkcyjnych i jakości, redukcja kosztów napraw i awarii, minimalizowanie nieplanowanych przesto-
jów, redukcja kosztów produkcji – wzrost zyskowności, poprawa jakości produktów finalnych, redukcja liczby wypadków i poprawa bezpieczeństwa.

Programy firm SAP

Pakiety oprogramowania SAP mogą być wykorzystywane zarówno w zarządzaniu finansami, zasobami ludzkimi (ang. human resources HR), jak i w zarządzaniu produkcją, procesami magazynowania i magazynami oraz procesami transportowymi. SAP w zarządzaniu cyklem produktu, inaczej SAP PLM składa się z następujących obszarów funkcjonalnych [36]:

- zarządzanie cyklem życia składników,
- zarządzanie danymi cyklu życia,

- zarządzanie programem i projektem,
- współpraca w ramach cyklu życia,
- zarządzanie jakością,
- ochrona środowiska i przepisy BHP.

System SAP ma różne możliwości ułatwiające kontrolę nad całym cyklem życia produktu. Dodatkowe funkcje pakietów SAP są zależne od potrzeb, specyfiki, wielkości, profilu działalności oraz stopnia złożoności struktury organizacyjnej przedsiębiorstwa (organizacji). Programem wspomagającym procesem produkcji dla małych i średnich firm jest SAP Produkcja PPS One. PPS One przedstawiany jest jako elastyczne rozwiązanie zwiększające przejrzystość i wydajność. Dzięki oszacowanym kosztom zleceń produkcyjnych i projektów, PPS One umożliwia dostęp do kluczowych danych wspomagających podejmowanie taktycznych i strategicznych decyzji.

Team.center firmy Siemens PLM Software

Jednym z narzędzi programistycznych wykorzystywanych w całym cyklu życia produktu jest rozwiązanie Team.center. Pakiet zawiera cyfrowe rozwiązania zarządzania zarówno poszczególnymi fazami, jak i całym cyklem życia produktu.

Oprogramowanie Team.center jest rozbudowanym pakietem zawierającym szereg wzajemnie powiązanych modułów. W modułach zaimplementowano szereg rozbudowanych narzędzi i metod wspomagających zarządzanie zarówno cyklem życia produktu, jak i praktycznie każdą formą działalności przedsiębiorstwa w odniesieniu do produktu.

Oprogramowanie Team.center charakteryzuje się możliwością dostosowania poszczególnych pakietów do potrzeb, specyfiki, wielkości, profilu działalności oraz stopnia złożoności struktury organizacyjnej przedsiębiorstwa (organizacji). Według producenta zastosowane w pakiecie rozwiązania wspomagają innowację i poprawiają wydajność, łącząc pracowników z produktem i wiedzą o procesach, której potrzebują, aby skutecznie funkcjonować w zorientowanym globalnie cyklem życia produktu [30]. Rozwiązania Team.center obejmują działania i procesy wykorzystujące standardy, które umożliwiają:

- wdrożenie rozwiązań związanych z zarządzaniem cyklem życia produktu (PLM),
- uzyskanie szybkiego zwrotu z inwestycji w PLM,
- minimalizację kosztów.

Oprogramowanie Team.center obejmuje takie obszary działania, jak:

- opracowanie i wprowadzenie nowych produktów,
- synchronizacja łańcucha wartości,
- zarządzanie danymi przedsiębiorstwa,
- standaryzacja i ponowne wykorzystanie,
- zarządzanie wiedzą/własnością intelektualną,
- zgodność z przepisami i normami,
- wydajność produkcyjna,
- inżynieria systemowa oraz mechatronika.

Obecnie oprogramowanie Team.center jest jedynym rozwiązaniem PLM na rynku, które zajmuje się cyklem życia produktu od etapu planowania portfela, poprzez rozwój produktu, produkcję, serwis i konserwację aż do fazy rezygnacji z produktu. Po wdrożeniu pełnych rozwiązań możliwe jest:

- stymulowanie wzrostu dochodów,

- skrócenie czasu i ograniczenie kosztów cyklu życia produktu,
- udoskonalenie zmian poprzez zrozumienie wpływu różnych elementów na cykl życia,
- szybsze wprowadzenie oferty na rynek poprzez zautomatyzowanie wspólnych procesów, które obejmują wiele etapów cyklu życia.

Korzyści z wdrożenia oprogramowania [33]:

- zarządzanie cyklem życia produktu od wstępnego planowania do likwidacji produktu,
- koordynacja procesów w wielu dziedzinach podczas całego cyklu życia produktu,
- dostęp pracowników do prawidłowych informacji w każdym etapie cyklu życia,
- zapewnienie bezpiecznego globalnego dostępu do wiedzy o produktach i procesach w dowolnym miejscu i w dowolnym czasie,
- integracja wybranych systemów oraz powiązanych danych w systemie PLM, umożliwiającą udział najlepszych dostawców w łańcuchu wartości firmy.

System ARETICS T7

System CMMS ARETICS jest produktem stworzonym przez polsko – szwedzką firmę świadczącą usługi w zakresie informatyzacji przedsiębiorstw. Wspomaga zarządzanie działami utrzymania ruchu umożliwiające przeprowadzenie szerokiego zakresu analiz ekonomicznych i technicznych pozwalające na systematyczny rozwój i ulepszenie metod pracy [12, 36]. Celem systemu utrzymania ruchu jest sprawne przeprowadzanie bieżących napraw oraz planowane działania prewencyjne ograniczające możliwości wystąpienia awarii. To, czy maszyny będą dostępne, a produkcja przebiegała zgodnie z planem, w dużym stopniu zależy również od funkcjonalności i jakości oprogramowania [12, 36].

System jest przystosowany do obsługi zarówno małych, średnich, jak i dużych przedsiębiorstw. Może być zainstalowany dla jednego użytkownika, a następnie stopniowo rozbudowywany, aż do dużego systemu z nieograniczoną liczbą użytkowników i obiektów.

Do najważniejszych cech systemu ARETICS T7 MAINTENANCE należą [21]:

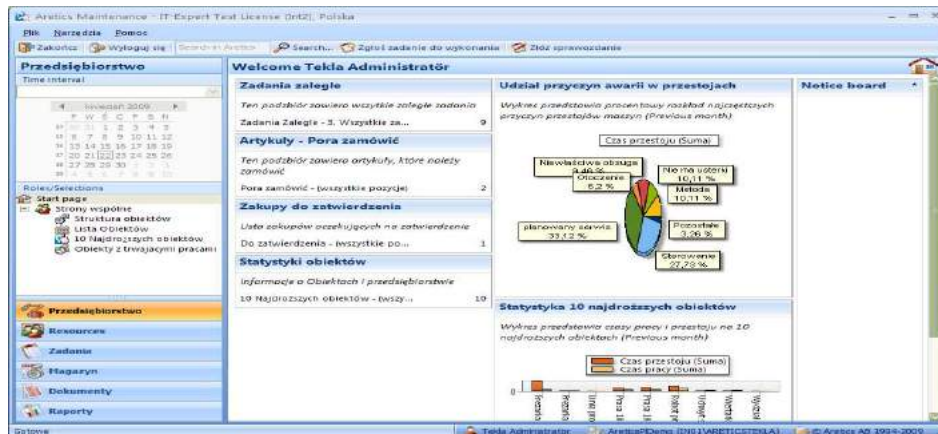
- szybkość i łatwość wdrożenia systemu w przedsiębiorstwie,
- szybki i intuicyjny dostęp do danych,
- elastyczność – dostosowanie do własnych potrzeb bez konieczności programowania,
- gromadzenie informacji o awariach i naprawach urządzeń w przedsiębiorstwie,
- rozbudowany system prac okresowych (daty, liczniki maszyn, zdarzenia),
- obsługa magazynu artykułów i części zamiennych ze śledzeniem sald minimalnych i rezerwacją artykułów,
- moduł zakupowy (zamówienia, zakupy, dostawy).

System utrzymania ruchu ARETICS T7 nie jest pojedynczą aplikacją, składa się z wielu narzędzi przydatnych na co dzień pracownikom działu utrzymania ruchu w zakładzie produkcyjnym. Każda aplikacja wchodzących w skład pakietu ARETICS T7 dedykowana jest innemu typowi użytkownika.

ARETICS T7 Master

Jest to główna aplikacja systemu, służąca do zarządzania całym działem utrzymania ruchu. Za pomocą tej aplikacji zaplanuje się harmonogram prac, wykona potrzebne raporty, analizy i wykresy, a także czynności związane z magazynem części zamienianych. Dzięki tej aplikacji uzyskuje się szybki dostęp do historii zadań na dowolnej ma-

szynie czy linii produkcyjnej w zakładzie. ARETICS T7 Master ma także wiele innych funkcji, takich jak: zarządzanie personelem, rejestr firm współpracujących (dostawców, serwisów, producentów), zarządzanie zakupami związanymi z magazynem części zamiennych na potrzeby utrzymania ruchu i wiele innych (rys. 5.10).



Rys. 5.10. ARETICS T7 Master [35]

ARETICS T7 Injector

Jest to prosta aplikacja umożliwiająca szybką i sprawną komunikację z programem dla operatorów maszyn oraz pracowników działu UR. Dzięki niej można zgłosić awarię lub złożyć raport z wykonanej naprawy czy przeglądu. Dzięki prostemu i przejrzystemu interfejsowi, który udostępnia tylko konkretne funkcje poszczególnym użytkownikom, pracownicy nie są zagubieni i nie unikają pracy z systemem, dzięki czemu dane gromadzone przez system są rzetelne i dokładne. Interfejs tej aplikacji przystosowany jest dodatkowo do ekranów dotykowych, co jeszcze bardziej usprawnia pracę w warunkach hali produkcyjnej [12, 36] (rys. 5.11).



Rys. 5.11. ARETICS T7 Injector [36]

ARETICS T7 WEB Injector

Aplikacja ta udostępnia tę samą funkcjonalność co standardowy ARETICS T7 Injektor, ale interfejs dostępny jest poprzez zwykłą przeglądarkę internetową (Internet Explorer lub Mozilla Firefox). Jest to idealne rozwiązanie, gdy z różnych względów niemożliwa jest instalacja oprogramowania na komputerach znajdujących się na hali. ARETICS T7 WEB Injector jest także wygodnym narzędziem do rozliczania pracy z serwisami zewnętrznymi. Dając pracownikom firmy zewnętrznej możliwość raportowania czasu pracy i zużycia części zamiennych, likwiduje się niepotrzebne przepisywanie do systemu danych z raportów papierowych.

ARETICS T7 Server

Aplikacja ta służy do zarządzania serwerem systemu ARETICS T7. Umożliwia ona zarządzanie bazami danych wykorzystywanymi w systemie. Dzięki tej aplikacji określa się także harmonogram wykonywania kopii zapasowych poszczególnych baz danych oraz miejsce ich przechowywania. Dla większego bezpieczeństwa mechanizm kopii zapasowych umożliwia jednoczesny automatyczny zapis kopii w dwóch odrębnych miejscach, z możliwością bezpośredniego zapisu na sieciowym serwerze plików.

ARETICS T7 Mobile

Aplikacja systemu ARETICS T7 jest przeznaczona na urządzenia PDA. Każdy palmtop lub telefon komórkowy działający na platformie Windows Mobile 5 lub 6 może stać się końcówką systemu ARETICS T7. Czynności wykonywane przez pracownika działu UR mogą być na bieżąco raportowane w palmtopie, a po powrocie z naprawy lub obchodu zsynchronizowane z serwerem systemu ARETICS T7 (rys. 5.12).



Rys. 5.12. ARETICS T7 Mobile [36]

System SUR FBD

SUR-FBD jest systemem stworzonym przez warszawską firmę FBD. System SUR-FBD. Został on zaprojektowany i zbudowany na potrzeby pracowników działów technicznych w polskich przedsiębiorstwach produkcyjnych. Rozwój systemu SUR-FBD oparty jest na podstawowej zasadzie, że nikt inny tylko pracownicy konkretnego przedsiębiorstwa są kluczem do sukcesu wdrożenia. Wdrożenie i wykorzystanie systemu SUR-FBD daje możliwość znacznej redukcji liczby występujących awarii, usprawnienie procesu planowania i zarządzania pracami prewencyjnymi, racjonalizację gospodarki magazynowej. System SUR-FBD to również rozbudowane raportowanie, dzięki któremu w szybki i łatwy sposób można identyfikować słabe punkty w organizacji, wyszukiwać obiekty generujące najwyższe koszty utrzymania, jak również wyznaczać wskaźniki TPM [36].



Rys. 5.13. Formularz Główny systemu SUR FB

W systemie tym dostępne są następujące moduły:

Moduł zlecenia bieżące pomaga zarządzać bieżącymi zleceniami pracy, prewencyjnym utrzymaniem ruchu, posiadanymi zasobami, zamówieniami oraz wieloma innymi procesami w sposób łatwy i intuicyjny.

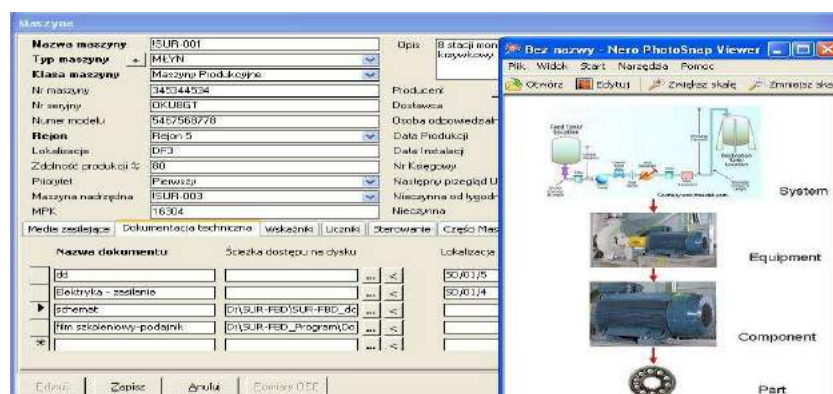
Moduł obiekt umożliwia planowanie oraz wykonanie czynności naprawczych o charakterze planowo-zapobiegawczym. System nadzoruje terminy i zakresy napraw planowanych na podstawie upływu czasu rzeczywistego lub na podstawie ilości wykonywanej pracy, np. liczby przejechanych kilometrów.

Moduł raporty identyfikuje wszystkie źródła kosztów utrzymania ruchu w odniesieniu do skatalogowanych elementów: maszyn, części, czasu pracy, straty czasu produkcyjnego i wielu innych.

Moduł części umożliwia szybkie wprowadzanie danych, jak i ich „wyciąganie”.

Moduł pracownicy tworzy listę użytkowników o zróżnicowanym poziomie dostępu (indywidualna lista użytkowników).

System SUR-FBD daje możliwość szczegółowego opisu każdego **zlecenia pracy**, **obiektu** poprzez połączenie z nim dowolnych dokumentów elektronicznych – instrukcje, zdjęcia, filmy (rys. 5.14).



Rys. 5.14. Opis zlecenia pracy

Moduł kalendarz służy do definiowania czasu pracy urządzenia oraz pracowników. Istnieje możliwość dowolnego definiowania okresów prac (daty/czasu rozpoczęcia i zakończenia z uwzględnieniem przesunięć, wakacji/urlopów oraz świąt przypadających na określone dni robocze). Opracowanie kalendarza (tworzenie harmonogramów) dla poszczególnych pracowników i urządzeń oraz sprzętu umożliwia właściwe zaplanowanie robót z uwzględnieniem dostępności personelu oraz możliwości przestoju urządzeń, co w znacznym stopniu obniża koszty funkcjonowania UZM.

System Infor EAM

System Infor EAM (D7i) jest systemem klasy CMMS/EAM (*Computerized Maintenance Management Systems/Enterprise Asset Management System*). System jest zaawansowanym narzędziem do śledzenia kosztów utrzymania środka trwałego (obiektu technicznego) w zależności od pełnionej przez niego funkcji. Jako efektywne narzędzie informatyczne umożliwia osiąganie coraz wyższych wydajności i sprawności urządzeń na polu ekonomicznego zarządzania majątkiem trwałym przedsiębiorstwa. Infor EAM (D7i) wspomaga zarządzanie utrzymaniem ruchu, gospodarką naprawczą, gospodarką materiałową, gospodarką zaopatrzeniową oraz kontrolingiem – nadzorując realizację wszelkich wykonywanych prac związanych z eksploatacją obiektów technicznych.

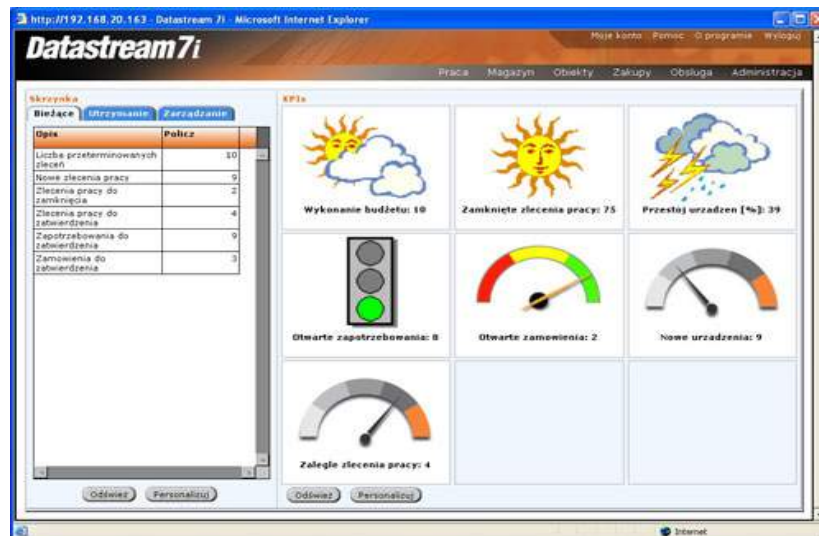
System zawiera wszystkie potrzebne funkcje do maksymalizowania efektywności zarządzania majątkiem i zasobami służb technicznych oraz minimalizowania kosztów administracyjnych. Główne obszary funkcjonalne systemu to [36]:

- ewidencja techniczna majątku: maszyny, urządzenia oraz wyposażenie,
- historia eksploatacji urządzeń (wykonane prace, awarie, zmiany lokalizacji),
- gospodarka magazynowa – magazyny materiałów i części zamiennych,
- gospodarka zaopatrzeniowa – w powiązaniu z planowanymi pracami,
- harmonogram pracy personelu technicznego,
- ewidencja narzędzi i gospodarka narzędziowa,
- kontroling i budżetowanie,
- analizy i raportowanie techniczne i finansowe.

Infor EAM (D7i) umożliwia pełną analizę awaryjności, przyczyn awarii, sprawności maszyn i urządzeń, wydajności pracy ciągów technologicznych, opłacalności eksploatacji i ponoszonych nakładów oraz optymalnej konfiguracji i wykorzystania posiadanego majątku.

Moduł Majątek Techniczny przechowuje identyfikatory, dane techniczne, konfigurację i hierarchię urządzeń, a także dokumentację techniczną (rys. 5.15).

Moduł Przeglądy automatyzuje planowanie, realizację i nadzór nad pracami cyklicznymi typu przeglądy, inspekcje i inne prace okresowe. Pozwala na określenie zasad wykonywania przeglądów, tras pomiarowych, specyficznych dla każdego urządzenia punktów pomiarowych i mierzonych parametrów oraz analizę wyników.



Rys. 5.15. Moduł Majątek Techniczny

Moduł Budżet pozwala na zautomatyzowanie procesu planowania budżetu, a następnie na gromadzenie, monitorowanie, nadzór oraz analizę danych o wydatkach związanych z utrzymaniem majątku trwałego. Możliwe jest definiowanie pozycji budżetowych dla stanowisk i rodzajów kosztów, centrów kosztowych i kont zgodnie z zasadami rozliczania kosztów przyjętymi w danym przedsiębiorstwie i celami jego działania. Zautomatyzowane zbieranie informacji o kosztach wraz z elastycznymi narzędziami do ich scalania i raportowania pozwala na wielopłaszczyznowe, przekrojowe analizy kosztów.

Moduł Przedsięwzięcia używany jest do planowania, harmonogramowania, monitorowania i nadzoru realizacji większego zestawu powiązanych ze sobą zleceń. Automatyzuje on administrowanie kompletnym procesem realizacji przedsięwzięcia, począwszy od przygotowania wstępnego budżetu i zaplanowania czasu realizacji, aż do zakończenia ostatniego zlecenia pracy. Ułatwia on porównywanie aktualnego stanu realizacji przedsięwzięcia i poziomu wykorzystania zasobów z planem.

Moduł Zakupy jest ściśle zintegrowany z modulem Pracy dzięki czemu możliwe jest precyzyjne planowanie wszelakich zasobów do wykonania prac zarówno pracowników, jak i niezbędnych materiałów i części zamiennych.

Moduł Planowania wspomaga procesy opracowywania planów: umożliwia analizy różnych wariantów planowania, obsługę zgłoszeń propozycji zmian w planach oraz rejestrację wszelkich modyfikacji w opracowywanych planach. Tworzone w systemie plany, podobnie jak inne kluczowe dokumenty systemowe, wymagają zatwierdzenia, przed ich realizacją.

Moduł Usług Komeracyjnych pozwala na zarządzanie kartoteką umów serwisowych zawartych z przedsiębiorstwami zewnętrznymi. W systemie ewidencjonowane są informacje na temat ustalonych warunków płatności oraz stawek i narzutów za robocizną, materiały, narzędzia oraz usługi zewnętrzne. Moduł dokonuje podsumowania poniesionych kosztów oraz pozwala na łatwą analizę rentowności świadczonych usług – na podstawie porównania poniesionych kosztów i kwot wystawionych faktur.

Moduł Praca jest używany do zarządzania, planowania i monitorowania prac oraz zasobów niezbędnych do ich wykonania. W ramach każdego zlecenia definiowane mogą być poszczególne czynności, osoby wykonujące, planowane zasoby materiałowe, planowany czas rozpoczęcia i zakończenia pracy oraz szereg innych informacji.

Moduł Kalibracji obejmuje możliwość przetwarzania wprowadzanych wyników pomiarów według definiowalnych formuł matematycznych. Dzięki temu ostateczny wynik pomiarów może być determinowany przez system, który automatycznie dokonuje wymaganych obliczeń. Względne wartości dopuszczalnych błędów wskazań obliczane mogą być na podstawie dokonanych pomiarów oraz innych danych liczbowych – z wykorzystaniem definiowalnych formuł matematycznych.

Moduł Analityka wykorzystujący zaawansowane możliwości hurtowni danych. Pozwala na gromadzenie ogromnego zakresu danych historycznych i ich zaawansowane przetwarzanie. Dzięki temu kadra zarządcza otrzymuje potężne narzędzie pozwalające na jeszcze precyzyjniejszą i szczegółowszą analizę danych historycznych oraz prognozowanie na ich podstawie przyszłych trendów. System w standardzie ma wbudowane mechanizmy, takie jak: eksport danych do MS Excel oraz wskaźniki KPI.

Moduł Kody Kreskowe umożliwia wykorzystanie czytników kodu kreskowego w celu identyfikacji: urządzeń, części zamiennych, materiałów, pracowników i zleceń pracy. Moduł obsługuje proces inwentaryzacji magazynu technicznego. Za pomocą czytnika kodu kreskowego można również obsługiwać proste przeglądy techniczne lub awaryjne zlecenia pracy, a także wprowadzać dane dotyczące: czasu pracy, pracownika, zużytych materiałów, komentarzy i wiele innych.

Moduł Zgłoszenia umożliwia zgłaszanie zapotrzebowania zakupu oraz zleceń pracy poprzez uproszczony, intuicyjny interfejs użytkownika. Podstawową korzyścią z zastosowania tego modułu jest zdecydowanie niższa cena licencji użytkownika tego modułu niż w przypadku pełnej licencji użytkownika Infor EAM (D7i). Ponadto intuicyjna obsługa pozwala na użycie modułu, nawet przez osoby bez żadnej znajomości systemu Infor EAM (D7i).

System wykorzystania i eksploatacji środków trwałych w przedsiębiorstwie jest systemem stochastycznym, co przy hierarchii różnorodnych celów działania przy zmieniających się warunkach otoczenia, powoduje w praktyce wiele trudności w organizacji i zarządzaniu. Znajomość nowoczesnej organizacji przedsiębiorstwa i racjonalna eksploatacja posiadanych środków trwałych, wspomagane technikami informatycznymi, przyczynić się mogą do udoskonalenia funkcjonowania przedsiębiorstw.

...każdy ptak lubi słuchać swojego śpiewu...

6. NARZĘDZIA OCENY STANU MASZYN

Współczesne maszyny i urządzenia to złożone układy dynamiczne zarówno pod względem funkcjonalnym, jak i konstrukcyjnym oraz przestrzennym. Proces ich wytwarzania i eksploatacji pochłania ogromne ilości pracy, surowców i energii. Szybki wzrost wymagań w stosunku do technicznych parametrów maszyn i urządzeń, przy równoczesnym dążeniu do zmniejszenia kosztów wytwarzania i eksploatacji, spowodował zasadnicze przeobrażenia w metodach projektowania, kontroli produkcji i eksploatacji.

Liczne przypadkowe uszkodzenia, niespodziewane awarie oraz zagadnienia związane z uszkodzeniami spowodowanymi procesami żywymi i starzeniowymi uzasadniają potrzebę prowadzenia badań diagnostycznych, stanowiących podstawowe źródło informacji o zmieniającym się stanie.

Zagadnienia związane z teorią degradacji stanu, modelowaniem i drganiami w opisie zmian stanu wykorzystano jako podstawowe źródła opisu i badania procesów destrukcji maszyny w trakcie eksploatacji. Wskazane sposoby opisu stanu dynamicznego maszyn przekładają się na pomiar drgań (a następnie miary procesu drganiowego), które po przekroczeniu wartości granicznych świadczą o złym stanie obiektu wykorzystano w praktyce przemysłowej. Przedstawiono tu nowe produkty w zastosowanie w praktyce, nakierowane na eksperymenty, klasyfikację stanów, elementy doskonalące procedury badania stanu maszyn, wykorzystujące procesy drganiowe oraz metody statystyczne.

Różnorodność działań i związane z tym decyzje warunkują konieczność zarządzania uporządkowanymi zbiorami danych, czyli dysponowania odpowiednio pełnym zasobem informacji o obiektach i realizowanych z ich udziałem procesach eksploatacyjnych. Zarządzanie zbiorami danych obejmuje w tym przypadku działania pozwalające na ich pozyskiwanie, gromadzenie, przetwarzanie i udostępnianie danych, stanowiących podstawę oceny realizowanych procesów.

Wiadomości teoretyczne zestawiono z praktycznymi zagadnieniami związanymi z implementacją technik informatycznych w analizie stanu obiektów poprzez prezentację wybranych narzędzi i systemów do pomiaru i analizy drgań. W szczególności pozyskiwana i przetwarzana informacja jest w tym obszarze podstawą podejmowania (pod względem czasu i zakresu) decyzji eksploatacyjnych (rys. 6.1).



Rys. 6.1. System badania stanu obiektów złożonych

6.1. UWARUNKOWANIA BADAŃ DEGRADACJI STANU

Teoretycznie najlepszym sposobem do rozwiązywania problemów badań doświadczalnych jest właściwie zaprojektowana procedura eksperymentu. Planowanie to może mieć różny przebieg, zależnie od przedmiotu badań, celów, charakteru żądanych informacji, wreszcie od procedur i technik badawczych, jakie są dostępne w badaniach. Istnieją jednak pewne ogólne reguły postępowania w procesie planowania, ważne dla wszelkiego rodzaju problemów i procedur, przestrzeganie których wprowadza porządek do procesu planowania i chroni badacza przed zaniedbaniami niekorzystnymi dla rezultatów badań. Planowanie badań doświadczalnych obejmuje następujące etapy badań [2, 4, 19, 26, 30, 31, 37]:

1. Charakterystyka obiektu badań, opracowując ją należy:
 - ustalić stan wiedzy w zakresie tematu, a tym samym określić zagadnienia wymagające rozwiązania na drodze doświadczalnej,
 - określić zbiory wielkości charakteryzujących obiekt badań (wielkości wejściowe, wyjściowe, stałe i zakłócające),
 - określić relacje między wielkościami, które należy rozpoznać w wyniku badań doświadczalnych.
2. Cel badań doświadczalnych dobrze określony stanowi podstawę powodzenia i najczęściej dotyczy jednej z możliwości:
 - wyznaczenia funkcji (modelu) obiektu badań, gdzie celem jest ustalenie związków między wszystkimi wielkościami wejściowymi a wielkością wyjściową,
 - wyznaczenia stanu granicznego symptomów lub granic dla klasyfikacji zdatności i niezdatności badanych obiektów,
 - weryfikacja istotności wpływu wybranych wielkości wejściowych na wielkości wyjściowe na tle zakłóceń losowych.
3. Metoda badań doświadczalnych dotyczy:
 - wyboru właściwego planu doświadczenia,
 - określenia sposobu jego realizacji i liczby powtórzeń pomiarów,
 - określenia metod i środków pomiarowych (stanowisko badawcze).
4. Realizacja badań doświadczalnych na przygotowanym stanowisku badawczym zgodnie z zasadami punktu 3.
5. Analiza wyników i wnioskowanie prowadzone w zależności od realizowanego celu badania, dostępnymi metodami wnioskowania i narzędziami wizualizacji wyników.
6. Wnioski z badań formułuje się w postaci:
 - wniosków poznawczych,
 - wniosków użytkowych (praktycznych),
 - rozwojowych, określających kierunki dalszych badań.

W zastosowaniu do eksperymentów diagnostycznych najczęściej rozwiązywany jest problem określenia funkcji obiektu, poszukiwanie którego prowadzi się, wykorzystując modelowanie empiryczne lub analityczne. Konieczność opracowania wystarczająco adekwatnych modeli obiektu wynika z wielowymiarowości diagnozowanych obiektów, zmian zbioru wartości symptomów stanu pod wpływem różnorodnych czynników, w tym niemierzalnych zakłóceń (rys. 6.2).

Najbardziej rozpowszechniony jest model funkcjonalny (dekompozycja obiektu na bloki funkcjonalne z jednym wyjściem), który w wersji zmodernizowanej nazywa się

„modelem zużywania się obiektu”. Wartość uzyskanych wyników zależy od właściwego zaplanowania i przygotowania eksperymentu diagnostycznego, na który składają się:

- wytypowanie obiektów do badań,
- ustalenie rodzaju eksperymentu (czynny, bierny, bierno-czynny),
- ustalenie techniki prowadzenia eksperymentu (wybór zestawu aparatury, wybór punktów pomiarowych, sposób rejestracji wyników),
- określenie warunków realizacji pomiarów (rodzaj mierzonej wielkości, dokładność pomiaru, czas trwania realizacji, sposób przetwarzania),
- przyjęcie a priori wstępnego modelu obiektu badań (heurystyczny, dedukcyjny, analityczny, empiryczny),
- analiza statystyczna wyników określająca związki przyczynowo – skutkowe i błędy,
- ustalenie modelu diagnostycznego badanego obiektu (a posteriori),
- określenie zakresu działania modelu (wartości graniczne: techniczne i ekonomiczne),
- opracowanie procedury diagnostycznej dla zastosowań praktycznych,
- utworzenie „banku informacji” z uzyskanych danych pomiarowych.



Rys. 6.2. Linia diagnostyczna dla programu identyfikacji stanu obiektu

Realizator badań ma zawsze dwa wyjścia:

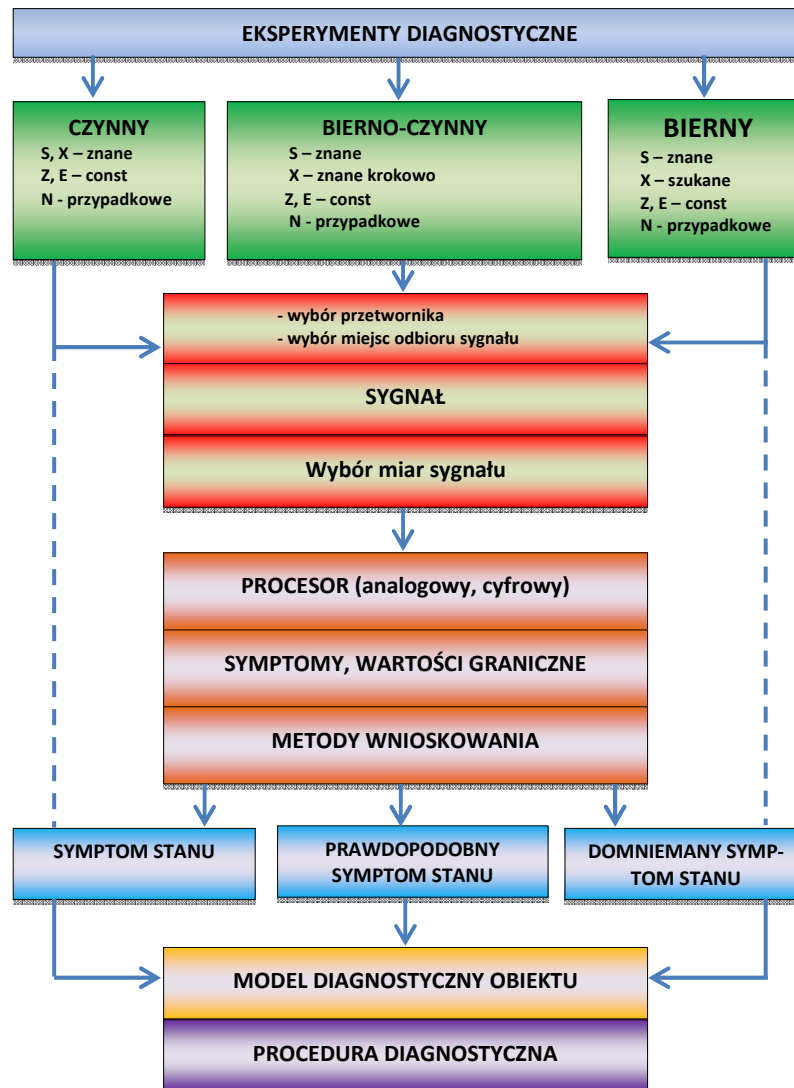
- opracować własny plan badań, co szczególnie dla większej liczby wielkości wejściowych jest bardzo ryzykowne, a czasem wręcz niemożliwe,
- wybrać z dostępnych doświadczeń literaturowych lub baz programów komputerowych jeden z typowych, gotowych programów teorii eksperymentu sporządzonych dla różnych postaci założonych funkcji obiektu badań.

Eksperymenty diagnostyczne warunkowane są możliwościami ich realizacji i mogą być prowadzone według jednego z trzech wariantów (rys. 6.3).

Eksperymenty winny umożliwiać ilościową ocenę i pogłębioną analizę procesów destrukcyjnych zachodzących w maszynach, głównie na etapie użytkowania oraz obsługi. Pogłębiona analiza wyników eksperymentu będąca podstawą podejmowanych decyzji eksploatacyjnych, winna zawierać odpowiedzi na pytania użytkowników:

- jak skutecznie rozpoznawać stan techniczny maszyny?
- jak długo i pod jakimi obciążeniami może funkcjonować maszyna do kolejnego obsługiwanie technicznego?

- jak zmienić obciążenie maszyny dla zachowania jej zdolności zadaniowej?
- jakie stosować najkorzystniejsze sposoby i środki odnowy maszyn?
- jak zabezpieczyć maszyny przed działaniem czynników zewnętrznych?



Rys. 6.3. Podział eksperymentów diagnostycznych (S – wektor symptomów, X – wektor cech stanu obiektu, Z – wektor zasileń, E – wektor sterowań, N – wektor zakłóceń [30])

Tylko kompleksowe stosowanie diagnostyki i efektywnych procedur diagnozowania stanu maszyn, wyodrębnionych w eksperymentach diagnostycznych dają gwarancję niezawodnego funkcjonowania maszyn w przyjętych strukturach eksploatacji.

6.2. PROCEDURY BADANIA STANU MASZYN

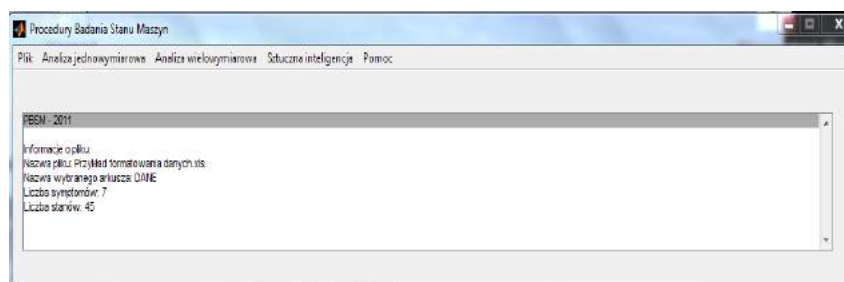
W nowoczesnych systemach technicznych, uwzględniając postęp technologiczny oraz szerokie możliwości dostępne dla akwizycji i przetwarzania sygnałów, możliwe jest uzyskanie dużej liczby informacji z sygnałów zarejestrowanych w różnych częściach maszyny. Informacje te muszą być przetwarzane i interpretowane przez personel w celu określenia stanu maszyny.

Rozpoznanie złożonego systemu opiera się na analizie wielowymiarowej, dla której istnieje możliwość oceny relacji pomiędzy zmiennymi, których wartości uległy zmianie w wyniku uszkodzenia. Wśród możliwych technik, które wykorzystują zależności między zmiennymi są metody selekcji informacji (Optimum, SVD) stosowane w celu wyeliminowania zmiennych, które nie dostarczają istotnych informacji na temat stanu badanej maszyny.

Do celów badań przemysłowych w obszarze oceny jakości maszyn opracowano aplikację inżynierską **Procedury Badania Stanu Maszyn**. Program ten stanowi aplikację do programu MATLAB. Uruchomienie programu następuje po wprowadzeniu do przestrzeni pracy (work space) programu MATLAB plików programu PSBM, co uruchomi główne okno programu. Struktura programu jest modułowa. Pierwszy moduł programu stanowi element definiowania danych do analizy o nazwie „**Plik**”. Po wyborze i zatwierdzeniu przyciskiem „Otwórz” pliku z danymi należy określić arkusz, w którym znajdują się dane do analizy.

Kolejnym etapem implementacji danych do programu jest wybór symptomów do analizy. Poprawnie zaimplementowany plik z danymi zostanie zatwierdzony przez program, a w głównym oknie programu zostaną podane podstawowe dane dotyczące (rys. 6.4):

- nazwy pliku,
- nazwy arkusza,
- liczby symptomów,
- liczby stanów.



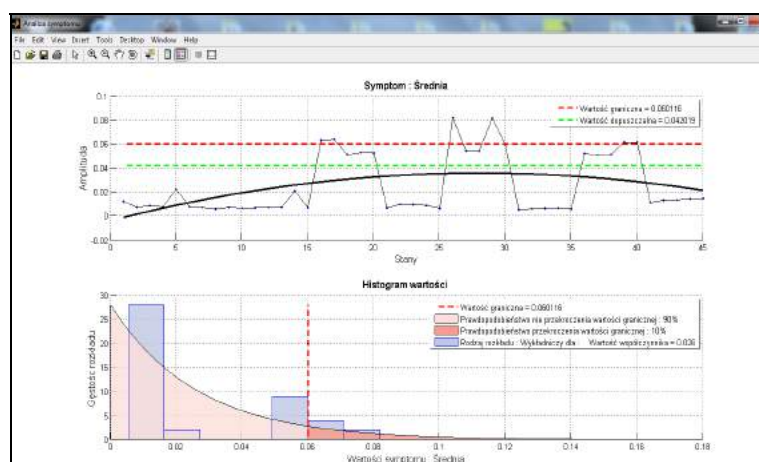
Rys. 6.4. Informacja o danych w głównym oknie programu

Kolejną funkcją modułu jest możliwość przeprowadzenia **konfiguracji parametrów** analizy poprzez podanie wartości:

- poziomu niepotrzebnych napraw,
- współczynnika gotowości,
- współczynnika wartości dopuszczalnych,
- poziomu intensywności,
- współczynnika korelacji.

Interpretacje matematyczne w zastosowaniach eksperymentu powyższych parametrów podano w podstawach teoretycznych znajdujących się w instrukcji pomocy programu.

Kolejny modułem programu PBSM jest „**Analiza jednowymiarowa**”, przeznaczona dla potrzeb analizy jednego wybranego symptomu. Górny graf (rys. 6.5) przedstawia wykres przebiegu wartości wybranego symptomu dla wszystkich stanów oraz prezentację wartości granicznej i dopuszczalnej. Linia koloru czarnego przedstawiono linie trendu wartości symptomu. Dolny graf rysunku przedstawia histogram wartości symptomu wraz z graficzną prezentacją wartości granicznej, prawdopodobieństwem nieprzekroczenia wartości granicznej, przekroczenia wartości granicznej, rodzaju rozkładu wraz z wartościami parametrów opisujących dany rozkład.



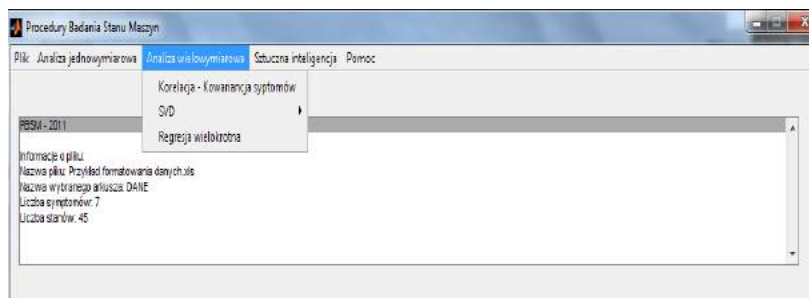
Rys. 6.5. Interpretacja graficzna analizy wybranego symptomu

Kolejną opcją modułu dotyczy przeprowadzenia procedury prognozowania wartości wybranego symptomu po uruchomieniu opcji „**Prognozowanie wartości symptomu**”.

Kolejnym modułem programu jest „**Analiza wielowymiarowa**”. Opcje modułu dotyczą analizy przy użyciu:

- funkcji korelacji i kowariancji dla oceny zależności symptomów,
- metody SVD,
- regresji wielokrotnej.

Powyższe opcje modułu przedstawiono w rysunku 6.6.



Rys. 6.6. Widok okna głównego z listą opcji modułu „Analiza wielowymiarowa”

Opcja „**Korelacja – Kowariancja symptomów**” pozwala na ocenę zależności między symptomami.

Metoda **SVD** w module „Analiza wielowymiarowa” umożliwia:

- ocenę rozwoju uszkodzeń w obiekcie,
- analizę uszkodzenia głównego,
- analizę wybranego uszkodzenia,
- prognozowanie rozwoju uszkodzenia.

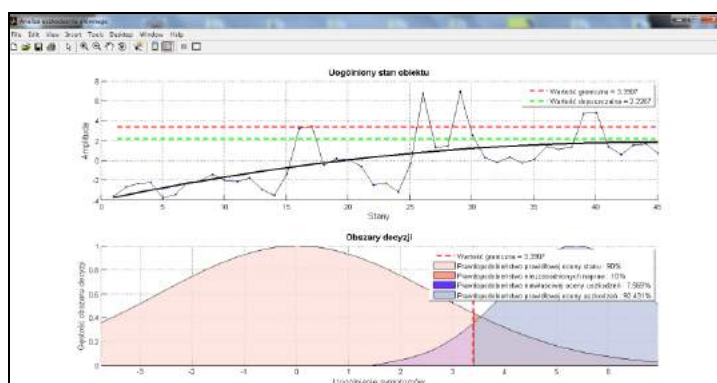
Wybór opcji „**Rozwój uszkodzeń**” uruchomi okno dialogowe, w którym zostanie zaprezentowana graficzna interpretacja uszkodzeń w obiekcie.

Wybór opcji „**Analiza uszkodzenia głównego**” uruchomi w programie procedury, których wynikiem są dwa okna dialogowe:

- analiza uszkodzenia głównego,
- analiza niezawodności.

Na rysunku 6.7 przedstawiono dwa grafy, pierwszy stanowi graficzną interpretację uogólnionego stanu obiektu z określoną wartością graniczną i dopuszczalną, która jest wyznaczana na podstawie konfiguracji „dobrych” parametrów. Drugi graf dotyczy analizy obszarów decyzyjności prezentując:

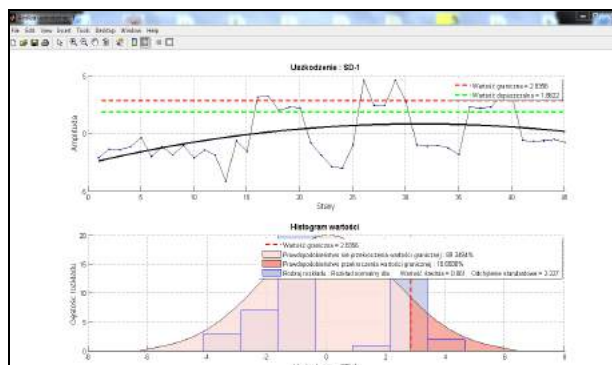
- wartość graniczną,
- prawdopodobieństwo prawidłowej (poprawnej) oceny stanu,
- prawdopodobieństwo nieuzasadnionych napraw,
- prawdopodobieństwo niewłaściwej oceny uszkodzenia,
- prawdopodobieństwo prawidłowej (poprawnej) oceny uszkodzeń.



Rys. 6.7. Interpretacja graficzna analizy uszkodzenia głównego

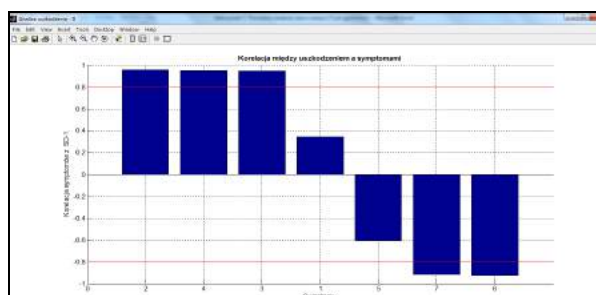
Wybór opcji „**Analiza uszkodzeń**” (rys. 6.8) pozwala na przeprowadzenie analizy wybranego uszkodzenia. Rezultatem powyższej analizy jest graficzna interpretacja uogólnionego stanu obiektu z określoną wartością graniczną i dopuszczalną, która jest wyznaczana na podstawie konfiguracji parametrów. Uogólniony stan obiektu przedstawiony jest przy użyciu wybranego uszkodzenia i w odniesieniu do stanów obiektu. Drugi graf prezentuje histogram wartości wybranego uszkodzenia wraz z prezentacją:

- wartości granicznej,
- prawdopodobieństwa nie przekroczenia wartości granicznej,
- przekroczenia wartości granicznej,
- rodzaju rozkładu wraz z wartościami parametrów opisujących dany rozkład.



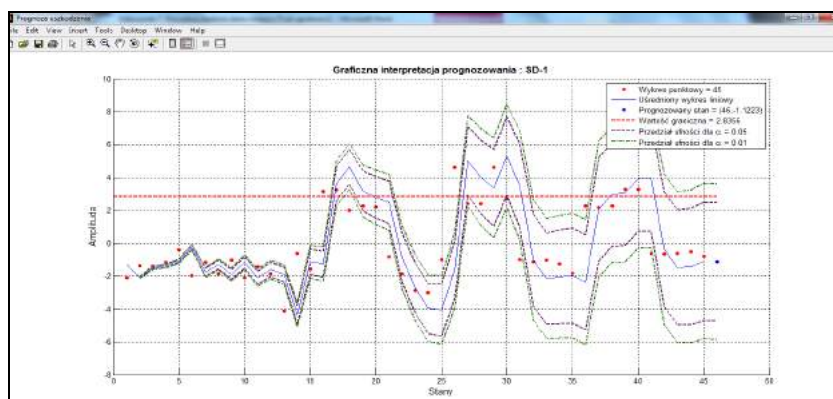
Rys. 6.8. Interpretacja graficzna analizy wybranego uszkodzenia

Kolejnym etapem analizy jest przeprowadzenie analizy korelacji symptomów z wybranym uszkodzeniem. Pozwala to na uszeregowanie symptomów ze względu na wartość współczynnika korelacji, co przedstawiono na rysunku 6.9.



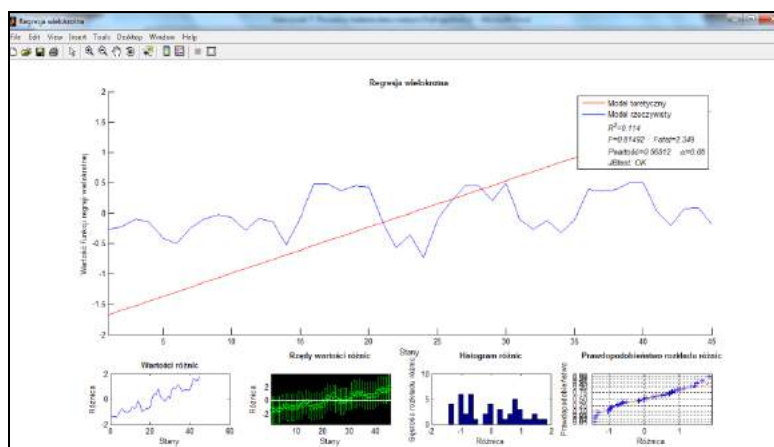
Rys. 6.9. Interpretacja korelacji symptomów z wybranym uszkodzeniem

Funkcje programu pozwalają także na przeprowadzenia procedury prognozowania (rys. 6.10). Graf prognozowania wartości wybranego symptomu uszkodzenia przedstawia wykres punktowy wartości wybranego symptomu uszkodzenia w kolorze czerwonym oraz w kolorze niebieskim w postaci punktu prognozowana wartość uszkodzenia. Ponadto w grafie przedstawiono wartość graniczną oraz przedziały ufności, których wartości można zmieniać w oknie konfiguracji parametrów.



Rys. 6.10. Interpretacja prognozowania wartości symptomu wybranego uszkodzenia

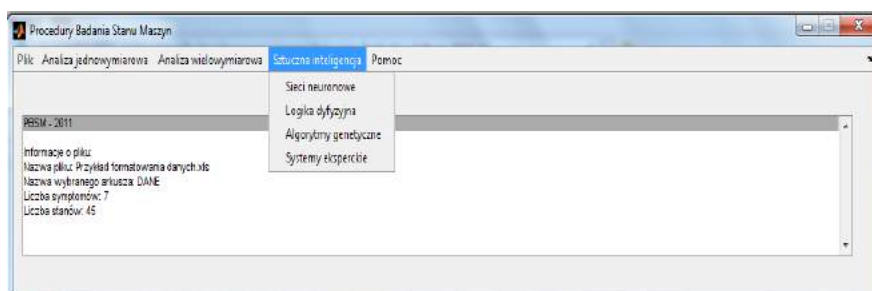
Uruchomienie procedury analizy **wnioskowania przyczynowo-skutkowego** rozpoczyna się od wyboru opcji „**Regresja wielokrotna**”. Dokonanie wyboru zmiennej zależnej oraz symptomów pozwala na graficzną interpretację regresji wielokrotnej przedstawionej na rysunku 6.11 oraz określenie wartości współczynników dla poszczególnych symptomów w modelu, wraz z wartością wyrazu wolnego - składowe równanie regresji.



Rys. 6.11. Interpretacja graficzna regresji wielokrotnej

Linia koloru czerwonego przedstawia wartości modelu teoretycznego, linia koloru niebieskiego wartości rzeczywiste, a w ramce: wartości współczynnika dopasowania oraz określenie poziomu błędów modelowania. Dolne grafy przedstawione na rysunku stanowią pomoc przy ocenie modelu regresyjnego poprzez przedstawienie graficznej interpretacji wartości różnic między modelem teoretycznym a rzeczywistym, rzędy wartości różnic, histogram różnic oraz rozkład prawdopodobieństwa.

Moduł „**Sztuczna inteligencja**” jest w trakcie realizacji przez zespół autorów programu. Proponowane opcje w powyższym module przedstawiono na rysunku 6.12.



Rys. 6.12. Widok okna głównego programu z listą opcji „Sztuczna inteligencja”

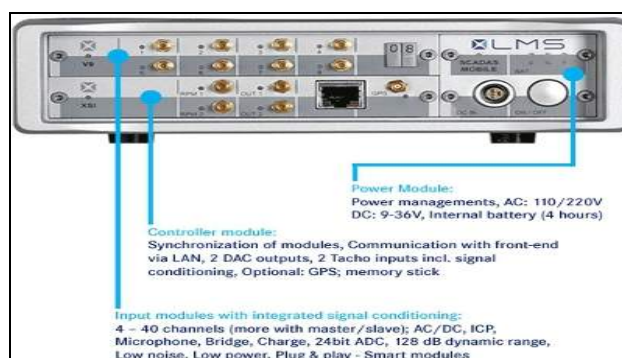
Program **PBSM** jest narzędziem do szybkiej identyfikacji uszkodzeń, poprzez implementację technik informacyjnych w analizie stanu obiektów technicznych.

Wykorzystanie własności programu znacząco wpływa na jakość diagnozowania i eksploatacji obiektów w aspekcie ich racjonalnego i efektywnego funkcjonowania.

W programie **PBSM** znajdują się również instrukcje obsługi, instrukcje instalacji programu oraz podstawy teoretyczne opracowanych procedur badawczych w programie.

6.3. PRODUKTY LMS

Do jednych z najbardziej zaawansowanych systemów pomiarowych stosowanych w badaniach diagnostycznych można zaliczyć system LMS CADAS. Recorder jako urządzenie łączące cechy analizatora i klasycznego rejestratora (rys. 6.13). Uniwersalność zastosowania tego systemu pomiarowego wyróżnia się tym, że w zależności od specyfiki przeprowadzanych badań diagnostycznych użytkownik sam konfiguruje urządzenie w niezbędny zestaw kart pomiarowych z odpowiednią ilością kanałów pomiarowych. W odróżnieniu od klasycznych rejestratorów LMS jest w pełni zautomatyzowany i nie potrzebuje sterowania poprzez komputer lub sterowania zdalnego do przeprowadzenia procesu rejestracji sygnałów pomiarowych.



Rys. 6.13. LMS CADAS Recorder

Urządzenie to jest całkowicie kompatybilne z profesjonalnym oprogramowaniem inżynierskim. Dopiero połączenie rekordera oraz oprogramowania do analizy danych w pełni pokazuje możliwości zastosowania tego systemu w praktyce inżynierskiej. Na

uwagę zasługuje oprogramowanie LMS Test.Lab, jako system oferujący wszystko, co jest potrzebne do prowadzenia pomiarów, akwizycji danych, ich analizy i opracowywania raportów. System zawiera procedury dedykowane do testów strukturalnych i akustycznych, testów środowiskowych i kontroli drgań oraz testów maszyn wirujących.

System LMS Test.Lab jest samodzielnym oprogramowaniem analizującym zawierającym procedury przeznaczone do testów strukturalnych i akustycznych, testów środowiskowych i kontroli drgań oraz testów maszyn wirujących. System ma możliwość analizowania złożonych obiektów do 50 stopni swobody (w zależności od rodzaju licencji).

System umożliwia ponadto przeprowadzenie operacji związanych z analizą modalną (zarówno eksperymentalną, jak i eksploatacyjną). Procedura postępowania dla obu funkcji jest bardzo podobna. Jediną różnicą są dane wejściowe oraz poszczególne etapy, ponieważ są one przypisane do konkretnej funkcji.

Na pierwszym etapie analizy modalnej należy dokonać możliwie jak najwięcej pomiarów na rzeczywistym obiekcie, aby w dalszej kolejności, korzystając z oprogramowania Test.Lab można było te informacje wprowadzić do systemu, korzystając z modułu „Navigator”.

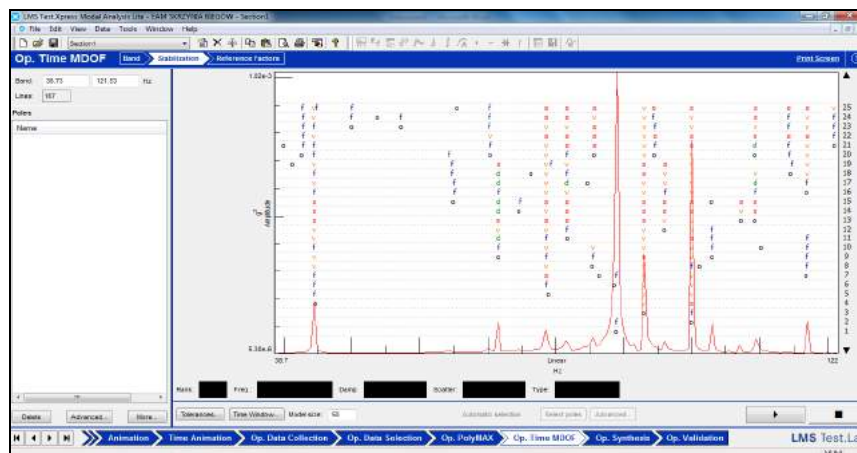
W „Navigatorze” wprowadza się dane w postaci funkcji pomiarowych takich jak: widmowe funkcje przejścia lub przebiegi czasowe w zależności od rodzaju analizy, jaką użytkownik ma zamiar przeprowadzić.

Kolejnym krokiem jest odpowiednie stworzenie modelu geometrycznego na etapie „Geometry”. Stworzenie modelu geometrycznego wiąże się z tym, że na dalszych etapach analizy każdy zrealizowany zabieg jest możliwy do zwizualizowania.

W następnej kolejności system tworzy odpowiednią macierz obserwacji w kroku „Op. Data Selection” albo „Modal Data Selection” w zależności od rodzaju analizy, jaką użytkownik ma zamiar przeprowadzić. Ze stworzonej macierzy obserwacji użytkownik jest w stanie utworzyć diagram stabilizacji dostępny w kroku „Time MDOF” lub „PolyMAX”, w zależności od rodzaju metody estymacji danych pomiarowych. W przypadku estymacji w dziedzinie czasu wykorzystuje się krok „Time MDOF”, natomiast w przypadku estymacji w dziedzinie częstości stosuje się metodę „PolyMAX”.

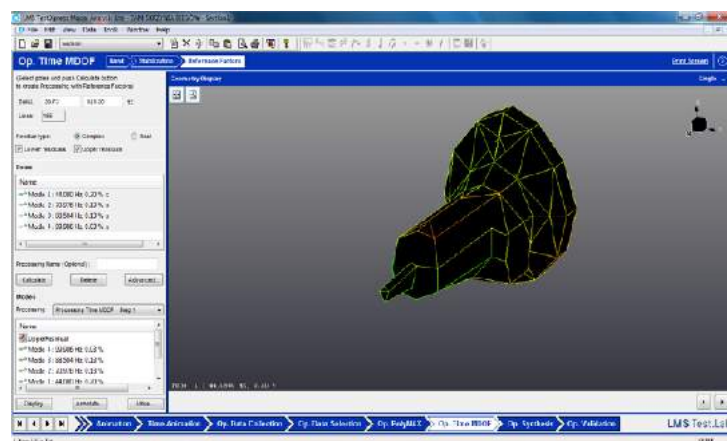
Ze stworzonej macierzy obserwacji użytkownik jest w stanie utworzyć diagram stabilizacji. Ów diagram jest dostępny w kroku „Time MDOF” lub „PolyMAX” w zależności od rodzaju metody estymacji danych pomiarowych. W przypadku estymacji w dziedzinie czasu wykorzystuje się krok „Time MDOF”, natomiast w przypadku estymacji w dziedzinie częstości stosuje się metodę „PolyMAX”.

Z diagramu stabilizacyjnego wybiera się kilka postaci drgań własnych, które po estymacji i odpowiedniej kalkulacji umożliwiają ich wizualizację na modelu geometrycznym. Okno modułu „Op. Time MDOF” przedstawiono na rysunku 6.14.



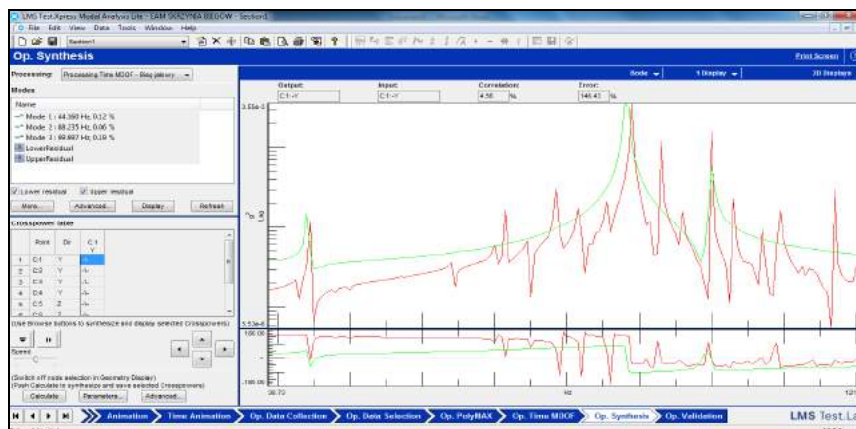
Rys. 6.14. Okno dialogowe modułu „Op. Time MDOF”

Z diagramu stabilizacyjnego wybiera się kilka postaci drgań własnych, które po estymacji i odpowiedniej kalkulacji umożliwiają ich wizualizację (rys. 6.15).



Rys. 6.15. Wizualizacja i animacja poszczególnych postaci drgań własnych

Następnym etapem po estymacji postaci drgań własnych jest proces określenia poprawności otrzymanych wyników estymacji. Realizuje się to w kroku „Op. Synthesis”, gdzie są dwa wskaźniki: korelacja oraz błąd estymacji (rys. 6.16).



Rys. 6.16. Wizualizacja i animacja poszczególnych postaci drgań własnych

Ostatnim etapem analizy otrzymanych danych jest walidacja. Proces ten jest realizowany metodą Auto-MAC i ma na celu wskazanie zależności pomiędzy postaciami drgań własnych.

Po procesie walidacji wyników estymacji użytkownik otrzymuje dokładne informacje, w którym miejscu analizowanej struktury badanego obiektu należy wprowadzić zmiany konstrukcyjne.

LMS Virtual.Lab

LMS Virtual.Lab to zintegrowane środowisko pozwalające na symulowanie zachowania systemów mechanicznych w zakresie integralności strukturalnej, drgań i hałasu, trwałości, dynamiki, zachowania w czasie jazdy i przemieszczenia oraz innych atrybutów. LMS Virtual.Lab stanowi dopełnienie systemu pomiarowego LMS Test.Lab, jest system który pozwala na połączenie najważniejszych aspektów symulacji i testów na istniejących obiektach. Oferuje unikatowe, hybrydowe podejście do symulacji – dane wejściowe pochodzące z rzeczywistych obiektów łączone są z danymi z obiektów symulowanych.

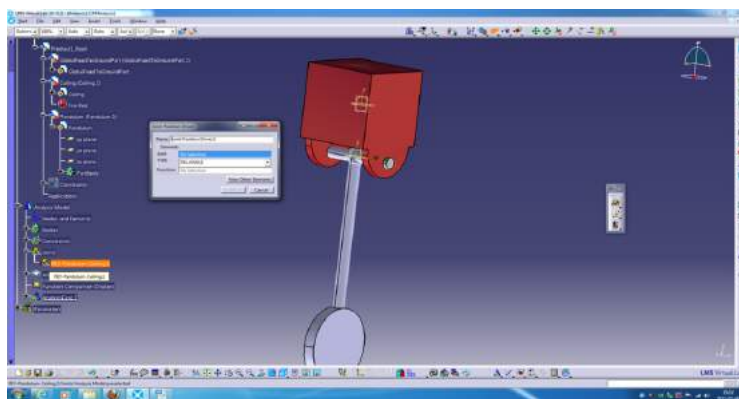
LMS Virtual.Lab oferuje narzędzia i technologie, umożliwiające dokonanie całościowej oceny projektu w każdym z tych kluczowych aspektów długo przed przystąpieniem do kosztownego tworzenia i testowania prototypów. Dzięki użyciu LMS Virtual.Lab zespoły inżynierskie mają możliwość szybkiego i efektywnego analizowania różnorodnych opcji projektu i dokonania najlepszych wyborów z punktu widzenia parametrów docelowego produktu. LMS Virtual.Lab pozwala na znaczne skrócenie czasu projektowania, eliminując konieczność przebrnięcia przez wiele kroków charakterystycznych dla typowego procesu. Potencjał oprogramowania pozwala na połączenie najważniejszych aspektów symulacji i testów na istniejących obiektach. Oferuje unikatowe, hybrydowe podejście do symulacji – dane wejściowe pochodzące z rzeczywistych obiektów łączone są z danymi z obiektów symulowanych.

Program składa się z poniższych modułów:

- Motion – symulacja rzeczywistych zachowań obiektów oraz możliwość ich modyfikacji bez konieczności budowy prototypu oraz przeprowadzania testów.
- Correlation – porównanie i zatwierdzanie zgodności modelu z rzeczywistością na podstawie wyników z pomiarów.

- Structures – ułatwia i przyspiesza współpracę ze specjalistycznym oprogramowaniem skracając czas całego procesu projektowania.
- Noise & Vibration – dostarcza kompletnych informacji na temat zakłóceń oraz hałasu wywołanych pracą danego urządzenia.
- Acoustics – uzyskanie pożądanego efektu akustycznego w fazie projektowania, bez konieczności budowania prototypu.
- Durability – optymalizacja konstrukcji pod kątem naprężeń zmęczeniowych.
- Optimization – usprawnienie działania modelu oraz poprawa parametrów konstrukcji.

Interfejs Virtual.Lab Motion oparty jest na środowisku CATIA V5, dzięki czemu nie jest wymagane żadne dodatkowe oprogramowanie do modelowania 3D. Istnieje także możliwość importu plików z istniejącą geometrią, takich jak: STEP, IGES, ProE, UniGraphics, ParaSolid, itp. oraz transformacja więzów kinematycznych. LMS Virtual.Lab Motion współpracuje z oprogramowaniami: LMS Imagine. Lab AMESim, Matlab, Easy5, DSH+, usprawniając proces sterowania. Istnieje możliwość przygotowania modelu pod analizy wytrzymałościowe wykonywane przy użyciu „solverów”, takich jak: Nastran, Ansys czy Abaqus. Okno modułu przedstawiono na rysunku 6.17.



Rys. 6.17. Okno dialogowe LMS Virtual.Lab Motion

Virtual.Lab Motion znajduje zastosowanie w:

- przemyśle samochodowym (silniki, układy hamowania, układy przekazywania napędu, przekładnie zębate, systemy ABS, ESP, itd.),
- przemyśle lotniczym (klapy skrzydeł i drzwi, układy zawieszenia, analizy lądowania i startu, itp.),
- projektowaniu maszyn przemysłowych (podnośniki, dźwigi, maszyny udarowe, roboty, sprężarki, pompy, itd.),
- projektowaniu maszyn użytkowych (drukarki, faksy, pralki, odtwarzacze DVD, dyski twarde, itp.).

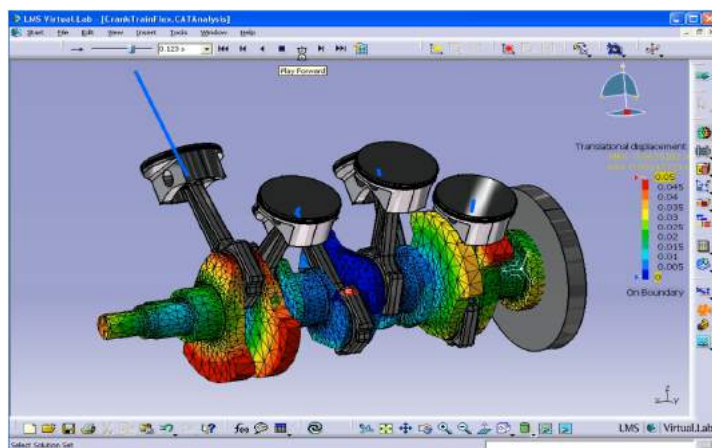
LMS Virtual.Lab Structures oferuje w pełni zintegrowane środowisko oparte na CATIA V5 do przygotowywania modeli pod analizy liniowe oraz nieliniowe, a także pod analizy zderzeń (*crash analysis*). Oprogramowanie ma możliwość obróbki otrzymanych wyników. Doskonały post-processor ułatwia tworzenie wizualizacji oraz generowanie raportów. LMS Virtual.Lab Structures eliminuje potrzebę przebudowywania modeli do każdej z aplikacji osobno oraz powielania siatki do Metody Elementów

Skończonych. Oprogramowanie umożliwia analizę zachowania zarówno pojedynczych komponentów jak i złożonych konstrukcji mechanicznych, eliminując trudności związane z konwersją formatów plików podczas importu oraz eksportu pomiędzy specjalistycznymi oprogramowaniami.

LMS Virtual.Lab Acoustics służy do przeprowadzania analiz akustycznych. Pomaga zmniejszyć poziom emisji akustycznej współpracujących ze sobą podzespołów, w rezultacie zmniejszając hałas generowany podczas pracy urządzenia. Oprogramowanie redukuje czas i koszty związane w budowaniem kolejnych prototypów. Program dzięki możliwości przebudowy geometrii wirtualnych modeli oraz zmiany parametrów konstrukcyjnych, pozwala użytkownikom na przeprowadzanie skomplikowanych analiz akustycznych złożonych konstrukcji w bardzo krótkim czasie. Moduł Acoustics zawiera wszystkie potrzebne narzędzia do obliczeń akustycznych, począwszy od możliwości przeniesienia pomysłu konstruktorów do wirtualnego „świata”, poprzez jego udoskonalanie oraz obliczenia akustyczne, kończąc na walidacji na bazie pomiarów. Możliwości LMS Virtual.Lab Acoustics to:

- dokładne zapoznanie się z akustyką konstrukcji mechanicznych,
- dokładne przewidywanie efektów akustycznych związanych z modyfikacją modelu,
- zmniejszenie poziomu hałasu urządzenia na etapie wirtualnego projektowania,
- zmniejszenie kosztów związane z poprawą parametrów akustycznych.

LMS Virtual.Lab Optimization jest doskonałym narzędziem do optymalizacji parametrów związanych z dynamiką, akustyką i wytrzymałością konstrukcji mechanicznych na etapie wirtualnego modelu. Oprogramowanie jest w pełni kompatybilne ze wszystkimi modułami LMS Virtual.Lab. Moduł ten pomaga inżynierom dokładnie zapoznać się z zależnościami panującymi pomiędzy poszczególnymi parametrami konstrukcji oraz dowiedzieć się, jak ich zmiana wpływa na funkcjonalność modelu (rys. 6.18).



Rys. 6.18. Wizualizacja wyników analiz aplikacją LMS Virtual.Lab

LMS Virtual.Lab Durability jest narzędziem do przeprowadzania analiz wytrzymałości zmęczeniowej na etapie wirtualnego modelu. Bez konieczności budowania prototypów i wykonywania testów, inżynierowie są w stanie stwierdzić, czy badana konstrukcja będzie spełniała wymogi wytrzymałościowe. Dzięki połączeniu Metody

Elementów Skończonych, analizy modalnej, analizy dynamicznej „multibody” oraz wiedzy na temat trwałości zmęczeniowej, użytkownicy mogą w krótkim czasie zbadać oraz zoptymalizować wytrzymałość strukturalną, spowalniając procesy starzenia się konstrukcji.

Poprzez kombinacje danych testowych i symulacyjnych LMS Virtual.Lab znacznie przyspiesza proces projektowania i sprawia, że jest on o wiele bardziej dokładny, a rezultaty bardziej ufne.

LMS AmesIM

Kolejną aplikacją wspomagającą pracę inżynierów i zintegrowaną w produktach LMS jest aplikacja Imagine.Lab AMESim – oprogramowanie symulacyjne do modelowania i analizy jednowymiarowych systemów. Program oferuje kompletny zestaw do:

- symulacji jednowymiarowych (1D) modeli,
- analizy wielu domen, inteligentnych systemów,
- przewidywania ich interdyscyplinarnych osiągnięć.

Elementy modelu zostały opisane przy użyciu zatwierdzonych modeli analitycznych, łączących w sobie m.in. elementy: mechaniczne, hydrauliczne, pneumatyczne, elektryczne itp. Po utworzeniu modelu, program pozwala na przejście do opisu jego parametrów, a następnie wykonania symulacji i analiz zachowania modelu.

Interfejs programu jest przejrzysty i intuicyjny. Zapoznanie się z programem ułatwia rozbudowany system pomocy AMEHelp, dzięki któremu praca z programem staje się łatwiejsza i bardziej efektywna.

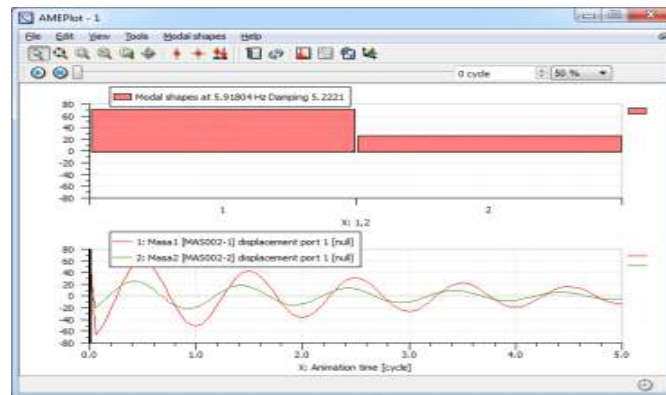
Program w wersji pierwotnej składa się z paska narzędzi, pasków trybu pracy, analiz oraz ustawień symulacji. Dodatkowo otwarte są okna z dostępem do bogatej biblioteki elementów, dzięki którym buduje się modele. W dolnej części otwarte jest okno, w którym możliwy jest podgląd kompatybilności danych elementów z innymi, w celu ułatwienia ich odpowiedniego dopasowywania. Biblioteka elementów w najbardziej rozbudowanej wersji programu jest bogata m.in. w takie podsystemy, jak: elementy mechaniczne, hydrauliczne, pneumatyczne, elektryczne itp.

Po to, aby opisać możliwości programu AMESim, należy posłużyć się kilkoma, wcześniej zbudowanymi już modelami systemów. Program, po przeprowadzonej i odpowiednio zdeklarowanej symulacji, oferuje rozmaite możliwości odczytywania i analizy wyników przeprowadzonych badań w postaci wykresów. Obliczone wartości można także w łatwy sposób przypisać poszczególnym parametrom w edytorze graficznym, dzięki czemu proste obrazy można wprawiać w ruch, uzyskany z wcześniej przeprowadzonych symulacji.

Aplikacja umożliwia ponadto przeprowadzenie analizy modalnej badanych elementów. W aplikacji zaimplementowano trzy rodzaje analizy modalnej:

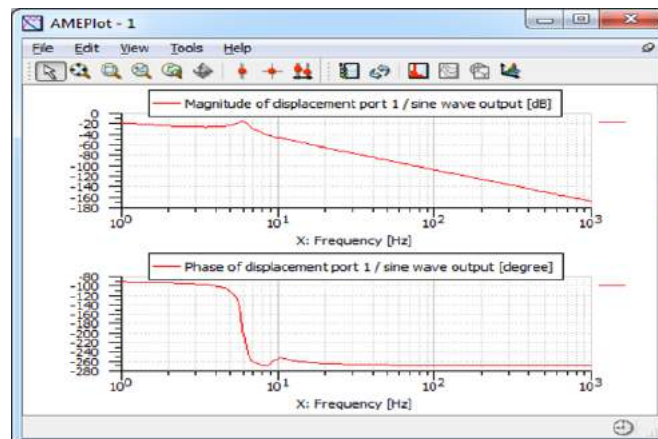
- częstości i postaci własnych,
- przejściowej charakterystyki Bodego, Nicolsa lub Nyquista,
- rozmieszczenia zer i biegunów obiektu.

Analizę modalną wykonuje się w trybie pracy symulacji – dla przebiegów częstotliwościowych. W tym przypadku należy odpowiednio zdeklarować (przed symulacją) parametry modelu, by analiza modalna doszła do skutku (rys. 6.17).



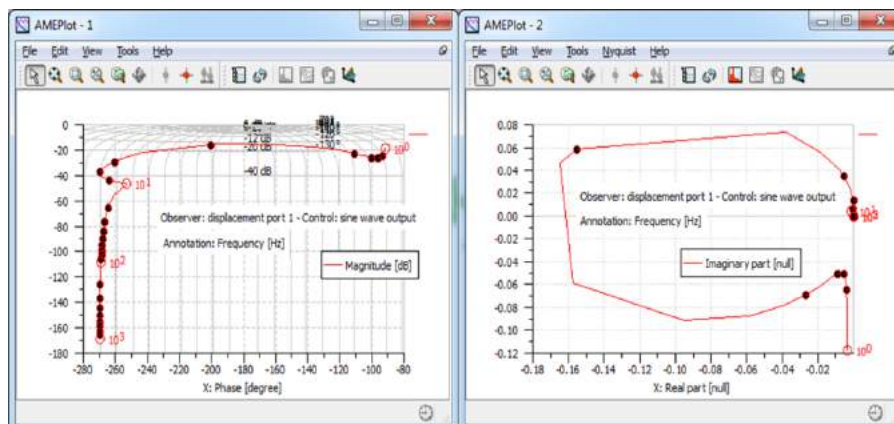
Rys. 6.17. Wykreślne przedstawienie wyników analizy modalnej

Innym rodzajem analiz są charakterystyki Bodego, Nicolsa lub Nyquista. Po to, aby przeprowadzić te analizy, wystarczy kliknąć w ikonę „Frequency response” dla ustalonej relacji wejście-wyjście. W analizie Bodego otrzymuje się wykres przedstawiony na rysunku 6.18.



Rys. 6.18. Wynik analizy modalnej wg charakterystyki Bodego

Dla każdej z par wejścia i wyjścia można wyznaczyć osobną charakterystykę Nicolsa i Nyquista, przedstawiane na rysunku 6.19.



Rys. 6.19. Wyniki analizy modalnej wg charakterystyk Nicolsa i Nyquista

Połączenie w jeden zestaw narzędzi pomiarowych wraz z systemem LMS Test.Lab, LMS Virtual.Lab oraz Imagine.Lab AMESim w jeden system diagnostyczny daje inżynierom nieocenione środowisko pracy, pozwalające na prowadzenie kompleksowych badań z zastosowaniem aplikacji inżynierskich.

6.4. SYSTEM VIBEX, VIBSTAND

VIBex jest systemem monitorowania i diagnostyki maszyn wirujących, przystosowanym do nadzoru maszyn łożyskowanych tocznie. Łożyska toczne nadzorowane są za pomocą techniki wyznaczania obwiedni sygnału, która pozwala na wykrycie zużycia elementu dużo szybciej niż algorytmy oparte na normalnym widmie.

System „Vibex” składa się z następujących elementów:

- czujniki drgań ICP,
- moduły akwizycji VIBdin,
- serwera systemu,
- przeglądarka Vibex Browser.

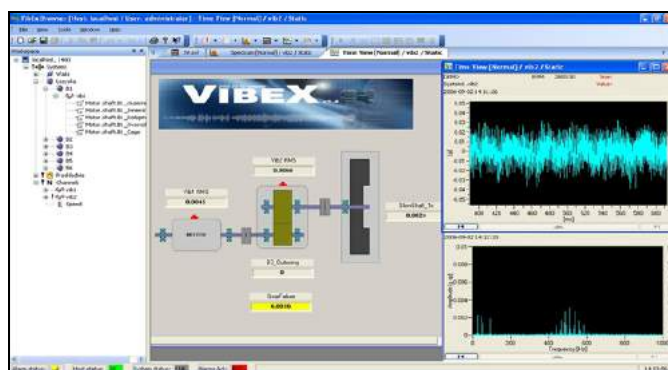
System oferuje następujące funkcje:

- prosta w obsłudze graficzna instalacja i konfiguracja systemu,
- automatyczne wyznaczanie częstotliwości charakterystycznych maszyny,
- zestaw narzędzi analizy widmowej, dostosowanych do maszyn o zmiennej prędkości,
- zestaw narzędzi do wczesnego wykrywania uszkodzeń łożysk tocznych,
- zestaw zaawansowanych narzędzi do wczesnego wykrywania uszkodzeń przekładni,
- moduł automatycznego ustawiania progów alarmowych,
- tworzenie raportów z konfiguracji,
- szybka baza danych, rejestrująca historię pracy turbiny,
- powiadamianie o wykrytych przekroczeniach przez e-mail,
- moduł przeglądarki danych zoptymalizowany pod kątem zdalnego dostępu,
- moduł replikatora bazy danych.

Sygnały drgań mogą być pobierane z akcelerometrów (ICP) lub czujników wirowych. Dodatkowo system może pobierać sygnały wolnozmiennne, które są trakto-

wane jako kanały procesowe (np. moc, prędkość obrotowa, temperatury, itp.). Po zdefiniowaniu kanałów wejściowych, określona jest kinematyka nadzorowanej maszyny. System automatycznie wyznacza prędkości obrotowe poszczególnych wałów i częstotliwości charakterystyczne układu (przekładnie, łożyska). Następnie należy przypisać czujniki do elementów maszyny, a system automatycznie definiuje i konfiguruje algorytmy monitorowania maszyny. Stosowany jest szereg algorytmów, od podstawowej oceny stanu, aż do zaawansowanych, jak nadzór linii harmonicznych. Łożyska toczne nadzorowane są za pomocą techniki wyznaczania obwiedni sygnału, która pozwala na wykrycie zużycia elementu dużo szybciej niż algorytmy oparte na klasycznym widmie sygnału.

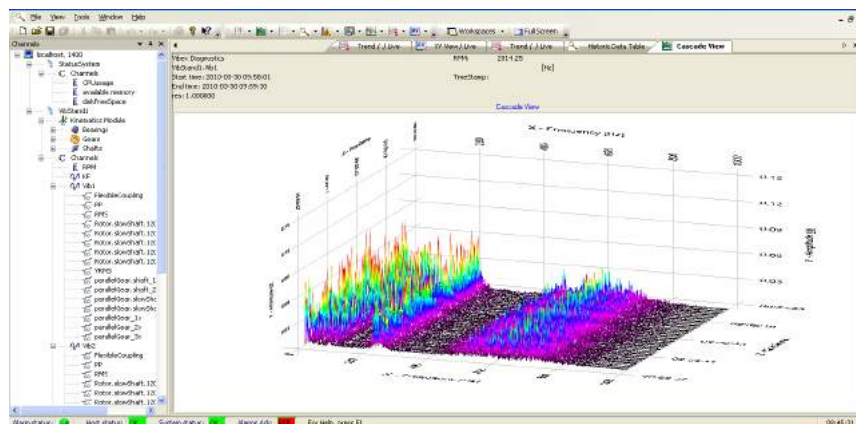
Na rysunku 6.20 przedstawiono przykładowe okno systemu „Vibex” w trakcie analizy pracy przekładni zębatej.



Rys. 6.20. System „Vibex” w trakcie badań stanowiskowych

System „VIBex” automatycznie tworzy progi alarmowe dla wszystkich nadzorowanych wielkości, co pozwala na zaoszczędzenie wielu godzin pracy nad konfiguracją systemu pomiarowego. W skład systemu wchodzi także narzędzie do automatycznego wyznaczania wartości progów (ostrzeżeń i alarmów). Progi te mogą być definiowane osobno dla kilku stanów maszyny. Po skonfigurowaniu i uruchomieniu systemu, można obserwować stan maszyn dzięki wielu wygodnym i funkcjonalnym wykresom. Stan systemu jest natychmiast widoczny na pasku statusu (kolorowe diody). Wszystkie wykryte przekroczenia są przedstawione na drzewie po lewej stronie ekranu i są propagowane przez drzewo aż do kanału, który był źródłem alarmu.

Podczas analizy widma sygnału możliwe jest nałożenie na wykres widma odniesienia (zapisanego w znanych warunkach poprawnej pracy maszyny). Możliwa jest zmiana jednostek, typu widma oraz jego kolorów. Możliwe jest również nanoszenie na wykres linii odpowiadających harmonicznym częstotliwości wybranym elementom maszyny oraz wyszukanie harmonicznym, które mogą być przyczyną wybranej linii na widmie. Aplikacja „VIBex” jest systemem bardzo wygodnym w obsłudze. Wizualizacja jest realizowana przez niezależną aplikację interfejsu graficznego VIBex Browser, która służy, jako podstawowe narzędzie do komunikacji z systemem. Na rysunku 6.21 przedstawiono okno aplikacji Vibex Browser, które pozwala logować się do wybranego serwera VIBex Host, gdzie wykorzystywany jest protokół TCP/IP.



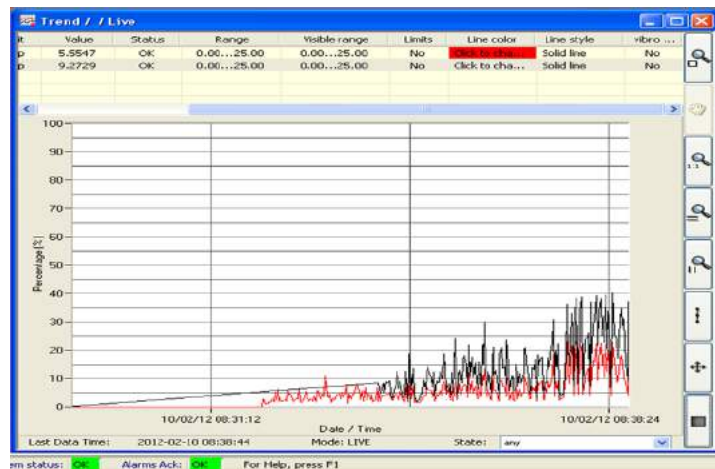
Rys. 6.21. Interfejs graficzny VIBex Browser

Typowymi wykresami, które są dostępne w aplikacji są:

- wykres synoptyczny (przedstawiający schemat maszyny z naniesionymi wybranymi wartościami, np. wartości skuteczne drgań, ...),
- tabela danych,
- tabela alarmów,
- linia trendu,
- przebieg czasowy drgań,
- widmo sygnału drgań,
- wykres kaskadowy,
- wykres X-Y.

Wykres synoptyczny jest podstawowym wykresem systemu przedstawiającym w obrazowy sposób bieżący stan procesu. Na obiekty graficzne, schematycznie przedstawiające proces lub jego elementy, nakładane są obiekty przedstawiające wartości w kanałach pomiarowych. Wartości te mogą być przedstawiane jako wartości liczbowe, wskaźniki słupkowe, wskaźniki wychyłowe, czasami również rejestratory pisakowe. Wartości kanałów dwustanowych przedstawione są za pomocą kontroltek lub okienek o wartościach 0 lub 1.

Tabela danych służy do tabelarycznego przedstawienia chwilowych wartości kanałów bądź ich estymat. Oprócz wartości liczbowych przedstawiany może być również status oraz wskaźnik czasowy „time.stamp”. Lista alarmów jest wykresem służącym do przeglądania i analizy alarmów. Przedstawia on zdarzenia zarejestrowane w bazie danych serwera. Bezpośrednio z wykresu możliwe jest zadanie okresu, za jaki mają być wyświetlane alarmy oraz ich typy. Ponadto można określić różne filtry, które określają, jakie zdarzenia mają być pobrane z bazy i wyświetlone. Parametrami tymi są, np.: typ zdarzenia (alarm, ostrzeżenie, zdarzenie systemowe, informacja, ...), wybrany komponent maszyny. Wykres trendu przedstawia historię wartości jednego lub kilku kanałów – rysunek 6.22.

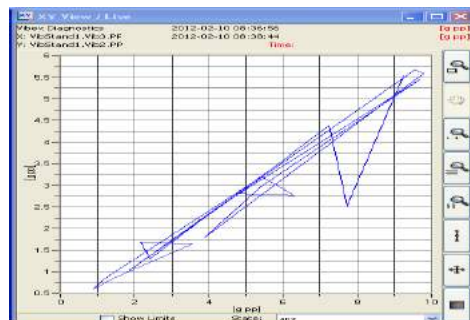


Rys. 6.22. Przykładowy wykres trendu w aplikacji VIBex Browser

Na wykresie tym możliwe jest przedstawienie następujących funkcji:

- dodawanie i usuwanie kanałów,
- zmiana skali czasu,
- odczyt wartości z wybranej chwili czasu,
- zmiana skali indywidualnie dla każdego kanału.

Wykres X-Y przedstawia jedną wybraną wartość kanału w funkcji drugiej wartości wykreślonej za dany okres. Umożliwia to obserwację charakterystyk pracy maszyny, a następnie porównywanie ich z charakterystykami wzorcowymi. Wykres X-Y służy do przedstawiania estymatorów sygnałów w funkcji mocy (rys. 6.23).

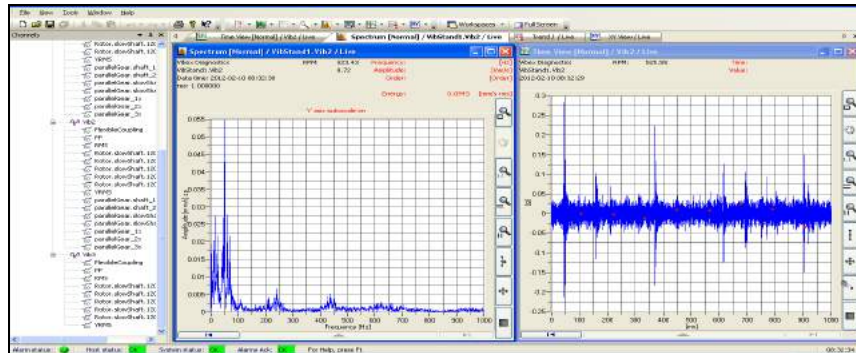


Rys. 6.23. Przykładowy wykres X-Y

Przebieg czasowy przedstawia obraz oscyloskopowy sygnału, z którego wyznaczone są następnie estymatory sygnału. Sygnał ten zawiera pełną, nieznieskształconą informację o stanie maszyny – rysunek 6.24. Na wykresie tym możliwa jest:

- zmiana zakresu częstotliwości,
- zmiana osi pomiędzy częstotliwością podstawową i wielokrotnościami harmonicznej,
- zmiana poziomu amplitudy,
- zamiana amplitudy pomiędzy przyspieszeniem, prędkością i przemieszczeniem,

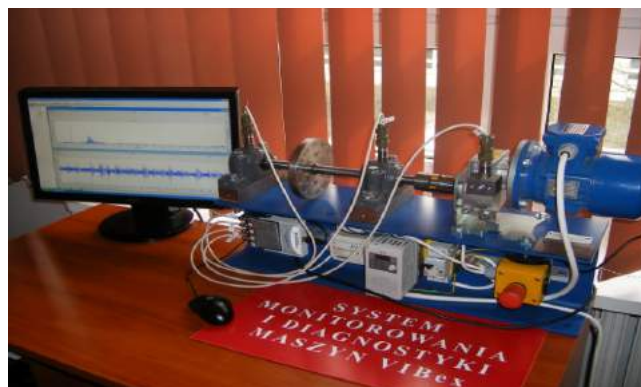
- odczyt wartości dla wybranej częstotliwości,
- naniesienie widma odniesienia, zarejestrowanego w dobrym stanie dynamicznym.



Rys. 6.24. Przykładowy przebieg czasowy oraz widmo sygnału drgań

VIBEx ma jeszcze wiele innych funkcji, składających się na zaawansowane, ale proste w użyciu narzędzie do monitorowania i diagnostyki maszyn.

VIBEx został opracowany przez firmę EC Systems, na bazie którego stworzono stanowisko laboratoryjne VIBstand. VIBstand to stanowisko badawczo-edukacyjne do diagnostyki maszyn wirnikowych. Składa się z części mechanicznej oraz systemu monitoringu i diagnostyki VIBEx, który został przedstawiony powyżej. Część mechaniczna zamocowana na sztywnej podstawie składa się z falownika, silnika trójfazowego z reduktorem oraz wału podpartego w dwóch łożyskach tocznych. Jedno z łożysk jest celowo uszkodzone, drugie natomiast jest całkowicie sprawne, dzięki czemu w przejrzysty sposób można zaprezentować metody wykrywania uszkodzeń łożysk tocznych. Na wale jest zamontowana tarcz z przygotowanymi otworami do wkręcenia niewyważenia (rys. 6.25).



Rys. 6.25. Stanowisko VIBstand

6.5. DSD W ROZPOZNAWANIU STANU

Na podstawie badań diagnostycznych jakości destrukcji różnorodnych maszyn sformułowano założenia systemu rozpoznawania stanu maszyn oraz zasady jego projektowania dla różnych badanych zespołów i układów maszyny. Opracowane **dedykowane reguły wnioskowania** diagnostycznego stanowią niezbędny element systemów rozpoznawania stanu.

Charakterystyka systemu rozpoznawania stanu maszyn

Badania obiektów w eksploatacji uzasadniają potrzebę stworzenia systemu rozpoznawania stanu maszyn, który winien stanowić podstawę do opracowania koncepcji dokładnego, niezawodnego i efektywnego urządzenia diagnostycznego. Główne założenia takiego podejścia są następujące [13, 14, 15, 21]:

1. System rozpoznawania stanu maszyny powinien umożliwiać:
 - kontrolę stanu,
 - genezowanie stanu i określenie przyczyny wystąpienia uszkodzenia,
 - prognozowanie stanu dla zdatnej maszyny, co sprowadza się do ustalenia terminu następnego diagnozowania,
 - lokalizację uszkodzeń w przypadku niezdatności maszyny.
2. Wymagania, które powinien spełniać system rozpoznawania stanu maszyny to:
 - niezawodność,
 - duża prędkość działania,
 - unifikacja,
 - ekonomiczność (niskie koszty produkcji i eksploatacji).
3. System rozpoznawania stanu maszyny ponadto powinien charakteryzować się:
 - prostym, możliwie optymalnym algorytmem funkcjonowania,
 - uniwersalnością, tzn. możliwościami rozpoznawania stanu maszyn różnych typów,
 - możliwościami rozpoznawania stanu maszyn o małym i dużym stopniu złożoności,
 - automatycznym generowaniem diagnoz,
 - jednoznacznością i czytelnością przedstawiania diagnoz,
 - prostotą obsługi.
4. System rozpoznawania stanu maszyny powinien umożliwiać ingerencję diagnosty tylko w przypadku:
 - zmiany przedmiotu rozpoznawania stanu,
 - zmiany algorytmu diagnozowania, genezowania i prognozowania stanu,
 - usunięcia wykrytych automatycznie uszkodzeń urządzenia diagnostycznego.
5. System rozpoznawania stanu maszyny powinien spełniać wymagania dotyczące jakości wyrobów, zgodnie z obowiązującymi normami.

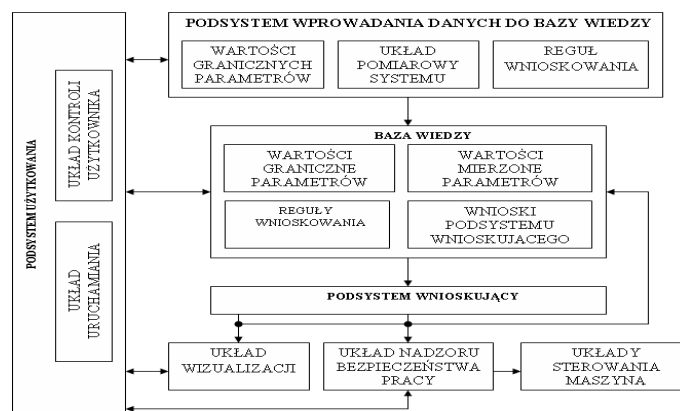
Uwzględniając wyniki badań uznano, że:

 - a) system rozpoznawania stanu maszyny powinien wykorzystywać zbiory parametrów diagnostycznych na podstawie analizy wartości ich wag,
 - b) uzupełnieniem powyższego powinno być uwzględnienie parametrów diagnostycznych preferowanych przez użytkownika maszyny, np. w aspekcie bezpieczeństwa maszyny,
 - c) system rozpoznawania stanu powinien zapewnić kontrolę stanu i lokalizację uszkodzeń maszyny,

- d) w przypadku zdadności maszyny (pozytywny wynik realizacji testu kontroli stanu) system powinien zapewnić prognozowanie stanu maszyny, co przekłada się na wyznaczeniu terminu obsługiwaną maszyną,
- e) w przypadku niezdatności maszyny (negatywny wynik realizacji testu kontroli stanu) realizacja testu lokalizacji uszkodzeń) system powinien zapewnić genezowanie stanu maszyny, co przekłada się na określeniu prawdopodobnej przyczyny zlokalizowanego, w czasie realizacji testu, uszkodzenia maszyny.

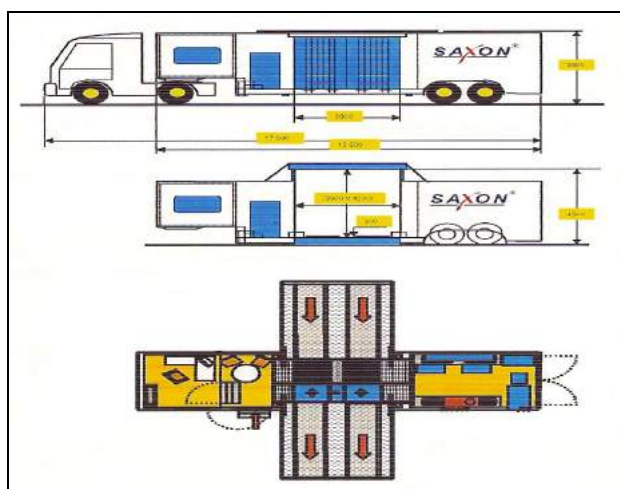
Uwzględniając powyższe ustalenia, warunki eksploatacji maszyn oraz analizy wyników badań metodyki rozpoznawania stanu maszyn - etapy opracowania systemu rozpoznawania stanu obejmują (rys. 6.26):

1. Analizę przedsięwzięcia – dotyczy analizy potrzeb i możliwych rozwiązań problemu, analizy rachunku ekonomicznego obejmującego budowę systemu, a także analizy wymagań funkcjonalnych, technicznych, informatycznych i ekonomicznych obejmujących relację kosztów wytworzenia i eksploatacji systemu a uzyskanych korzyści w wyniku jego zastosowania.
2. Projektowanie systemu – dotyczy określenia architektury mikroprocesora, modułów, interfejsów i innych części składowych oraz oprogramowania w aspekcie spełniania cech użytkowych systemu obejmujących:
 - projekt logistyczny – dotyczy aspektów organizacji oraz procesów przepływu informacji,
 - projekt funkcjonalny – dotyczy opisu funkcji elementów systemu i ich współdziałania,
 - projekt konstrukcyjny – dotyczy opisu struktury elementów systemu (np.: procesora, pamięci, komunikacji, wejść i wyjść, zegara, zasilania).
3. Budowę symulatora pracy systemu (komputerowego) – jego celem jest zapewnienie wstępnej oceny pracy systemu przy symulowanych stanach maszyny.
4. Implementację systemu – celem jest opracowanie i budowa modelu fizycznego spełniającego założone funkcje systemu.
5. Zapewnienie jakości systemu – dotyczy testowania (rys. 6.27) programów i badań eksploatacyjnych.
6. Wykonanie dokumentacji systemu – obejmującej budowę, wymagania i ograniczenia, funkcjonowanie i procedury obsługowe.



Rys. 6.26. Schemat konfiguracji i działania systemu rozpoznawania stanu maszyny

Etapy początkowe (1-2) dotyczą analizy przedsięwzięcia w aspekcie oceny spełnianych funkcji przez system rozpoznawania stanu maszyny odniesionych do poniesionych nakładów na ich realizację. Przyjmuje się, że zastosowanie takiego systemu będzie miało wpływ na eksploatację maszyny oraz że nakłady poniesione na opracowanie i wdrożenie systemu będą miały wpływ na koszty wytworzenia i sprzedaży maszyny. Wszystko to razem powoduje, iż konieczne staje się udzielenie odpowiedzi na pytanie: czy efekty użytkowe wynikające z zastosowania systemu rozpoznawania stanu maszyny są zasadne w odniesieniu do oczywistych relacji ekonomicznych?



Rys. 6.27. Mobilne struktury systemu rozpoznawania stanu

W nawiązaniu do powyższego istotnym staje się również udzielenie odpowiedzi na pytanie: czy i na ile zmniejszy się zagrożenie bezpieczeństwa ludzi i otoczenia? Można np. przyjąć, że koszt pokładowego systemu diagnostycznego maszyny nie powinien przekraczać (5-8)% jej wartości, przy czym koszt systemu rozpoznawania stanu powinien być mniejszy, ponieważ stanowi tylko część całego systemu sterująco-diagnostycznego maszyny. Ponadto, uwzględniając ciągły wzrost wymagań odnoszących się do produkowanych maszyn można przyjąć, że zastosowanie w nich rozpoznawania stanu zwiększy ich atrakcyjność handlową.

Etapy 3-4 obejmują analizy możliwości wytworzenia systemu rozpoznawania stanu odniesione do relacji: potencjał narzędzi diagnostycznych – założenia techniczno-ekonomiczne. Na tym etapie tworzona jest koncepcja systemu rozpoznawania stanu zawierająca projekt logiczny i konstrukcyjny. Projekt logiczny odnosi się do podstawowych, elektronicznych układów funkcjonalnych pokładowego systemu diagnostycznego i powinien obejmować moduły:

- zasilania,
- wejścia/wyjścia,
- elektroniki cyfrowo-analogowej,
- wizualizacji i sygnalizacji,
- wnioskowania diagnostycznego,
- sterowania.

Przyjmuje się, że skonfigurowany według wyznaczonych wymagań system rozpoznawania stanu maszyny powinien działać dwufazowo:

- wstępnie, tj. od momentu włączenia zasilania elektrycznego i realizowane będzie testowanie systemu,
- zasadniczo, tj. od chwili zakończenia testowania i uruchomienia zasadniczych funkcji diagnostycznych.

Istota działania systemu rozpoznawania stanu maszyny polega:

1. W obszarze Oceny Stanu:
 - na wnioskowaniu o stanie maszyny, wykorzystując w oparciu o relacje między mierzonymi wartościami zbioru parametrów diagnostycznych i ich wartościami nominalnymi, na podstawie opracowanego testu kontroli stanu,
 - na wnioskowaniu o lokalizacji stanu maszyny w oparciu o relacje między mierzonymi wartościami zbioru parametrów diagnostycznych i wartościami nominalnymi na podstawie opracowanego testu lokalizacji uszkodzeń.
2. W obszarze Genezowania Stanu na wnioskowaniu o prawdopodobnej przyczynie zlokalizowanego stanu niezdatności maszyny, opierając się na analizie odległości genezowanych wartości parametru diagnostycznego z przedziałem błędu genezy od wartości granicznej parametru według algorytmu:
 - optymalny parametr diagnostyczny (maksymalna wartość wagi),
 - optymalna metoda genezowania (minimalna wartość błędu genezy),
 - minimalna wartość odległości wartości parametru diagnostycznego z przedziałem błędu genezy od wartości granicznej parametru diagnostycznego $d_{\min}$,
 - korelacja minimalnej wartości odległości $d_{\min}$ ze stanami niezdatności maszyny s_i , przy jednoczesnym badaniu okoliczności i warunków eksploatacji ich wystąpienia, jako ewentualnej przyczyny zlokalizowanego stanu niezdatności maszyny.
3. W obszarze Prognozowania Stanu na szacowaniu terminu kolejnego terminu obsługi maszyny Θ_d (przyjęcie minimalnej wartości terminu Θ_{d1} , Θ_{d2}) na podstawie analizy wartości terminów wygenerowanych przez dwie metody prognozowania terminu kolejnego obsługiwanie Θ_{d1} i Θ_{d2} według algorytmu:
 - optymalny parametr diagnostyczny (maksymalna wartość wagi),
 - optymalna metoda prognozowania (minimalna wartość błędu prognozy),
 - minimalna wartość terminu kolejnego obsługiwanie Θ_d .

Obiektem definiowanym w systemie rozpoznawania stanu będą zespoły i układy maszyny. Atrybutami będą natomiast dane, których to opisujące je wartości (wybrane parametry diagnostyczne) określać będą ich stan. 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.

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).

Etap 5 zawiera szkic wstępnego projektu (logicznego i funkcjonalnego) systemu rozpoznawania stanu maszyny, budowę i badania jego modelu, oraz opracowanie projektu technicznego systemu uwzględniającego analizę wyników zrealizowanych badań.

Opracowanie projektu funkcjonalnego systemu rozpoznawania stanu maszyny powinno obejmować następujące warianty jego pracy:

- użytkowy, dotyczy nadzorowania pracy maszyny w czasie jej użytkowania według testu kontroli stanu na podstawie Oceny Stanu,
- diagnostyczno-obserwacyjny, obejmuje rozpoznawanie stanu maszyny oraz realizację jego obsługi według wyznaczonych terminów na etapie Prognozowania Stanu oraz zakresu jego obsługi według określonych stanów niezdatności na etapie lokalizacji uszkodzeń i genezowania stanów na podstawie Oceny Stanu i Genezowania Stanu,
- informacyjny, dotyczy tworzenia bazy danych historii eksploatacji maszyny zapewniającej:
 - określanie rodzajów uszkodzeń (niezdatności) odnoszonych do czasu eksploatacji,
 - wyznaczanie alertowych terminów obsługi Θ_d (na podstawie Prognozowania Stanu) odnoszonych do bezpieczeństwa eksploatacji maszyny,
 - informowanie eksploatatora o osiągnięciu alertowego terminu obsługi przez maszynę (i stanu bezpośredniego zagrożenia bezpieczeństwa ludzi i otoczenia).

Zastosowanie przedstawionej koncepcji systemu rozpoznawania stanu zapewni realizację następujących zadań:

- ciągły nadzór parametrów diagnostycznych w zakresie oceny stanu maszyny,
- rejestrowanie i archiwizacja wartości parametrów diagnostycznych,
- przetwarzanie zebranych danych na decyzje zapewniające, na podstawie opracowanej metodyki, efektywną eksploatację maszyny,
- bieżące lub sekwencyjne informowanie o stanie maszyny oraz alarmowania o jej stanach niezdatności z prawdopodobną przyczyną ich wystąpienia,
- bieżące lub sekwencyjne informowanie o terminie obsługi maszyny,
- sekwencyjne informowanie o stanie maszyny oraz alarmowania o jej niezdatności.

Reasumując przedstawione powyżej rozważania system rozpoznawania stanu maszyny powinien spełniać oddzielnie lub łącznie następujące funkcje określone na podstawie, przeznaczonych dla różnych typów i rodzajów maszyn, reguł wnioskowania diagnostycznego w obszarach:

- optymalizacji zbioru parametrów diagnostycznych,
- kontroli stanu i lokalizacji uszkodzenia,
- genezowania stanu,
- prognozowania stanu.

Spełnianie wymienionych funkcji możliwe jest następującymi sposobami:

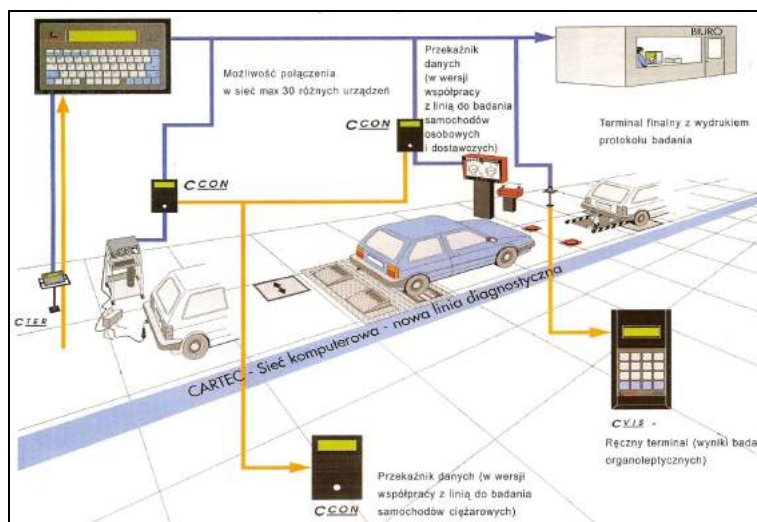
1. Realizacja algorytmu kontroli stanu, algorytmu prognozowania stanu maszyny, a w przypadku jego niezdatności algorytmu lokalizacji uszkodzeń i genezowania stanu odbywa się za pomocą oddzielnych modułów systemu rozpoznawania stanu. Diagnosta na podstawie zbioru wyników sprawdzeń podejmuje decyzje o stanie maszyny. W tym przypadku koszt badań diagnostycznych maszyny jest wysoki.
2. System rozpoznawania stanu realizuje algorytm kontroli stanu, a w przypadkach koniecznych również algorytm lokalizacji uszkodzeń. Diagnosta bierze również udział w podejmowaniu decyzji o stanie maszyny. Istotnie skraca się czas i koszty diagnozowania obiektu. Jednak jest wyższy koszt urządzenia diagnostycznego.
3. System rozpoznawania stanu realizuje łącznie uprzednio wymienione cztery funkcje. Zatem do funkcji kontroli stanu i lokalizacji uszkodzeń dochodzi funkcja prognozo-

wania 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, genezowania stanu, lokalizacji uszkodzeń obiektu oraz prognozowania 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.

Rozwiązaniem mniej kosztownym jest system rozpoznawania stanu, który spełnia tylko funkcje kontroli stanu jak to funkcjonuje w wielu przypadkach (rys. 6.2). W tym przypadku zewnętrzny system rozpoznawania może prognozować stan lub lokalizować uszkodzenia obiektu i genezować stan niezdatności. Może to być system uniwersalny wykorzystywany do badań diagnostycznych różnych maszyn.

Innym rozwiązaniem jest zewnętrzny system rozpoznawania stanu dołączany na czas badań do gniazda diagnostycznego maszyny z możliwością oceny stanu, prognozowania stanu i genezowania stanu. Może to być system uniwersalny lub specjalizowany wyłącznie do rozpoznawania stanu określonych maszyn.



Rys. 6.28. Sieciowe systemy DT

Z analizy wymagań działaniowych i konfiguracji systemu rozpoznawania stanu maszyny wynika, że architektura systemu (rys. 6.28) powinna zapewnić [12, 15, 16]:

- konfigurowanie systemu w zakresie wyznaczonych uprzednio potrzeb, w tym obejmujących wprowadzenie odpowiedniej liczby parametrów diagnostycznych, ich wartości granicznych i wartości nominalnych parametrów diagnostycznych, stany maszyny, czas pracy maszyny,
- pomiar i rejestrację wartości mierzonych sygnałów według wyznaczonych warunków (początek i koniec pomiaru, które wielkości i kiedy podlegają rejestracji),

- wnioskowanie diagnostyczne w oparciu o analizę relacji między wartościami wzorcowymi a mierzonymi na podstawie reguł wnioskowania diagnostycznego,
- wizualizację stanu maszyny, w tym generowanie decyzji eksploatacyjnych (zdatny, niezdatny, lokalizacja uszkodzenia, inne).

Wynika z tego, że konieczne staje się utworzenie bazy danych, w której obok zbiorów wartości granicznych i nominalnych oraz zbioru wartości parametrów diagnostycznych rejestrowanych podczas eksploatacji niezbędne są reguły wnioskowania diagnostycznego.

Na podstawie wyników badań weryfikacji nowych procedur (oceny stanu, genezowania, prognozowania) zaproponowano użytkownikom maszyn opracowane dedykowane reguły wnioskowania diagnostycznego:

- dla optymalizacji zbioru parametrów diagnostycznych Y^o poprzez określenie wartości wagi w_{1j} ,
- dla oceny stanu poprzez:
 - określenie zbioru stanów (kryterium wartości prawdopodobieństwa $p(s_i)$),
 - określenie zbioru stanów (kryterium wartości czasu eksploatacji s_i (Θ_i) $\in S$),
 - określenie sposobu interpretacji wartości logicznych „0” i „1” macierzy diagnostycznej MD,
 - określenie sposobu interpretacji wartości logicznych „0” i „1” testu kontroli stanu T_{KS} ,
 - określenie sposobu interpretacji wartości logicznych „0” i „1” macierzy diagnostycznej T_{LU} ,
- dla genezowania stanu poprzez:
 - określenie zbioru stanów (kryterium wartości prawdopodobieństwa $p(s_i)$),
 - określenie zbioru stanów (kryterium wartości czasu eksploatacji s_i (Θ_i) $\in S$),
 - określenie metody genezowania wartości parametrów diagnostycznych poprzez minimalizację błędu genezy,
 - określenie sposobu wyznaczenia odległości minimalnej d_{min} pomiędzy wartością genezowaną parametru diagnostycznego $y_j \in Y^o$ z błędem genezy od wartości granicznej parametru y_{jg} ,
 - określenie sposobu interpretacji d_{min} w zależności od jej wartości ($d_{min} = 0$, $d_{min} > 0$, $d_{min} < 0$) oraz występowania w czasie stanów ($d_{smin} = d_{min}$),
- dla prognozowania stanu poprzez:
 - określenie zbioru parametrów diagnostycznych (zbiór jednoelementowy, zbiór wieloelementowy),
 - określenie metody prognozowania wartości parametrów diagnostycznych poprzez minimalizację błędu prognozy,
 - określenie metody wyznaczania terminu kolejnego obsługiwanego Θ_d ,
 - określenie, dla zbioru wieloelementowego parametrów, sposobu interpretacji wartości ważonego terminu kolejnego obsługiwanego uwzględniającego wag w_{1j} .

Przedstawiony powyżej algorytm generowania reguł wnioskowania jednoznacznie identyfikuje zespół, układ maszyny lub maszynę w aspekcie rozpoznania ich stanu, co umożliwia opracowanie dedykowanego oprogramowania (dla zespołów i układów maszyn) systemu rozpoznawania stanu.

... doświadczenie jest drogą szkołą
lecz są tacy, którzy nie uczą się w żadnej ...

7. DIAGNOSTYKA WYBRANYCH OBIEKTÓW

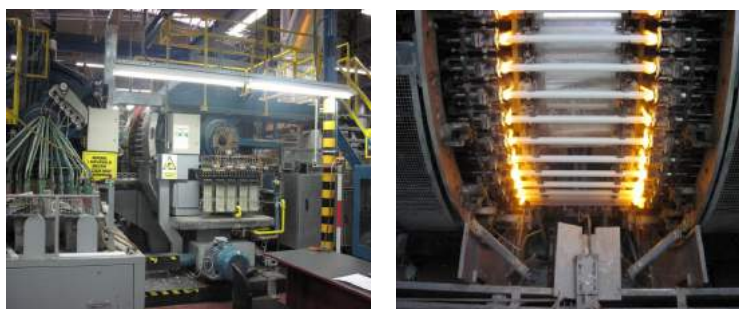
Weryfikacja wcześniejszych dokonań oparta została na przykładzie badań praktycznych wybranych obiektów technicznych.

Drgania zachodzą w każdym obiekcie mechanicznym, zwłaszcza wypełniającym swą funkcję celu w dynamicznie zmieniającym się otoczeniu. Po przekroczeniu pewnego progu wyznaczanego przez amplitudę i częstotliwość zjawiska drgania mogą być szkodliwe dla obiektu bądź dla jego otoczenia (następuje zmniejszenie trwałości materiału, powstają chwilowe miejscowe odkształcenia konstrukcji bądź drgania przenoszone są bezpośrednio na pracownika obsługującego dany obiekt techniczny).

Ze względu na przeprowadzone analizy stosowanych metod diagnostycznych we współczesnych konstrukcjach obiektów technicznych stwierdzono znikome zastosowanie technik informatycznych do celów diagnostycznych w analizie zmian stanu. Na podstawie tych spostrzeżeń w trakcie badań podjęto próbę oceny stanu wybranych obiektów zgodnie z opracowanymi procedurami diagnostyki technicznej, przy wykorzystaniu nowoczesnych technik informatycznych i specjalistycznego oprogramowania inżynierskiego [1, 9, 14, 26].

7.1. BADANIA LINII PRODUKCYJNEJ ŚWIETLÓWEK

Obiektem badań przeprowadzonych w wybranym przedsiębiorstwie była linia produkcyjna HOR 6002, stosowana do produkcji świetlówek (rys. 7.1). Sytuacja techniczna zakładu umożliwiła przeprowadzenie badań na dwóch obiektach, jednym zdającym i drugim wskazującym na zaistniałe uszkodzenie. Nieprawidłowe funkcjonowanie powodowało zwiększoną liczbę uszkodzonych finalnych w produkcji elementów oświetlenia. Maszyna nie wykazująca błędów produkcyjnych pozwoliła na porównanie otrzymywanych wyników badań, co nie zawsze jest możliwe w wielu przypadkach.



Rys. 7.1. Stanowisko badawcze w procesie produkcji na linii HOR 6002

Celem realizacji badań była ocena poprawności stanu dynamicznego zespołów linii produkcyjnej HOR 6002, wpływającego na przebieg realizowanych zadań oraz wskazanie przyczyn wadliwego działania, prowadzącego do zwiększonej liczby wadliwych produktów.

Pomiarów charakterystyk sygnału drganiowego, dobrze odzwierciedlającego stan dynamiczny maszyny, dokonano dzięki systemowi VIBDAQ+, rejestrując drgania za pomocą czujnika piezoelektrycznego. Czujnik ten umieszczono na badanym obiekcie w wyznaczonych konstrukcyjnie miejscach odbioru i połączono za pomocą ekranowanych przewodów z czterokanałowym modulem aktywizacji danych VIBDAQ+ (rys. 7.2) o parametrach technicznych przedstawionych w tabelicy 7.1.



Rys. 7.2. Czterokanałowy moduł aktywizacji danych VIBDAQ+ wraz z czujnikiem

Tabela 7.1. Parametry techniczne modułu aktywizacji danych VIBDAQ+4.

Dane techniczne modułu aktywizacji danych EC System VIBDAQ+	
Zasilanie	5VDC/8W
Komunikacja z PC	USB 2.0 HS
Zakres napięć wejściowych	± 10 [V], ± 1 [V], $\pm 0,1$ [V]
Ilość kanałów wejściowych	4
Złącza kanałów wejściowych	BNC
Typ wejścia	Napięciowe lub ICP(R)
Wzmocnienie	Programowalne: x1, x10, x100
Impedancja wejściowa	>100 [M Ω]
SNR	95 [dB] typ. dla 10 [V], 100 [kHz]
Typ	SAR
Rozdzielczość	24-bit
Bufor danych	64 [Mb]
Częstotliwość próbkowania	105 [kHz/kanał]
Temperatura pracy	0 [°C] do 70 [°C]
Temperatura składowania	-40 [°C] do 80 [°C]

Dane techniczne czujnika piezoelektryczny PCB Piezotronics, typu ICP model 352C68 przedstawiono w tabeli 7.2.

Tabela 7.2. Parametry czujników PCB Piezotronics typu ICP model 352C68

czułość	100 [mV/g] ($\pm 10\%$),
zakres pomiarowy	± 50 [g pk] (± 491 [m/s ² pk]),
szerokość pasma	(od 1 do 10000 [Hz]) 0.00016 [g rms] (0.0015 [m/s ² rms])
zakres częstotliwości	($\pm 5\%$) 0,5 do 10000 [Hz]
waga	2,0 [gm]

Wyboru punktów pomiarowych dokonano po analizie konstrukcji maszyny z uwzględnieniem możliwości realizacji badań w określonych punktach pomiarowych. Z uwagi na złożoną konstrukcję linii produkcyjnej HOR 6002 badaniach skupiono się na łożyskach głównych maszyny.

Określono dziewięć punktów pomiarowych, w których dokonano pomiarów dla dwóch identycznych konstrukcyjnie maszyn. Sposób mocowania czujnika rejestrującego drgania w 9 wyznaczonych punktach odbioru sygnału przedstawiono na rysunku 7.3.

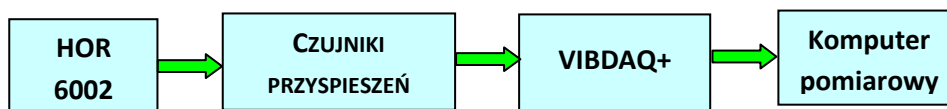


Rys. 7.3. Mocowanie czujnika drgań w wybranych punktach (1, 7, 8, 9) odbioru sygnału

Układ pomiarowy składał się z:

- czujnika przyspieszeń ICP model: 352C68,
- przewodu pomiarowego standardowej serii 002,
- modułu akwizycji danych VIBDAQ+,
- komputera pomiarowego wyposażonego w oprogramowanie SIG.VIEW.

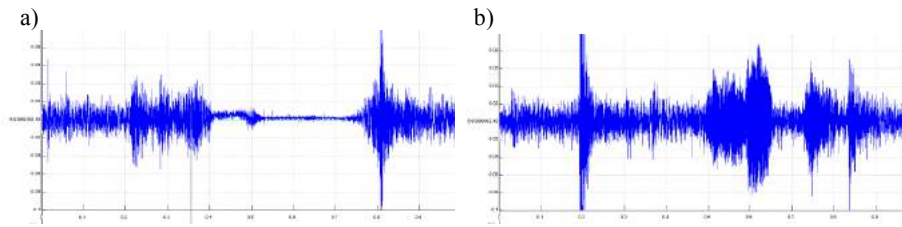
Konfigurację układu pomiarowego stosowanego w procesie badawczym przedstawiono na rysunku 7.4.



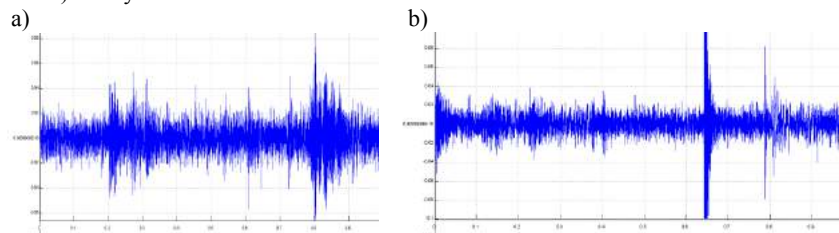
Rys. 7.4. Schemat blokowy układu pomiarowego procesu badawczego

Moduł akwizycji danych VIBDAQ+ połączono z komputerem pomiarowym za pomocą portu USB. Komputer pomiarowy wyposażono w specjalistyczne oprogramowanie SIGVIEW, umożliwiające obróbkę cyfrową danych oraz możliwość wyeksportowania danych postaci plików o rozszerzeniu .xls.

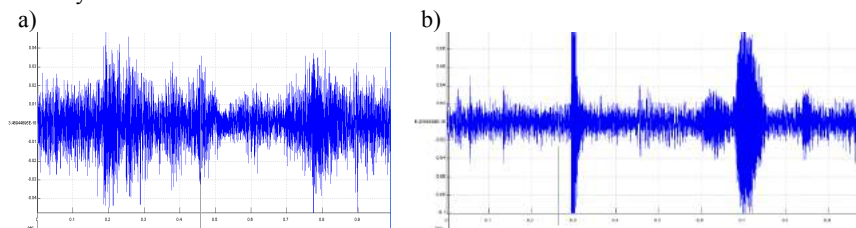
Wyniki badań otrzymano w postaci przebiegów czasowych poziomu amplitudy drgań dla dwóch maszyn we wszystkich punktach pomiarowych. Z uwagi na konieczność rozróżnienia maszyn przyjęto drugą jako zdatną, natomiast pierwszą określono jako niezdatną. Wszystkie wyniki dostępne są w zespole badawczym u autorów pracy [33]. Przykładowe wyniki amplitudy drgań dla obu maszyn przedstawiono na rysunkach 7.5-7.9.



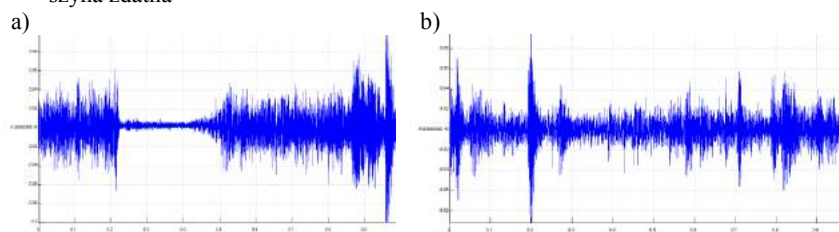
Rys. 7.5. Przebiegi czasowe amplitudy drgań w punkcie pierwszym: a) maszyna niezdatna, b) maszyna zdatna



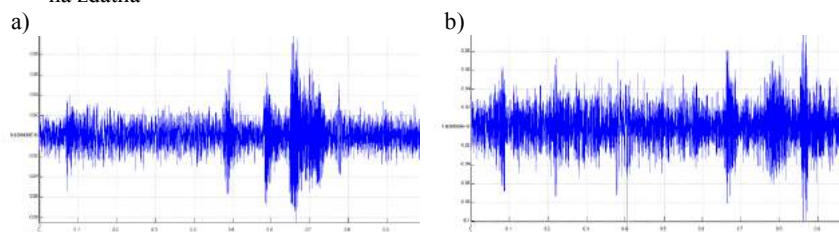
Rys. 7.6. Przebiegi czasowe amplitudy drgań w punkcie drugim: a) maszyna niezdatna, b) maszyna zdatna



Rys. 7.7. Przebiegi czasowe amplitudy drgań w punkcie trzecim: a) maszyna niezdatna, b) maszyna zdatna



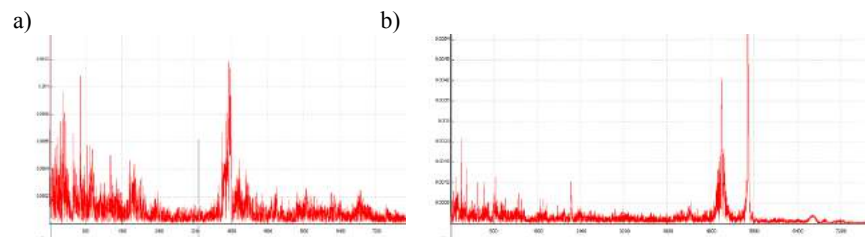
Rys. 7.8. Przebiegi czasowe amplitudy drgań w punkcie piątym: a) maszyna niezdatna, b) maszyna zdatna



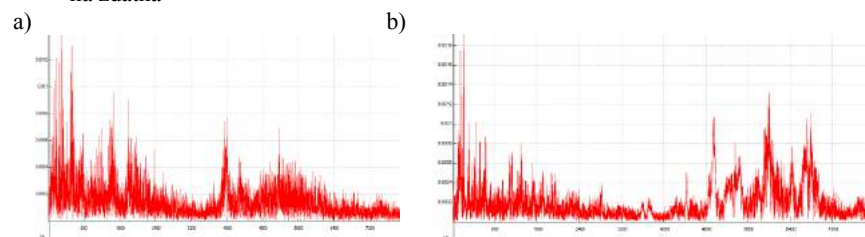
Rys. 7.9. Przebiegi czasowe amplitudy drgań w punkcie dziewiątym: a) maszyna niezdatna, b) maszyna zdatna

Wyniki badań poddano przetwarzaniu w procedurze „symptomy”, w wyniku której otrzymano widma sygnałów procesów drganiowych, wartości średnie amplitudy drgań, RMS wartości skuteczne i maksymalne, odchylenia standardowe miar, bezwymiarowe współczynniki: kształtu, szczytu i impulsowości. Wartości te uzyskano w celu zwiększenia możliwości rozróżnienia stanu badanych maszyn.

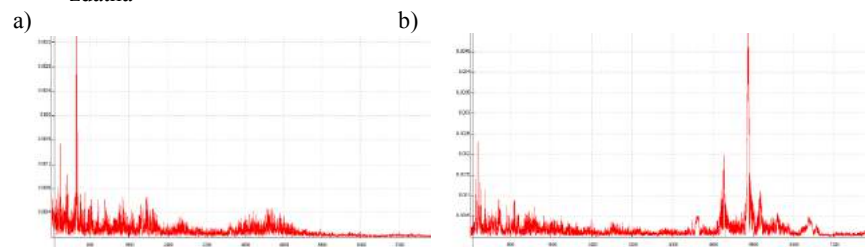
Przykładowe wyniki widm uzyskane dla dwóch maszyn przedstawiono na rysunkach 7.10-7.14.



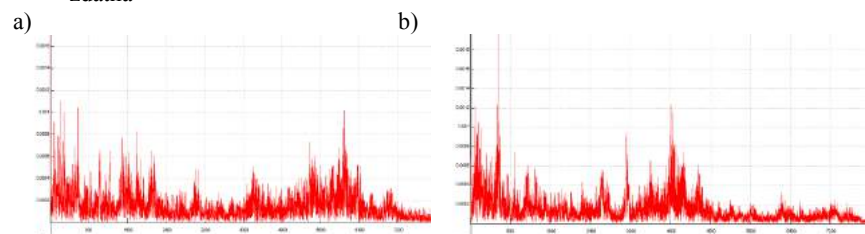
Rys. 7.10. Widma sygnału drganiowego w punkcie pierwszym: a) maszyna niezdatna, b) maszyna zdalna



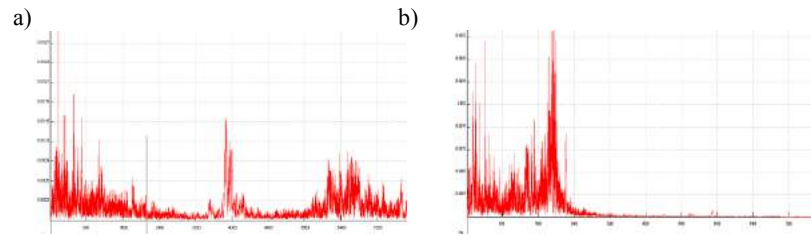
Rys. 7.11. Widmo sygnału drganiowego w punkcie drugim: a) maszyna niezdatna, b) maszyna zdalna



Rys. 7.12. Widmo sygnału drganiowego w punkcie trzecim: a) maszyna niezdatna, b) maszyna zdalna

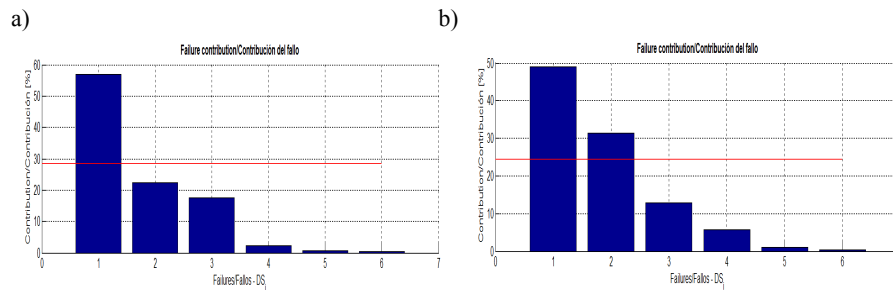


Rys. 7.13. Widmo sygnału drganiowego w punkcie piątym: a) maszyna niezdatna, b) maszyna zdalna

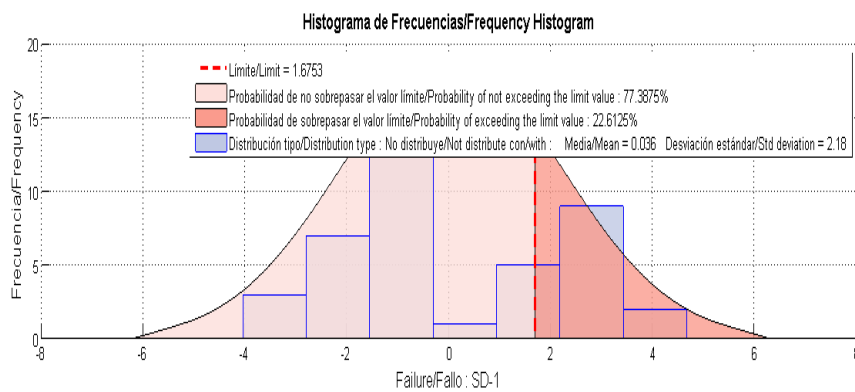


Rys. 7.14. Widmo sygnału drganiowego w punkcie dziewiątym: a) maszyna niezdatna, b) maszyna zdalna

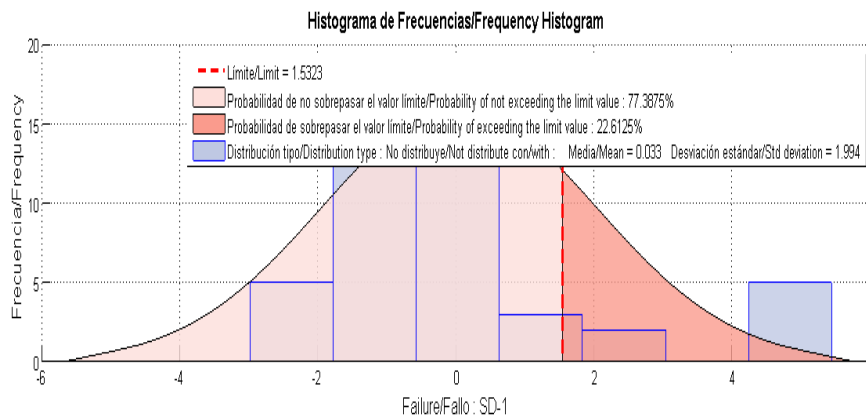
Na rysunkach 7.15-7.18, przedstawiono graficzną interpretację analizy wyników badań metodą SVD.



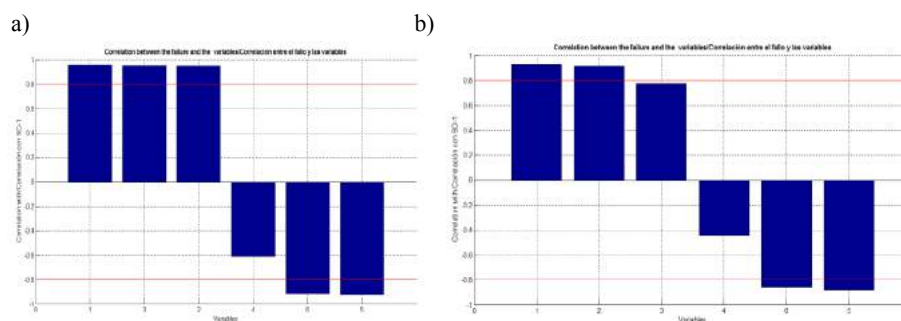
Rys. 7.15. Graficzna interpretacja przydatności badanych miar uszkodzeń dla maszyny: a) zdalnej i b) uszkodzonej



Rys. 7.16. Graficzna interpretacja histogramu wartości uszkodzenia głównego dla maszyny zdalnej



Rys. 7.17. Graficzna interpretacja histogramu wartości uszkodzenia głównego dla maszyny uszkodzonej



Rys. 7.18. Graficzna interpretacja korelacji symptomów maszyny: a) zdzdatnej i b) z uszkodzeniem

Analiza wyników badań potwierdza różne stany dynamiczne badanych dwóch porównywanych maszyn. Widma sygnałów procesów drganiowych wraz z wartościami wybranych miar własnych wskazują na możliwość rozróżnienia stanów badanych maszyn.

W celu weryfikacji decyzji o stanie badanej maszyny dokonano porównania uzyskanych wyników badań maszyn po dłuższym okresie. Badaniom poddano wyniki dla pomiarów dokonanych w punktach po stronie napędu: 1, 2, 3 z odpowiadającymi im punktami po drugiej stronie maszyny, od strony transportera – punkty: 4, 5, 6.

Porównanie wyników wskazuje na rozwijające się uszkodzenie w łożysku głównym maszyny niezdatnej, po stronie transportera, co może także wpływać na jakość łożyskowania silnika elektrycznego użytego do napędu maszyny.

Przeprowadzone badania wskazują na konieczność okresowej weryfikacji stanu łożysk głównych oraz łożyskowania silnika badanej maszyny.

Weryfikacja ta na pierwszym etapie powinna polegać na przeprowadzeniu zgodnie z procedurami czynności dotyczącej sprawdzeniu stanu montażu konstrukcji, ze szczególnym uwzględnieniem wartości kontrolnych wskazanych węzłów oraz potrzeby systematycznego smarowania łożysk. Procesy eksploatacyjne oraz tribologiczne występu-

jące w wymienionych węzłach maszyny znacząco wpływają na stan dynamiczny, który oddziałuje na poprawną pracę i efektywną realizację procesu produkcyjnego.

W celu stworzenia mapy stanów dynamicznych maszyny należałoby dokonać szeregu badań ujmujących czas jej eksploatacji. Podejście takie umożliwi uzyskanie systemu monitorującego stan maszyny, co pozwoli na zwiększenie jej niezawodności w aspekcie realizacji procesu produkcyjnego.

7.2. BADANIA STANU LINII DO PRZEROBU ODPADÓW

Obiektem badań przeprowadzonych w przedsiębiorstwie specjalnym była linia do rozdrabniania, segregacji i odzysku odpadów komunalnych (rys. 7.19). Badania przeprowadzono dla fabrycznie nowej maszyny w momencie jej instalacji i odbioru technicznego. Następnie badania powtórzono po trzech miesiącach jej eksploatacji w celu uzyskania informacji o jej aktualnym stanie technicznym. Badania przeprowadzono z wykorzystaniem charakterystyk sygnału drganiowego, który jest dobrym nośnikiem informacji o stanie technicznym obiektu. W tabeli 7.3 przedstawiono dane techniczne badanej linii Komet 2800.



Rys. 7.19. Linia do rozdrabniania, segregacji i odzysku odpadów komunalnych

Tabela 7.3. Dane techniczne linii Komet 2800 do rozdrabniania, segregacji i odzysku odpadów komunalnych

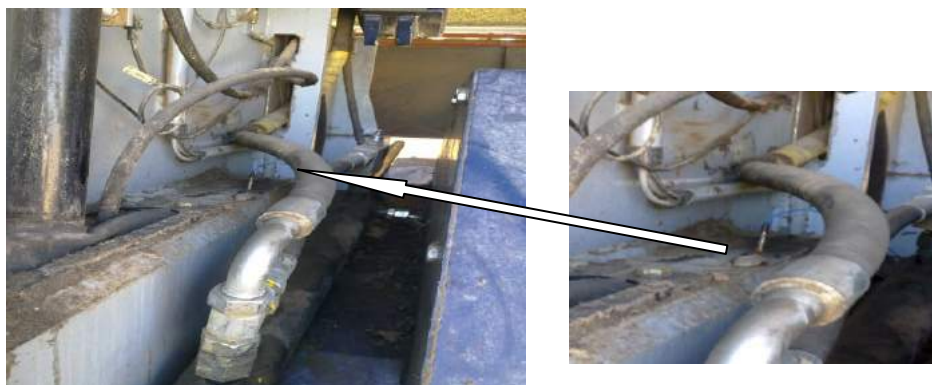
Dane techniczne:	POWER KOMET 2800						
Objętość napełniania	4,5 m ³						
Otwór roboczy	2.825 x 1.265 mm						
Długość rotora	2.805 mm						
Zasięg obrotu rotora	740 mm						
Prędkość obrotowa rotora	264 obr./min						
Moc napędu	2 x 160 kW						
Dociskacz hydrauliczny	11 kW						
Masa	29.000 kg						

Kłapa awaryjna do łatwego usunięcia ciał obcych bez konieczności oprostowania komory ściecia. A: Położenie robocze B: Pozycja odbioru materiałów obcych C: Pozycja serwisowa							
Wymiary w mm:	A	B	C	D	E	F	G
POWER KOMET 2800	6.065	2.940	3.890	2.825	2.700	960	4.560

Celem badań była ocena stanu dynamicznego linii do przerobu odpadów na wysokiej jakości paliwo alternatywne oraz przeprowadzenie wnioskowania diagnostycznego, wskazujące na dominujące procesy zużyciowe zachodzące w trakcie eksploatacji linii.

Pomiarów charakterystyk sygnału drganiowego na stanowisku badawczym dokonano za pomocą czterokanałowego modułu aktywizacji danych VIBDAQ+ oraz jednoosiowego czujnika piezoelektrycznego. Parametry techniczne modułu aktywizacji danych VIBDAQ+ oraz stosowanego czujnika drgań przedstawiono wcześniej w tabelach 7.1 oraz 7.2.

Wyboru punktów pomiarowych dokonano po analizie konstrukcji maszyny, z uwzględnieniem możliwości realizacji badań w określonych punktach pomiarowych. Z uwagi na złożoną konstrukcję linii Komet 2800 w badaniach skupiono się na łożyskach głównych maszyny. Określono dwa punkty pomiarowe, w których dokonano pomiarów dla maszyny nowej oraz po trzech miesiącach eksploatacji. Sposób mocowania czujnika rejestrującego drgania w punktach odbioru sygnału wraz z przewodami sygnałowymi na badanej maszynie przedstawiono na rysunku 7.20.

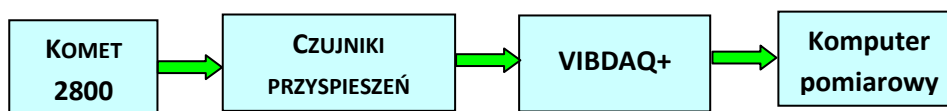


Rys. 7.20. Miejsca mocowania czujnika rejestrującego drgania w punktach odbioru sygnału

Układ pomiarowy składał się z:

- czujnika przyspieszeń ICP model: 352C68,
- przewodu pomiarowego standardowej serii 002,
- modułu akwizycji danych VIBDAQ+,
- komputera wyposażony w oprogramowanie SIG.VIEW do obróbki wyników.

Schemat blokowy układu pomiarowego przedstawiono na rysunku 7.21.



Rys. 7.21. Schemat blokowy układu pomiarowego

Moduł akwizycji danych VIBDAQ+ połączono z komputerem pomiarowym za pomocą portu USB. Komputer pomiarowy wyposażono w specjalistyczne oprogramowanie SIG.VIEW umożliwiające obróbkę cyfrową danych oraz możliwość wyeksportowania danych postaci plików o rozszerzeniu .xls.

Ze względu na sposób realizacji procesu technologicznego badania stanowiskowe przeprowadzono dla wybranych trybów pracy, które należy wstępnie zaprogramować w module sterowania pracą rozrabniarki.

Po przeprowadzeniu analizy dokumentacji technicznej oraz sprawdzeniu działania rozdrabniarki dla wybranych trybów jej pracy do badań diagnostycznych wybrano program 1, odpowiadający najniższej prędkości obrotowej oraz tryb 5, odpowiadający najwyższej prędkości obrotowej bębna rozdrabniającego. Badania przeprowadzono dla maszyny bez obciążenia, jak i z pełnym obciążeniem bębna rozdrabniającego odpady komunalne dla wybranych trybów pracy. Na rysunku 7.22 przedstawiono moduł sterujący z panelem wyboru trybu pracy rozdrabniarki.



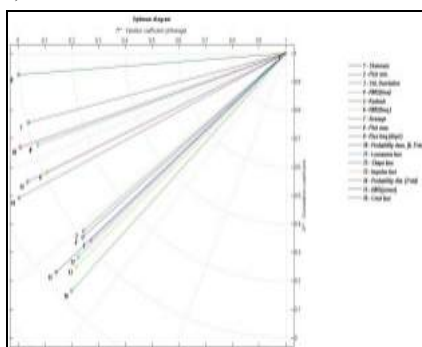
Rys. 7.22. Moduł sterowania rozdrabniarki z opcją wyboru trybu pracy

Wyniki badań otrzymano w postaci przebiegów czasowych amplitudy drgań dla badanej maszyny w wyznaczonych punktach pomiarowych. Dane pomiarowe uporządkowano i zapisano w postaci plików z rozszerzeniem „.xls”, a następnie poddano je analizie w module „Symptomy” w programie SIBI. Poddając analizie wyniki pomiarów dla dwóch punktów pomiarowych w module „Symptomy”, wyznaczono 16 miar własnych opisujących drgania mechaniczne.

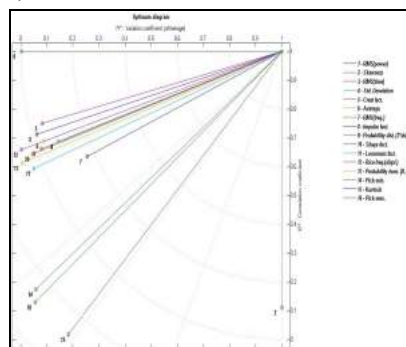
Moduł „Optimum” [32, 33] posłużył do uporządkowania miar własnych od najlepiej do najgorzej opisujących drgania mechaniczne w badanej maszynie. Analiza w tym module pozwoliła również na wybranie pięciu najlepszych miar do dalszej analizy w module selekcji wielowymiarowej „SVD” [33]. Poniższe rysunki przedstawiają wykresy optimum dla poszczególnych punktów pomiarowych (rys. 7.23-7.29):

– badania II – program I – bez obciążenia

a)



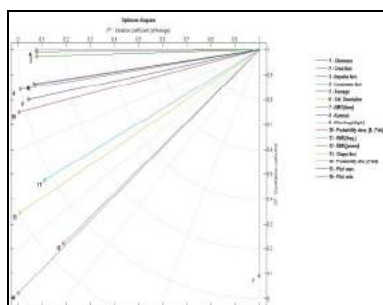
b)



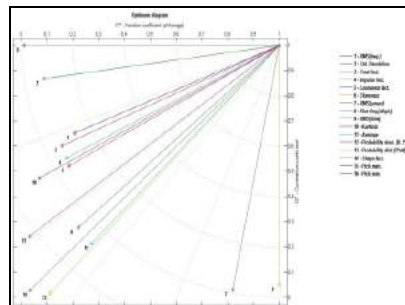
Rys. 7.23. Wykresy wrażliwości symptomów w Optimum dla punktów: a) punkt I, b) punkt II

– badania II – program I – z obciążeniem

a)



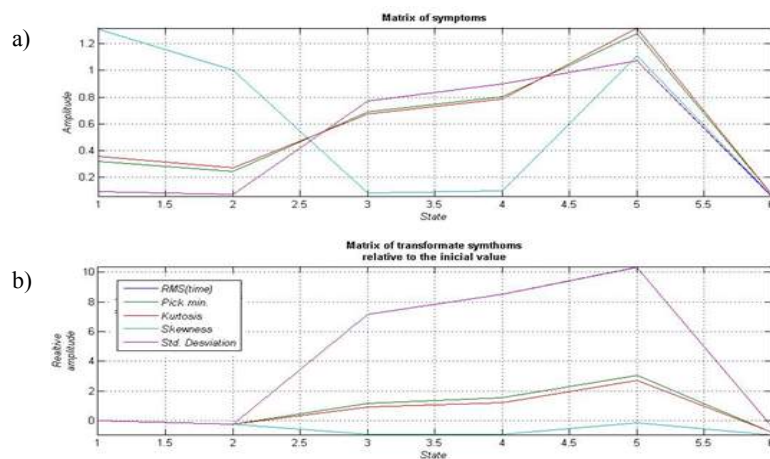
b)



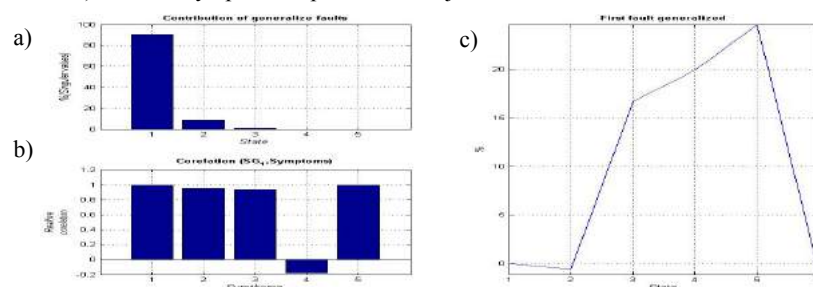
Rys. 7.24. Wykresy wrażliwości symptomów w Optimum dla punktów: a) punkt I, b) punkt II

Wyniki analizy w module „Optimum” wyeksportowano do pliku Excel, gdzie po wybraniu najlepszych pięciu miar własnych dokonano analizy wielowymiarowej w kolejnym module – „SVD”.

– badania II – program I – bez obciążenia – punkt I

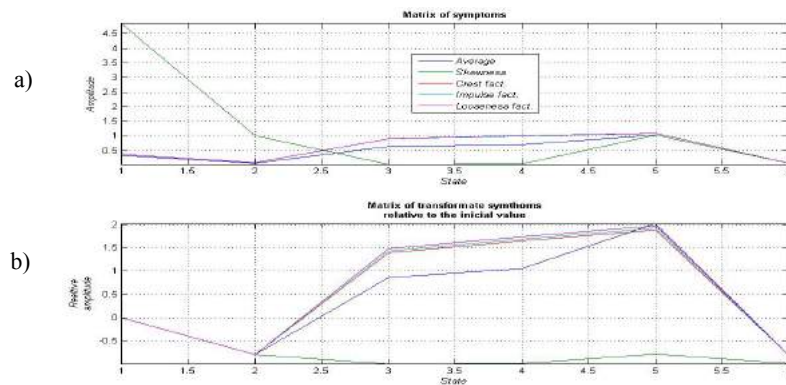


Rys. 7.25. Wartości symptomów w SVD: a) graficzna prezentacja wartości symptomów, b) wartości symptomów po normalizacji i centrowaniu

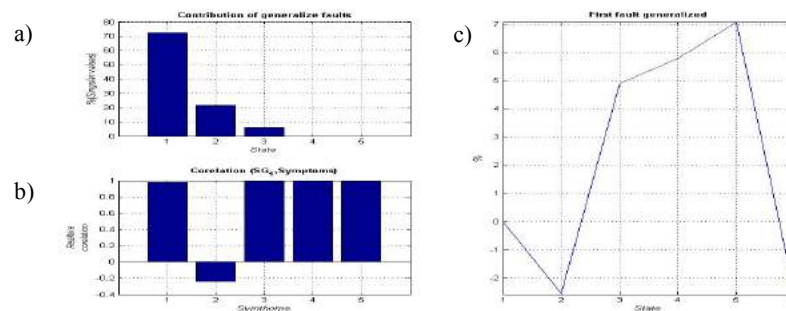


Rys. 7.26. Udział poszczególnych symptomów w opisie stanu obiektu badań: a) procentowy udział rozwoju uszkodzeń w obiekcie, b) analiza korelacji symptomów względem uszkodzenia głównego, c) udział symptomów w uszkodzeniu głównym

– badania II – program I – z obciążeniem – punkt I



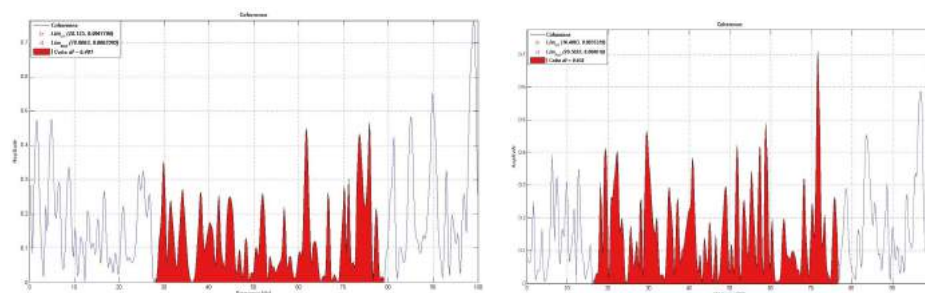
Rys. 7.27. Wartości symptomów w SVD: a) graficzna prezentacja wartości symptomów, b) wartości symptomów po normalizacji i centrowaniu



Rys. 7.28. Udział poszczególnych symptomów w opisie stanu obiektu badań: a) procentowy udział rozwoju uszkodzeń w obiekcie, b) analiza korelacji poszczególnych symptomów względem uszkodzenia głównego, c) udział symptomów w uszkodzeniu

Analiza w module „Miary złożone”

– badania II – program I – bez obciążenia - badania II – program I – z obciążeniem



Rys. 7.29. Wartości funkcji koherencji pomiędzy punktem I i II

W celu stworzenia mapy stanów dynamicznych maszyny należy dokonać szeregu badań ujmujących czas jej eksploatacji. Podejście takie umożliwi uzyskanie systemu

monitorującego stan maszyny, co pozwoli na zwiększenie jej niezawodności w aspekcie realizacji procesu produkcyjnego. Przeprowadzone badania wskazują na konieczność dalszej weryfikacji stanu łożysk głównych maszyny w procesie eksploatacji, a także zweryfikowanie przydatności wielu dostępnych miar procesu drganiowego.

7.3. BADANIA STANU SIŁOWNI WIATROWEJ

Badania przeprowadzono w celu oszacowania poziomu hałasu i drgań emitowanych przez siłownię wiatrową. Celem realizacji badań była ocena stanu propagacji drgań przenoszonych w gruncie, a generowanych przez siłownię wiatrową oraz pomiary hałasu w odległości 120 metrów od masztu siłowni wiatrowej – zgodnie z wymogami Polskiej Normy.

Pomiarów sygnału drganiowego na stanowisku dokonano za pomocą jednoosiowego czujnika piezoelektrycznego. Czujnik ten umieszczono na badanym obiekcie i połączono za pomocą ekranowanych przewodów z czterokanałowym modulem aktywizacji danych. Przyrządem pomiarowym był **analizator dźwięku** i drgań klasy 1 – Svantek SVAN 912 AE, który jest szeroko stosowany do pomiarów akustycznych i drganiowych. Umożliwia on analizę częstotliwościową w czasie rzeczywistym, pomiary zagrożeń w miejscu pracy, monitorowanie hałasu w środowisku, analizę wpływu drgań na człowieka oraz środowisko naturalne. Funkcje realizowane przez SVAN 912 AE to:

- **Miernik poziomu dźwięku:** pomiar L_{eq} , L_{max} , L_{min} , L_{Peak} , Spl , SEL , wbudowane filtry korekcyjne A, C, G, Lin (A, C, Lin równoległe), stałe czasowe: Slow, Fast, Impulse oraz możliwość pomiaru infra- i ultradźwięków.
- **Miernik vibracji:** ogólne pomiary drgań (przyspieszenie, prędkość i przemieszczenie), pomiar drgań miejscowych i ogólnych wbudowane filtry korekcyjne WB_{xy} , WB_z , WBC , $H-A$, możliwość jednoczesnego pomiaru drgań w trzech osiach (za pomocą przystawki czterokanałowej SV 06A).
- **Analizator widma hałasu i drgań:** analiza w pasmach oktaowych, analiza w pasmach tercjowych, analiza wąskopasmowa (FFT), jednoczesna analiza w czterech kanałach (za pomocą SV 06A lub SV 08A).

Na rysunku 7.30 przedstawiono analizator dźwięku i drgań Svantek SVAN 912AE, a w tabeli 7.4 parametry techniczne wykorzystanego analizatora.



Rys. 7.30. Przenośny analizator drgań i hałasu Svantek SVAN 912AE

Tablica 7.4. Przenośny analizator dźwięku i drgań SVAN 912A (AE)

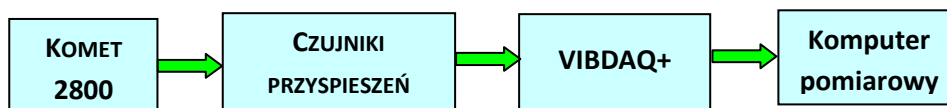
Dane techniczne wejścia mikrofonowego:	
Gniazdo	7-kontaktowe gniazdo LEMO ENG.1B.307 (wtyk FGG.0B.307) lub gniazdo BNC na kablu SC 08A
Impedancja	1 M Ω /40 pF
Zakresy pomiarowe	podzakresy: 3,16 mV, 31,6 mV, 316 mV, 3,16 V (krok 20 dB).
Napięcie wejściowe	3,16 mVRMS÷10,2 VRMS (10 dB÷140,2 dB; odniesienie: 1 mVRMS)
Zasilanie przedwzmacniacza mikrofonowego	28 V
Filtry górnoprzepustowe:	
HP (tryb analizatora)	1,0 Hz /-0,1 dB (0,165 Hz/-3,0 dB) z nachyleniem 12 dB/oktawę
Lin (tryb miernika)	14,5 Hz /-0,1 dB (5,00 Hz/-3,0 dB) z nachyleniem 18 dB/oktawę
Lin (tryb analizatora)	30,0 Hz /-0,1 dB (5,00 Hz/-3,0 dB) z nachyleniem 12 dB/oktawę
A	Klasa 1 według normy IEC 651
C	Klasa 1 według normy IEC 651

Otrzymane wyniki poddano obróbce cyfrowej w oprogramowaniu SIG.VIEW umożliwiającym zapis danych w postaci plików o rozszerzeniu .xls.

Wyboru punktów pomiarowych dokonano po analizie konstrukcji maszyny wraz z uwzględnieniem możliwości realizacji badań w określonych punktach pomiarowych. Układ pomiarowy składał się z:

- czujnika przyspieszeń ICP model: 352C68,
- przewodu pomiarowego standardowej serii 002,
- modułu akwizycji danych VIBDAQ+,
- komputera wyposażonego w oprogramowanie do obróbki cyfrowej wyników.

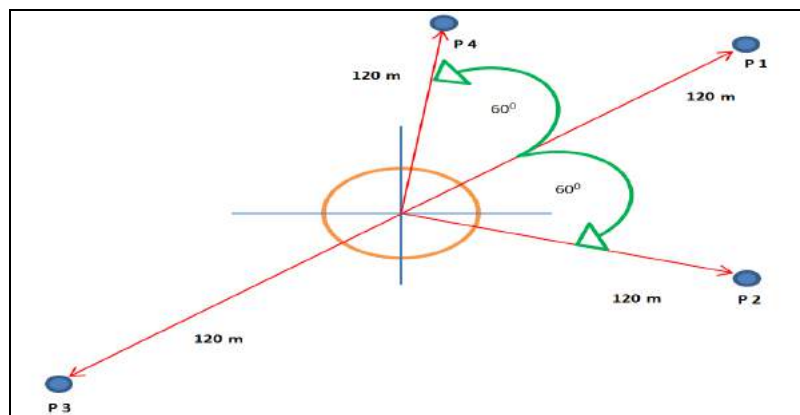
Schemat blokowy układu pomiarowego przedstawiono na rysunku 7.31.



Rys. 7.31. Schemat blokowy układu pomiarowego

Moduł akwizycji danych połączono z komputerem pomiarowym za pomocą portu USB. Komputer pomiarowy wyposażono w specjalistyczne oprogramowanie umożliwiające obróbkę cyfrową danych oraz możliwość wyeksportowania danych postaci plików o rozszerzeniu „xls”. Z uwagi na dużą ilość wyników badań, w pracy przedstawiono wybrane wyniki.

Pomiary hałasu generowane przez siłownię wiatrową przeprowadzono według oznaczenia punktów wyznaczonych zgodnie z PN, które przedstawiono zostały na rysunku 7.32. W trakcie pomiarów wyznaczono prędkość wiatru równą 5,9 m/s, który wiał w kierunku 12⁰ Pn-W. Wyniki pomiarów dla poszczególnych punktów dla skali A zestawiono w tabelach wyników poniżej.



Rys. 7.32. Rozmieszczenie punktów pomiarowych wokół siłowni wiatrowej

Tabela 7.5. Wyniki pomiarów dla punktu numer 1 w dB

Pomiar										Wartość średnia
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
87.0	87.0	83.0	79.1	81.0	79.8	79.6	79.5	79.3	82.0	81,73

Tabela 7.6. Wyniki pomiarów dla punktu numer 2 w dB

Pomiar										Wartość średnia
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
105.0	105.0	104.0	103.5	103.0	101.5	101.0	98.0	97.5	97.0	101,55

Tabela 7.7. Wyniki pomiarów dla punktu numer 3 w dB

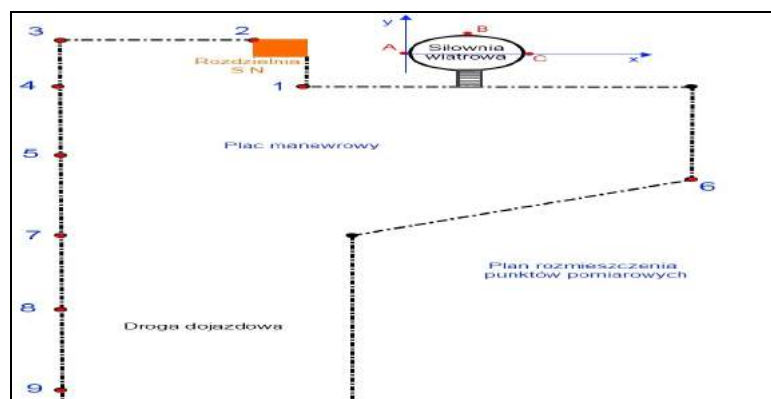
Pomiar										Wartość średnia
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
99.0	99.0	98.5	98.0	92.0	87.0	90.0	89.0	91.0	85.0	92,85

Tabela 7.8. Wyniki pomiarów dla punktu numer 4 w dB

Pomiar										Wartość średnia
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
102.0	102.0	104.0	103.5	104.0	101.5	101.0	100.0	99.5	97.0	101,45

Pomiary drgań przenośnym analizatorem SVAN 912 AE

Pomiarów drgań generowanych przez siłownię wiatrową dokonano w wybranych punktach pomiarowych, których rozmieszczenie przedstawiono na rysunku 7.33.



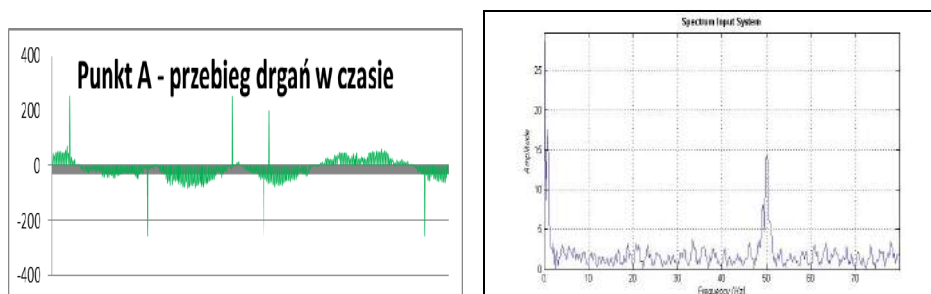
Rys. 7.33. Plan rozmieszczenia punktów pomiarowych

Punkty A,B,C wyznaczono na podstawie fundamentowej wieży siłowni wiatrowej, pozostałe punkty rozmieszczono na działce, określając odległości względem punktu A.

Ze względu na dużą liczbę uzyskanych wyników omawiane one będą kolejno dla poszczególnych punktów odbioru sygnału drganiowego.

Prezentacji wyników badań dla wybranych punktów pomiarowych dokonano w formie graficznej przebiegów drgań. Wyniki przebiegów czasowych i widma drgań przedstawiono dla wybranych punktów pomiarowych, zgodnie ze schematem ich rozmieszczenia.

Przebieg czasowy sygnału drganiowego i jego widmo dla punktu A przedstawiono na rysunku 7.34.



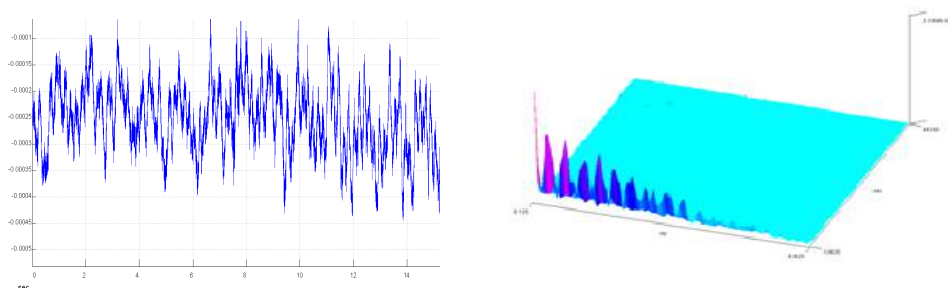
Rys. 7.34. Przebieg czasowy sygnału drganiowego i jego widmo dla sygnału punktu A

Pomiary drgań modulem akwizycji danych VIBDAQ+

Moduł akwizycji danych VIBDAQ+ połączono z komputerem pomiarowym za pomocą portu USB. Komputer pomiarowy wyposażono w specjalistyczne oprogramowanie SIG.VIEW umożliwiające obróbkę cyfrową danych. Prezentacja wyników badań obejmuje przedstawienie graficznej interpretacji uzyskanych przebiegów czasowych drgań oraz wykresu kaskadowego dla widma drgań. Ponadto w tabeli 7.9 przedstawiono wartości wybranych miar drganiowych. Analizie podano wartości odchylenia standardowego oraz wartości skutecznej sygnału procesu drganiowego. Wybrane miary są jednymi z najczęściej wykorzystywanych do opisu i szybkiej oceny poziomu propagacji drgań w diagnostyce drganiowej. Prezentacji wyników badań dla wybranych punktów pomia-

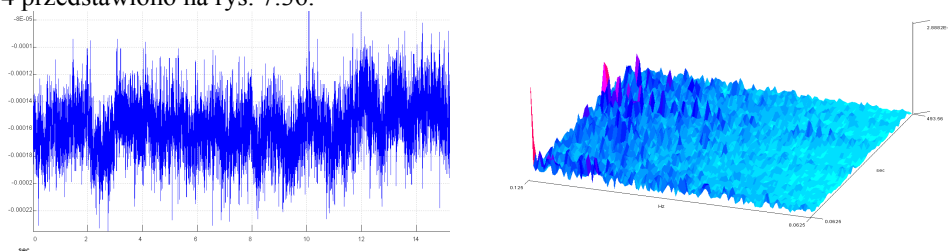
rowych dokonano poprzez przedstawienie graficznej interpretacji przebiegów drgań oraz prezentacji graficznej widma sygnałów drganiowych w postaci wykresu kaskadowego uwzględniającego czas, częstotliwość oraz amplitudę częstotliwości.

Przebieg czasowy amplitudy drgań i widmo sygnału drganiowego dla punktu A przedstawiono na rysunku 7.35.



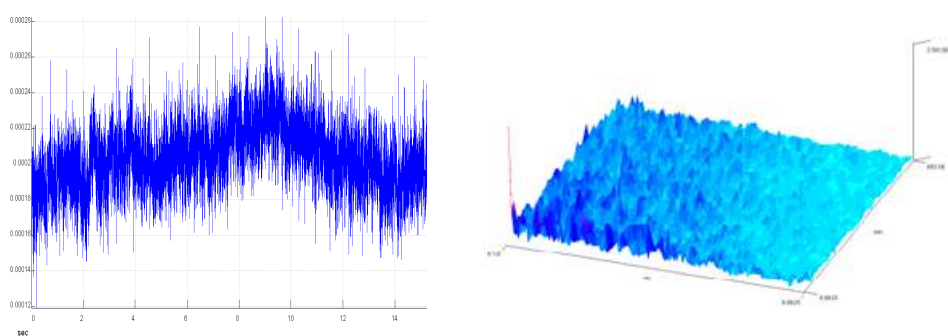
Rys. 7.35. Przebieg czasowy i widmo sygnału drganiowego zarejestrowane w punkcie A

Przebieg czasowy sygnału drganiowego i jego widmo dla punktu pomiarowego nr 4 przedstawiono na rys. 7.36.



Rys. 7.36. Przebieg czasowy i widmo sygnału drganiowego zarejestrowany w punkcie 4

Przebieg czasowy sygnału drganiowego i jego widmo dla punktu pomiarowego nr 9 przedstawiono na rys. 7.37.



Rys. 7.37. Przebieg czasowy i jego widmo dla sygnału drganiowego w punkcie 9

W tabeli 7.9 przedstawiono wartości odchylenia standardowego oraz wartości skutecznej poziomu amplitudy drgań dla wyników badań w poszczególnych punktach pomiarowych.

Tabela 7.9. Wartości wybranych miar drganiowych.

Punkt pomiarowy	Odchylenie standardowe	Wartość skuteczna
A	0,0000654	0,0002623
B	0,0001632	0,0001749
C	0,0000553	0,0005587
1	0,0000847	0,0008402
2	0,0000492	0,0005361
3	0,0000481	0,0003078
4	0,0000192	0,0001593
5	0,0000294	0,0002326
6	0,0000311	0,0004621
7	0,0000263	0,0003946
8	0,0000307	0,0001741
9	0,0000181	0,0002039

Przeprowadzone badania miały charakter rozpoznawczy, w celu zwiększenia trafności diagnozy należałoby dokonać pomiarów w kolejnych przedziałach czasowych. Pomiary hałasu emitowane przez siłownię wiatrową pozwoliły wyznaczyć wartość natężenia dźwięku przed czołem łopat w punkcie 3 o wartości średniej 92,85 dB, za siłownią w punkcie 1 o wartości średniej 81,73 dB oraz w punkcie 2 – 101,55 dB i w punkcie 4 – 101,45 dB. Pomiarów dokonano dla prędkości wiatru równej 5,9 m/s.

Na podstawie otrzymanych wyników drgań można stwierdzić, iż częstotliwości charakterystyczne generowane przez siłownię wiatrową to 1 Hz oraz 50 Hz, które w trakcie badań w różnych odległościach od wieży siłowni były rejestrowane w glebie, nawet dla odległości 150 metrów od wieży.

Istnieje potrzeba weryfikacji propagacji drgań dla badanego gruntu, gdyż dla punktów znajdujących się na jednakowym podłożu korelacja ta jest zachowana i wskazując na tłumienie drgań, natomiast zmiana podłoża i własności gruntu nie dają tak jednoznacznego wyniku.

7.4. BADANIA SYSTEMÓW WENTYLACYJNYCH

Badania efektywności opracowanych procedur mierzenia i wnioskowania o zmianę stanu degradacji wykorzystano także w zrealizowanych badaniach przemysłowych instalacji wentylacyjnych. W tym zakresie wykonano praktyczne badania i pomiary skuteczności tłumienia hałasu w kanale wentylacyjnym dla zainstalowanych w nim tłumików.

Na specjalnie wykonanym stanowisku mieszczącym się w pomieszczeniu w kanale wentylacyjnym montowano kolejno badane tłumiki. W kanale wentylacyjnym, przed tłumikiem, zainstalowano głośnik emitujący hałas w kolejnych tłumikach o określonej częstotliwości i natężeniu. Za pomocą aparatu firmy SVANTEK typu SVAN 912AE wraz z mikrofonem badano natężenie hałasu w kanale za tłumikiem.

Zainstalowano także aparaturę umożliwiającą pomiar drgań firmy EC ELECTRONICS typu VIBDAQ 4+ wraz z czujnikiem jednoosiowym, piezoelektrycznym firmy PCB PIEZOTRONICS, typu M352C68. Do analizy i wizualizacji wyników pomiarowych zastosowano oprogramowanie SIG.VIEW firmy EC ELECTRONICS.

W trakcie badań, oprócz hałasu, jednocześnie mierzono spadki ciśnienia statycznego i całkowitego spowodowane przez badany tłumik przy zmiennym, programowanym wydatku powietrza i prędkości strumieni w kanale wentylacyjnym.

Na podstawie wykonanych pomiarów, zebranego materiału i uzyskanych informacji o pracy instalacji wentylacyjnej z zamontowanymi tłumikami przeprowadzono analizę wyników pomiarowych. Analizy zawierają rozkład prędkości miejscowych powietrza w rozpatrywanych przekrojach poprzecznych kanału, ocenę skuteczności tłumienia hałasu w tłumikach i rozkład poziomu drgań dla osi X-Y układu pomiarowego.

Pomiary objętościowe strumieni powietrza przepływającego przez przekroje kontrolne kanału wentylacyjnego z zamontowanym tłumikiem wykonano zgodnie z PN-81/M-42366 oraz PN-81/M-42367.

Dokonywano praktycznie pomiarów prędkości miejscowych w kanałach przepływowych w określonych punktach oraz wyznaczano wartość średnią prędkości strumienia. Obliczano każdorazowo strumienie objętości powietrza przepływające przez kanały i tak prowadzono regulację, aby uzyskać wymagane wydatki objętościowe powietrza. Jednocześnie mierzono parametry strugi powietrza, tj. ciśnienie barometryczne, temperaturę i wilgotność.

Pomiary tłumienia akustycznego przeprowadzono zgodnie z normą PN-81/N-01306, PN-EN ISO 11820:2000. Dokonywano pomiarów poziomów hałasu przed i za tłumikiem w określonych wcześniej punktach. Na podstawie tych pomiarów wyznaczono charakterystyki tłumienia akustycznego badanych tłumików.

Pomiary drgań mechanicznych przeprowadzono zgodnie z PN-N-01358:1990. Dokonywano pomiarów drgań mechanicznych w określonych punktach, wyznaczono miary sygnału drganiowego: odchylenie standardowe, RMS – wartość skuteczna drgań, na podstawie których wyznaczono procentowe wartości tłumienia. Dzięki zastosowaniu oprogramowania uzyskano graficzną interpretację wartości tłumienia dla wybranych oktafów w osiach X i Y. Wybrane wyniki pomiarów przedstawiono na schematach, rysunkach i w tabelach poniżej.

A. Badany tłumik o wymiarach 630 x 315 mm, długości 500 mm z wkładem 3 x IBB 50 o grubości 100 mm

Tabela 7.10. Parametry pracy i warunki badania tłumika

Parametry pracy i warunki badań tłumika					
Strumień objętości	Prędkość średnia	Temperatura	Wilgotność	Spadek ciśnienia	
$\dot{V}$ [m ³ /h]	c_{sr} [m/s]	[°C]	[%]	ΔP_s [Pa]	ΔP_c [Pa]
1586	2,22	18,4	58	2,41	2,41



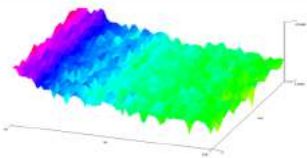
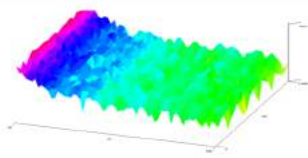
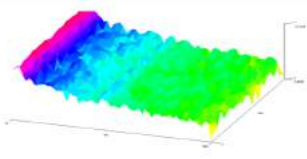
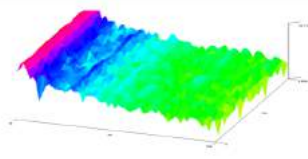
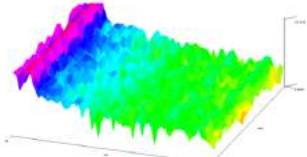
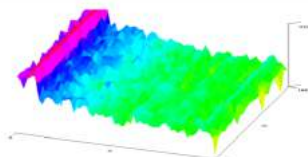
Rys. 7.38. Badany tłumik

Wyniki badań skuteczności tłumienia akustycznego tłumika dla trzech zadanych strumieni objętości przepływu powietrza przedstawiono w tabeli 5.11.

Tabela 7.11. Wyniki badań skuteczności tłumika dla trzech objętości

Strumień objętości	Oktawa [Hz]	Pomiar przed tłumikiem [dB]	Pomiar za tłumikiem [dB]	Wartość tłumienia [Δ dB]
1500	125	78,5	72,2	6,3
	250	77,8	73,2	4,6
	500	93,1	82,6	10,5
	1000	96,2	84,5	11,7
	2000	103,8	82,3	21,5
	4000	108,6	89,2	19,4
	8000	94,8	87,3	7,5
3000	125	79,6	77,7	1,9
	250	82,7	81,9	0,8
	500	94,2	83,1	11,1
	1000	90,7	84,1	6,6
	2000	103,1	78,9	24,2
	4000	107,7	88,4	19,3
	8000	95,4	89,6	5,8
4500	125	84,3	87,6	-3,3
	250	86,3	87,6	-1,3
	500	93,7	87,4	6,3
	1000	98,1	88,7	9,4
	2000	102,9	95,4	7,5
	4000	109,3	91,3	18,0
	8000	99,3	81,7	17,6

Tabela 7.12. Wyniki analizy tłumienia drgań w wybranych oktawach pracy tłumika dla zadanej wartości strumienia objętości równej 1500 m³/h

Oktawa [Hz]	Oś X	Oś Y
125		
250		
500		

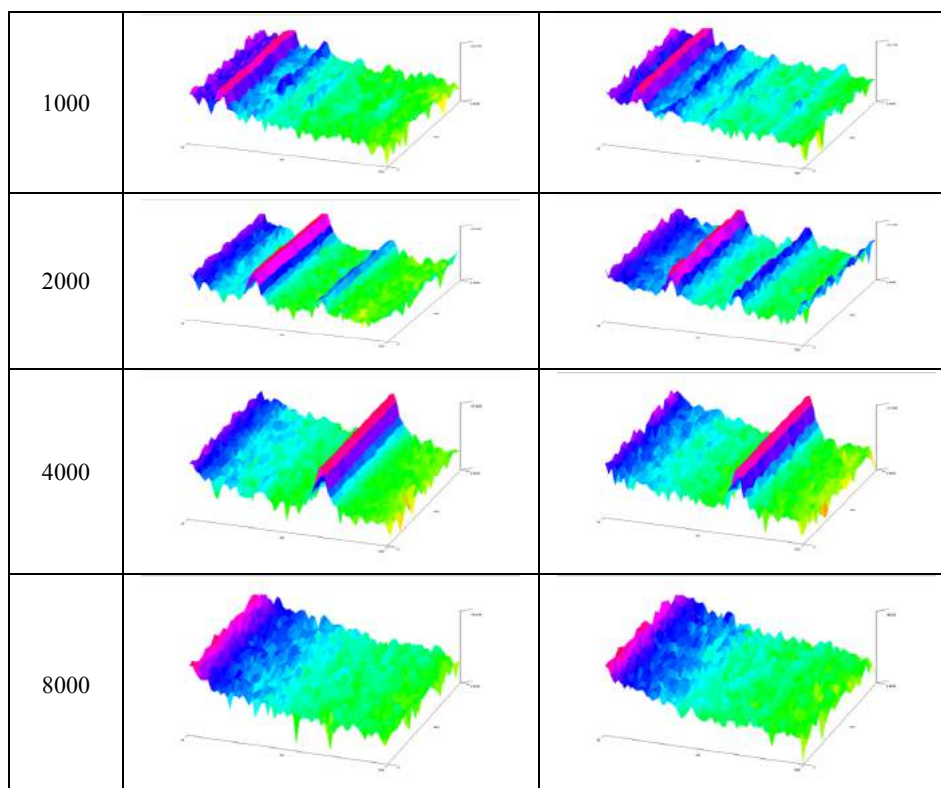
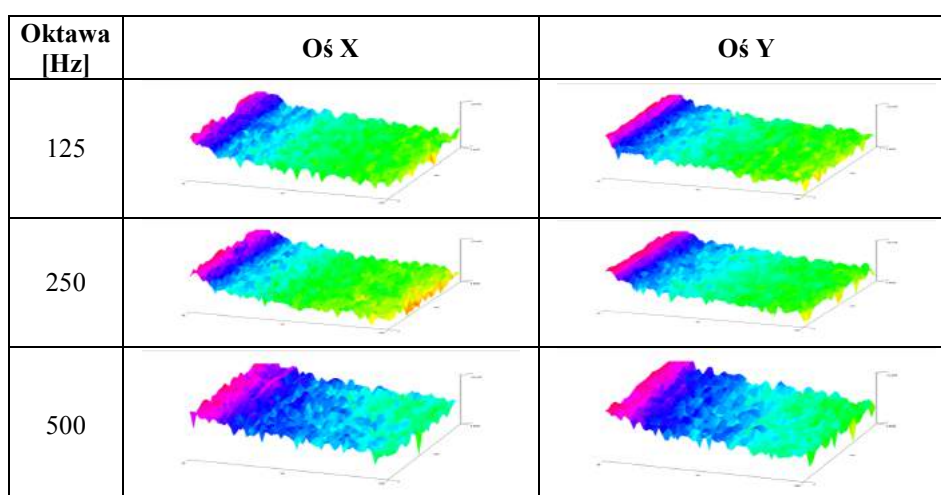
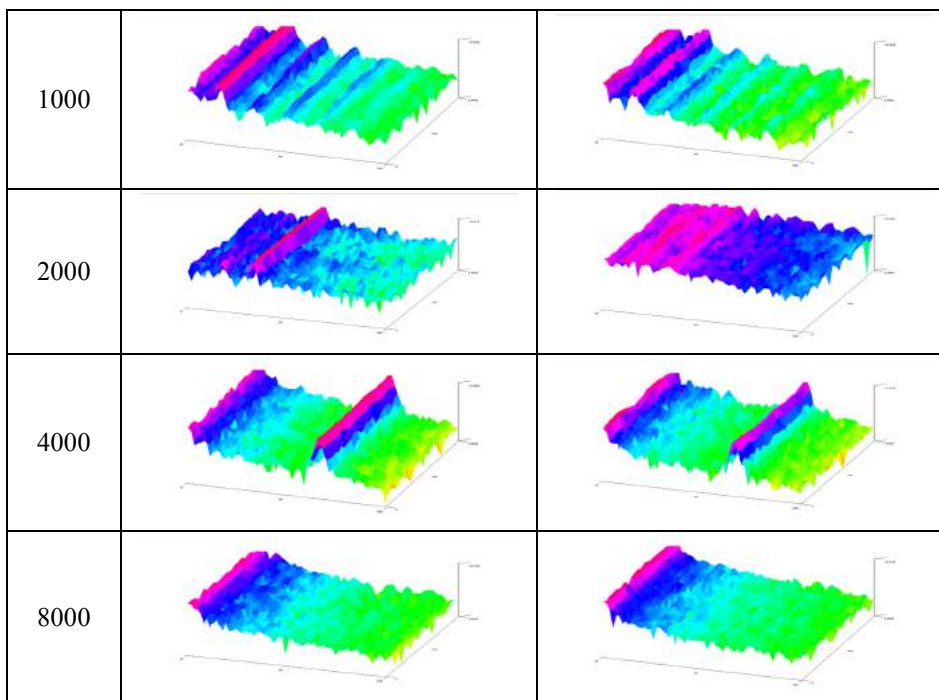


Tabela 7.13. Wyniki analizy tłumienia drgań w wybranych oktawach pracy tłumika dla zadanej wartości strumienia objętości równej 3000 m³/h





Przeprowadzone badania miały charakter rozpoznawczy. Uzyskane wyniki badań wskazują na zależność rodzaju konstrukcji tłumików oraz rodzaju materiału tłumiącego zastosowanego do budowy cel w tłumikach. Na podstawie otrzymanych wyników drgań można wskazać obszar efektywnego zastosowania tłumików akustycznych w układach wentylacji i klimatyzacji. Istnieje potrzeba dalszej weryfikacji zmian stopnia tłumienia dla wprowadzonych zaleceń dotyczących projektowania systemów wentylacji.

7.5. BADANIA DEGRADACJI SKRZYNI PRZEKŁADNIOWEJ

Analiza modalna jest metodą badania własności dynamicznych konstrukcji i może być zastosowana do przeprowadzenia badań diagnostycznych złożonych obiektów technicznych. W wyniku przeprowadzenia analizy modalnej otrzymuje się model modalny stanowiący uporządkowany zbiór częstości własnych, odpowiadających im współczynników tłumienia oraz postaci drgań własnych. Ideą tej metody jest śledzenie zmian parametrów modelu modalnego, powstających na skutek rozregulowań, zużycia, uszkodzeń lub awarii, na podstawie bieżących obserwacji obiektu.

Na podstawie znajomości modelu modalnego można przewidzieć reakcje obiektu na dowolne zaburzenie zarówno w dziedzinie czasu, jak i częstotliwości. Jest ona realizowana jako teoretyczna, eksperymentalna lub eksploatacyjna analiza modalna (często nazywana zamiennie operacyjną analizą modalną).

Do identyfikacji obiektów o dużych rozmiarach przestrzennych i dużych masach stosowana jest metoda eksploatacyjnej analizy modalnej, oparta na pomiarach odpowiedzi na wymuszenia eksploatacyjne. Eksploatacyjna analiza modalna jest techniką bazującą na pomiarze odpowiedzi układu na nieznane wymuszenia eksploatacyjne, będące

wynikiem działania sił procesu technologicznego bądź wymuszeń kinematycznych oraz procesu destrukcji elementów maszyny.

W trakcie badań należy określić punkty pomiarowe oraz punkty referencyjne – stałe w trakcie pomiarów. Zaletą metody w zastosowaniu do identyfikacji charakterystyk dynamicznych obiektów jest zachowanie warunków brzegowych oraz wymuszeń charakterystycznych przy eksploatacji tych obiektów. W metodzie tej, wykorzystując zmierzone sygnały na wyjściu z obiektu, uzyskane w trakcie pomiarów w wybranych punktach referencyjnych i pomiarowych dla nieznanymi wymuszeń układu, dokonuje się estymacji parametrów modalnych. W wyniku estymacji zidentyfikowane zostają bieguny układu oraz częstości własne, a następnie na ich podstawie estymowane są postacie drgań własnych.

W eksploatacyjnej analizie modalnej nie stosuje się dodatkowych wzbudników drgań (młotków modalnych), a pomiarów dokonuje się dla obiektu w trakcie jego eksploatacji. Dzięki takiemu podejściu uzyskuje się dane pomiarowe dla normalnych wymuszeń eksploatacyjnych (rzeczywistej pracy obiektu) w wybranych punktach pomiarowych względem punktu referencyjnego. Istotnym w tej metodzie staje się wybór liczby i miejsca punktów referencyjnych. Uzyskane dane poddaje się dalszej estymacji różnymi metodami obliczeniowymi.

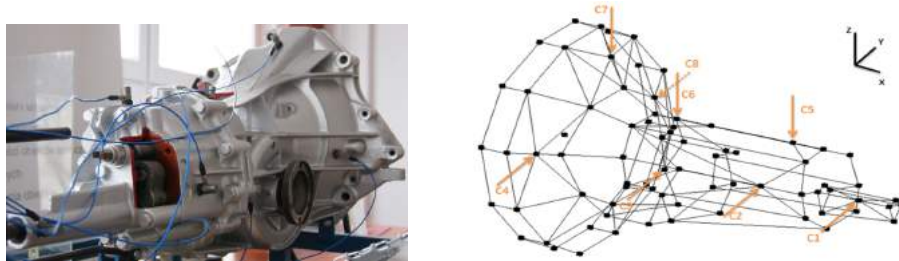
Obiektem badań w eksperymencie modalnym była czterobiegowa skrzynia biegów samochodu osobowego, którą przedstawiono na rysunku 7.39.



Rys. 7.39. Badana skrzynka przekładniowa

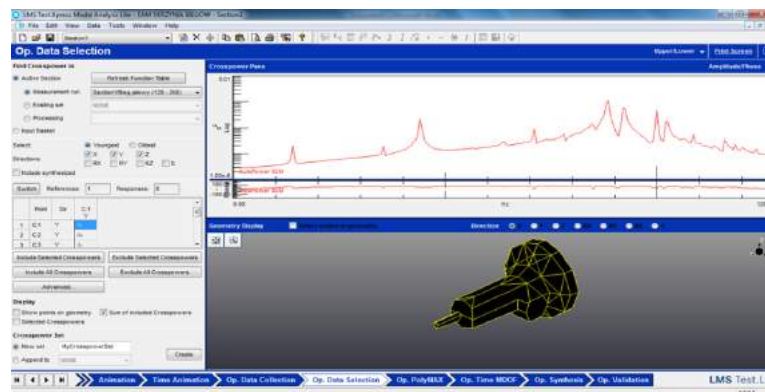
Celem realizacji badań była ocena stanu dynamicznego skrzynki przekładniowej oraz wyznaczenie parametrów modelu modalnego z zastosowaniem systemu LMS SCADAS Recorder oraz przeprowadzenie wnioskowania diagnostycznego wskazujące na procesy zużyciowe zachodzące w trakcie eksploatacji.

Na pierwszym etapie testów modalnych dokonano możliwie dużej liczby pomiarów na rzeczywistym obiekcie, aby w dalszej kolejności można było dane te wprowadzić do modułu „Navigator”. Do analizy zarejestrowanych przebiegów czasowych posłużyło oprogramowanie Modal Analysis Lite. Na rysunku 7.40 przedstawiono obiekt badań wraz z rozmieszczeniem punktów odbioru sygnału drganiowego.



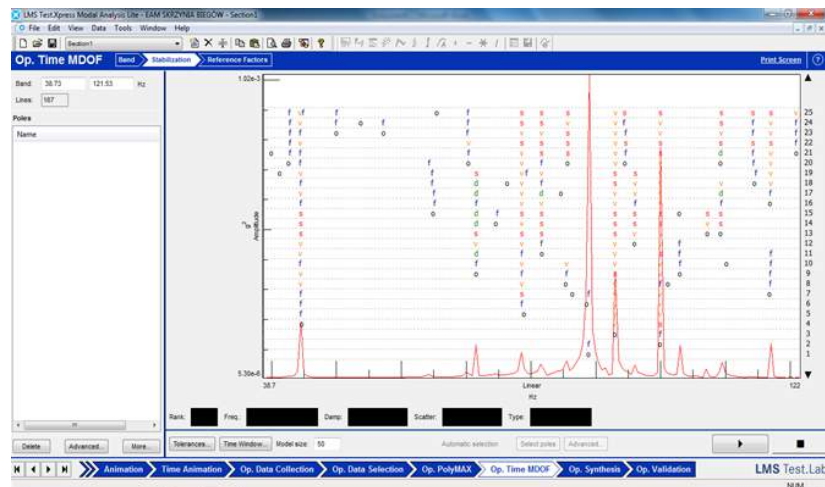
Rys. 7.40. Obiekt badań wraz z rozmieszczeniem punktów odbioru sygnału

Pomiary zrealizowano przy prędkości $930 \text{ [obr} \cdot \text{min}^{-1}]$ na przełożeniu biegu jałowego. Rejestrowano 90 sekundowe odcinki sygnałów przebiegów czasowych drgań, próbkowane z częstotliwością 128 Hz. W eksploatacyjnej analizie modalnej niezbędną czynnością, którą należy wykonać jest przekształcenie zarejestrowanych przebiegów czasowych na przebiegi typu cross.power. Następnym krokiem było utworzenie modelu geometrycznego rzeczywistego obiektu w module Modal Analysis Life „Geometry”. Model geometryczny umożliwia wizualizację postaci drgań dla zidentyfikowanych częstości własnych układu. Moduł „Geometry” wraz z modelem przekładni (rys. 7.41).



Rys. 7.41. Moduł „Geometry”

W następnej kolejności system tworzy odpowiednią macierz obserwacji w kroku „Op. Data Selection” albo „Modal Data Selection” w zależności od rodzaju typu analizy, jaką użytkownik ma zamiar przeprowadzić. Ze stworzonej macierzy obserwacji użytkownik jest w stanie utworzyć diagram stabilizacji. Diagram stabilizacji przedstawia oznaczenia zidentyfikowanych biegunów dla kolejnych modeli o odpowiednio rosnącym rzędzie. Z diagramu stabilizacyjnego wybiera się kilka postaci drgań własnych, które po estymacji i odpowiedniej kalkulacji umożliwiają ich wizualizację na modelu geometrycznym. W przypadku estymacji danych w dziedzinie czasu wykorzystuje się krok „Time MDOF”. Moduł Op. Time MDOF wykorzystuje najbardziej uniwersalną metodę estymacji parametrów, jaką jest metoda BR/LSFD. Metoda ta umożliwia uwzględnienie sprzężeń pomiędzy poszczególnymi postaciami drgań własnych. Okno modułu „Op. Time MDOF” przedstawiające diagram stabilizacji przedstawiono na rysunku 7.42.



Rys. 7.42. Moduł „Op. Time MDOF” oraz przykładowy diagram stabilizacji

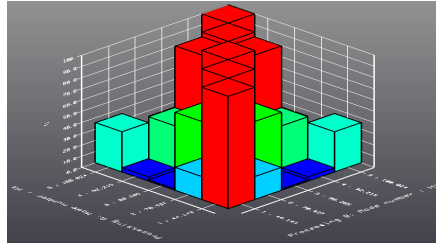
Estymacja parametrów modelu modalnego wymaga zdefiniowania zakresu badanej częstotliwości drgań badanego obiektu. Do estymacji częstości własnych, wartości współczynników tłumienia i postaci drgań stosowana jest metoda BR (Balanced Realisation).

Bieguny estymowane dla bardzo niskich rzędów mogą być obarczone bardzo dużym błędem obliczeniowym tak, że wartości tłumienia mogą osiągać błąd obliczeniowy rzędu 200%. Estymacja biegunów wysokich rzędów pociąga za sobą niebezpieczeństwo podziału jednego bieguna rzeczywistego na dwa lub kilka biegunów, które stają się biegunami urojonymi. Dobrze wybrany biegun modalny powinien być silnym biegunem tak, aby energia bieguna podczas jego redukcji była wysoka.

Z diagramu stabilizacji należy wybrać do analizy bieguny dla określonych częstości drgań własnych pokrywające się z charakterystyką widmową na diagramie. Jest również możliwość zwiększenia obliczeniowych rzędów modelu modalnego, lecz nie jest to wskazane działanie, gdyż kolejne wyższe rzędy w modelu tworzą tzw. obliczeniowe drgania własne, które nie występują w obiekcie rzeczywistym.

Walidację otrzymanych wyników oferuje moduł Op. Synthesis, w którym to następuje porównanie wielkości przebiegów czasowych typu cross.power wyliczonych z oryginalnych przebiegów czasowych z tymi, na podstawie których wyestymowano poszczególne postaci drgań własnych. Im mniejszy błąd i wyższa korelacja pomiędzy poszczególnymi punktami, tym większa pewność, że postaci drgań własnych są prawidłowe.

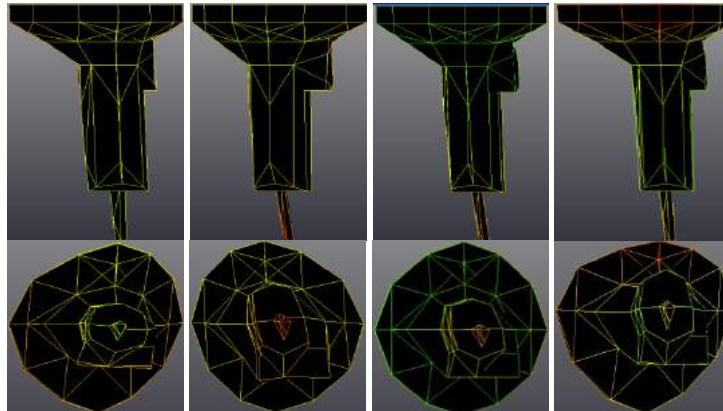
Procedura stosowana w module Op.Synthesis jest pierwszym krokiem do modułu Op.Validation, w którym sprawdza się za pomocą narzędzia Auto – MAC, czy wszystkie postaci drgań własnych zostały poprawnie wyznaczone. Najbardziej oczekiwanym i optymalnym wynikiem uzyskanym z analizy Auto – MAC jest to, aby wartości kryteriów odpowiadające odpowiednim postaciom drgań własnych wynosiły 100% po przekątnej, natomiast idealnym przypadkiem, byłoby gdyby pozostałe pola poza przekątnymi wynosiły 0%. Wyniki w takiej postaci dają wyraźną informację, że zidentyfikowane postaci drgań własnych są od siebie niezależne (rys. 7.43).



Auto Modal Assurance Criterion (%)							
	Mode No.	Frequency	Mode 1 44.143	Mode 2 70.937	Mode 3 88.285	Mode 4 92.215	Mode 5 100.024
1	Mode 1	44.143	100.000	20.476	1.196	3.760	35.838
2	Mode 2	70.937	20.476	100.000	53.268	41.035	7.245
3	Mode 3	88.285	1.196	53.268	100.000	95.892	25.161
4	Mode 4	92.215	3.760	41.035	95.892	100.000	32.031
5	Mode 5	100.024	35.838	7.245	25.161	32.031	100.000

Rys. 7.43. Kryterium MAC w postaci tabelarycznej i słupkowej

Po analizie w module Op.Validation stwierdzono, że jedna z postaci drgań własnych przekroczyła próg 95 %, co wskazywałoby na bardzo duży błąd estymacji. Wynikiem tej analizy jest fakt, że czwartą postać drgań własnych (92,215 Hz) można od razu odrzucić. Na trzecim etapie analizy uzyskano porównanie postaci drgań własnych dla skrzynki przekładniowej, które przedstawiono na rysunku 7.44.



Rys. 7.44. Porównanie postaci drgań własnych dla częstotliwości od lewej: 44,14Hz, 70,93Hz, 88,28Hz, 100,24Hz

Przeprowadzone badania stanowiskowe mające na celu wyznaczenie częstości własnych obiektów technicznych metodami analizy modalnej wskazują jednoznacznie, iż stosowanie nowoczesnych aplikacji inżynierskich pozwala na szybki proces identyfikacji stanu degradacji.

...każde „dlaczego” ma swoje „dlatego”...

8. ANALIZA STATYSTYCZNA DANYCH

8.1. TECHNIKI INFORMACYJNE I STATYSTYKA

Obecny rozwój nauki oraz ciągły postęp technologiczny wymuszają stosowanie przez inżynierów najnowszych rozwiązań technik informacyjnych i statystyki, dzięki którym możliwe jest dokonanie analizy wymagającej uruchomienia złożonych algorytmów obliczeniowych w bardzo krótkim czasie. Algorytmy te realizowane klasycznymi metodami są czasochłonne i obciążone dużymi błędami. Celowym staje się zatem zastosowanie technik wirtualnych, które w znaczny sposób skracają czas estymacji wyników oraz zapewniają wysoką dokładność otrzymanych wyników.

Rzeczywisty rozwój technik wirtualnych umożliwia wiele nowych rozwiązań w zakresie modelowania, symulacji oraz pozyskiwania i przetwarzania informacji z badań. Niektóre z tych możliwości sygnalnie przedstawiono w tej pracy, a dotyczy to szczególnie przetwarzania sygnałów, optymalizacji statystycznej wyników i wnioskowania przyczynowo-skutkowego.

Proces zużywania się obiektu zazwyczaj nie jest jednowymiarowy, a wymiar przestrzeni uszkodzeń rośnie wraz ze stopniem skomplikowania konstrukcyjnego maszyny. Zwiększa to radykalnie wymiarowość wektorów stanu, wektorów sygnałów oraz zakłóceń, co wydatnie rozbudowuje bazę danych pomiarowych. Informacja możliwa do pozyskania w badaniach stanu obiektów technicznych staje się nadmiarowa, skomplikowana wymiarowo i trudna do przetwarzania.

Rzeczywisty przełom w wartościowaniu zawartości i ekstrakcji informacji diagnostycznej z macierzy obserwacji dało dopiero centrowanie i normowanie symptomów do ich wartości początkowej, czyli dla wzorcowego stanu obiektu bez zużycia ($\theta = 0$).

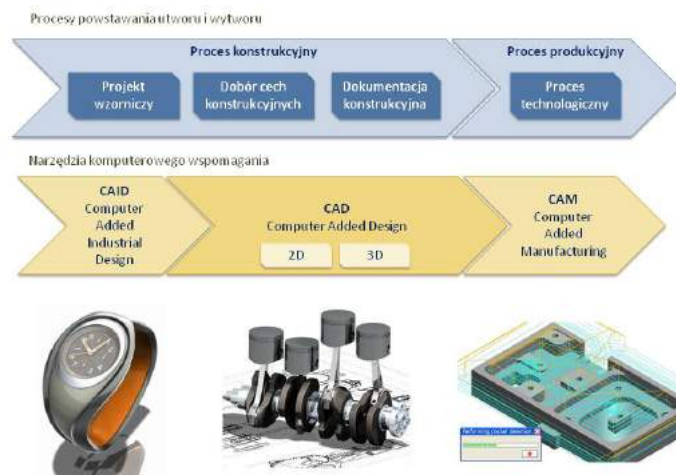
Dostępna już wielowymiarowa reprezentacja symptomowa stanu technicznego obiektu w badaniach programowanych oraz możliwość ekstrakcji tej informacji on-line, stwarza nowe perspektywy w badaniu destrukcji stanu obiektów. Dotyczy to w szczególności nowych lub modernizowanych konstrukcji i nowych uruchomień obiektów innowacyjnych, bez żadnych doświadczeń eksploatacyjnych.

W pracy przedstawiono jako główne – problemy redukcji redundancji, oceny pojedynczych miar sygnału degradacji stanu oraz wielowymiarowe przetwarzanie informacji diagnostycznej w badaniach programowanych.

Wszelkie badane zjawiska masowe charakteryzują się pewnymi prawidłowościami, których badanie jest trudne i nie zawsze wszystkie zostają wykryte i zbadane. Oceny statystyczne do tego wykorzystywane charakteryzują ilościową stronę badanych zjawisk w nierozdzielalnym związku z ich stroną jakościową. Należy pamiętać, że w naturze nie ma liczb, którymi posługuje się statystyka, a są tylko rzeczy i procesy.

Metody statystyczne wykorzystujące opis liczbowy, umożliwiają dokonywanie niezbędnych uogólnień dużej ilości szczegółowych informacji. Dokonując za pomocą metod statystycznych niezbędnych uogólnień w opisie statystycznym, wprowadza się porządek w pozornym chaosie przypadkowych zdarzeń. Umożliwia to wykrywanie prawidłowości w postaci relacji przyczynowo – skutkowych występujących w badanych zjawiskach.

Masowość danych wymaga stosowania komputerowego wspomagania prac badawczych w zakresie metod i środków modelowania, pozyskiwania, przetwarzania, wnioskowania, wizualizacji, rozpowszechniania i przechowywania informacji. Obecny rozwój nauki wymaga od inżynierów stosowania nowoczesnych aplikacji komputerowych, dzięki którym możliwe staje się dokonanie złożonych obliczeń oraz przeprowadzenie analizy otrzymanych wyników w bardzo krótkim czasie (rys. 8.1).



Rys. 8.1. Wspomaganie komputerowe prac inżynierskich

Do podstawowych aplikacji inżynierskich stosowanych w analizie wyników (oprócz Statistica, Statgraf, Excel, Solid Works, Pro-inż. itp.) jest szeroko wykorzystywany program Matlab, opracowany przez firmę MathWorks, Inc. Program ten służy do obliczeń komputerowych, łączących w sobie rejestrację i przetwarzanie danych, specjalizowane obliczenia, wizualizację oraz łatwe do zastosowania środowisko programowania, w którym problemy i ich rozwiązania przedstawione są w przyjaznym dla inżyniera środowisku matematycznym.

Program zawiera w sobie następujące aplikacje:

- algorytmy matematyczne i ich obliczanie,
- aplikację kreowania własnych algorytmów obliczeniowych,
- algorytmy modelowania i symulacji,
- analiza danych oraz aplikację do ich wizualizacji,
- aplikacje grafiki inżynierskiej,
- aplikację kreowania własnych programów obliczeniowych, tworzenie ich interfejsu i graficznej analizy danych.

W zależności od zastosowania do programu dołączane są specjalistyczne pakiety procedur obliczeniowych z dowolnych dziedzin wiedzy zwane toolboxami, np: Simulink, Signal Processing Toolbox i inne. Pakiety takie umożliwiają uzyskanie podstawowej wiedzy z danego zakresu oraz zastosowanie tej wiedzy w celu rozwiązania problemów.

Opierając się na środowisku programu Matlab, opracowano dla potrzeb badań prezentowanych w tym opracowaniu specjalizowane programy do przetwarzania i analizy

danych doświadczalnych, pozwalające na dokonanie estymacji wyników oraz przeprowadzenie szczegółowej analizy danych.

Podstawowe aplikacje, ich algorytmy oraz wyjaśnienia zasad ich funkcjonowania zostały przedstawione w tym rozdziale. Stanowią one wsad w nowoczesne postrzeganie rozpowszechniania wiedzy inżynierskiej, przy wykorzystaniu technik informacyjnych coraz częściej wykorzystywanych wirtualnie przez wielu użytkowników (hurtownie danych, chmury obliczeniowe itp.).

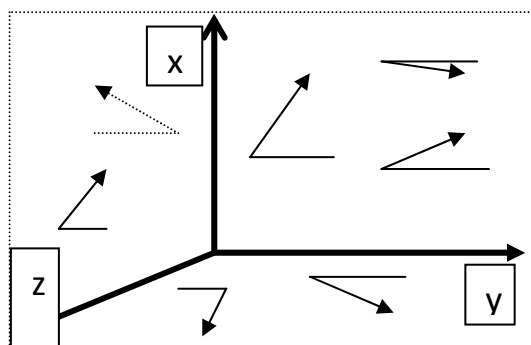
8.2. METODY SELEKCJI INFORMACJI

W praktycznych zastosowaniach przygotowanie wstępne pozyskanych z pomiarów danych jest bardzo istotnym etapem w klasyfikacji danych mającym wpływ zarówno na efektywność rozróżniania badanych stanów, szybkość i łatwość budowy oraz uczenia modelu przyczynowo-skutkowego, jak również na jego późniejszą generalizację.

Zarejestrowany sygnał czasowy badanego procesu przeniesiony do arkusza Excel jest podstawą do dalszego przetwarzania, np. w dziedzinie czasu, częstotliwości i amplitud, dając wiele miar umożliwiających dekompozycję sygnału wyjściowego na sygnały degradacji stanu poszczególnych rozwijających się uszkodzeń. Na proces decyzyjny składa się ciąg operacji od momentu zdobycia informacji o stanie maszyny, przez jej gromadzenie i przetwarzanie, aż do momentu wyboru i przekazania ustalonej decyzji do realizacji [23].

A. METODA PUNKTU IDEALNEGO – OPTIMUM

Mierzone sygnały diagnostyczne w różny sposób odwzorowują przestrzeń obserwacji, a pośrednio rozwój uszkodzenia w maszynie (rys. 8.2). Korzystając z technik optymalizacyjnych można, opierając się na pomiarach odległości od punktu idealnego scharakteryzować wrażliwość mierzonych symptomów na zmiany stanu. Rozróżnienie uszkodzenia jest możliwe po rzutowaniu mierzonych symptomów składowych na odpowiednie osie: x , y , z .



Rys. 8.2. Wielowymiarowa przestrzeń obserwacji

Opracowany i przedstawiony poniżej algorytm umożliwia ocenę statystyczną pojedynczo opracowywanych symptomów stanu, dając w efekcie końcowym listę rankingową ich wrażliwości i przydatności. Kolejne kroki takiego postępowania to:

1. Stworzenie macierzy obserwacji z mierzonych symptomów: $s_1, s_2, s_3, \dots, s_m$.
2. Wyniki pomiarów symptomów dla różnych stanów podlegają ocenie statystycznej za pomocą różnych kryteriów, np.:
 - zmienność symptomów:

$$f_1 = \frac{S_j}{\bar{y}} \quad (8.1)$$

gdzie: S_j – odchylenie standardowe, $\bar{y}$ – wartość średnia.

- ocena wrażliwości symptomu na zmiany stanu:

$$w_i = \frac{x_{i\max} - x_{i\min}}{\bar{x}_i} \quad (8.2)$$

- skorelowanie ze stanem technicznym, przebiegiem (wyznaczanie współczynnika korelacji: symptom-stan):

$$f_2 = r_{xy}; \quad r_{xy} = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2} \sqrt{\sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2}} \quad (8.3)$$

Dla łatwości rozważań i możliwości prezentacji wyników na płaszczyźnie dwa wybrane wskaźniki jakościowe są wystarczające.

3. Dokonując dalej maksymalizacji i normalizacji przyjętych wskaźników jakości sygnałów, otrzymuje się charakterystyki statystyczne ich wrażliwości (f_1^*, f_2^*), co dalej pozwala wyznaczyć współrzędne punktu idealnego. Umożliwia to wyznaczenie odległości poszczególnych miar sygnału od punktu idealnego, zgodnie z zależnością (8.4):

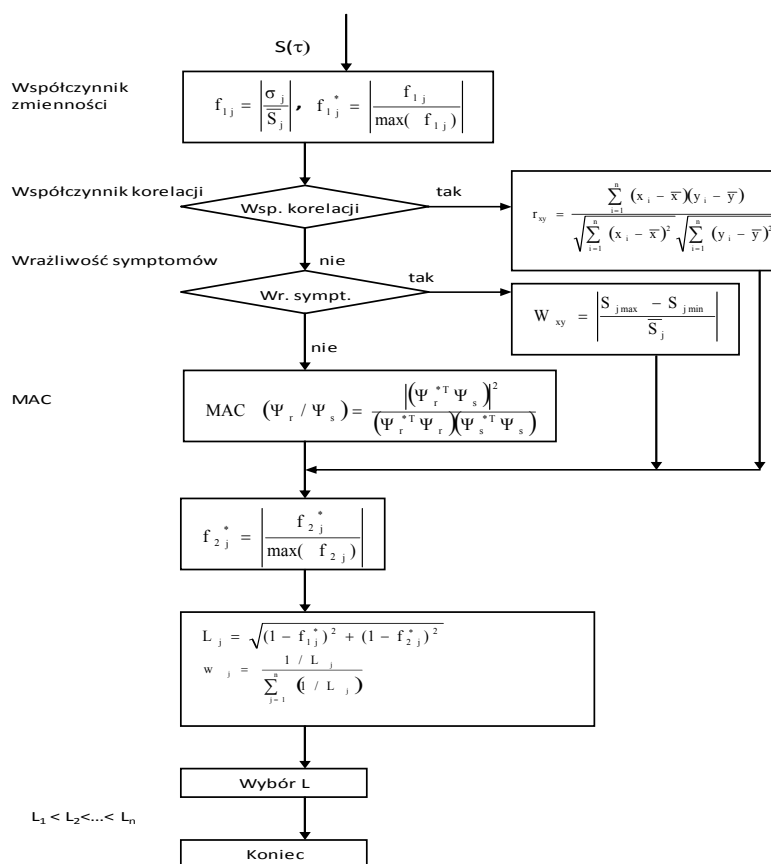
$$L = \sqrt{(1 - f_1^*)^2 + (1 - f_2^*)^2} \quad (8.4)$$

4. Ogólne współczynniki wrażliwości (wagi) dla każdego badanego sygnału są wyznaczone z zależności:

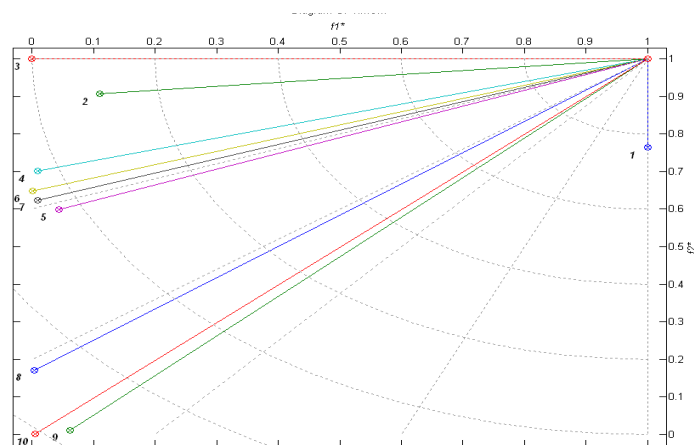
$$w_i = \frac{1}{\frac{1}{L_i} \cdot \sum_{i=1}^n L_i}, \quad \text{gdzie: } \sum w_i = 1 \quad (8.5)$$

Na rysunku 8.3 przedstawiono algorytm postępowania w metodzie OPTIMUM w trakcie analizy danych. Dla tak przedstawionego toku postępowania uzyskano diagramy, na których odczytano położenie poszczególnych symptomów względem punktu idealnego.

Przedstawiony algorytm można łatwo zrealizować w programie Excel, uzyskując uszeregowanie jakościowe mierzonych symptomów. Na rysunku 8.4 przedstawiono końcowy wynik działania opisanego procedury dla przykładowych danych pomiarowych. Punkty odległości poszczególnych miar od punktu idealnego (1,1) wskazują na wrażliwość ocenianych miar sygnału, przy czym punkty leżące najbliżej (1,1) to najlepsze symptomy.



Rys. 8.3. Algorytm badania wrażliwości diagnostycznej mierzonych symptomów stanu



Rys. 8.4. Wynik działania metody punktu idealnego – OPTIMUM

Mając wyróżnione statystycznie dobre symptomy, można na nich budować modele przyczynowo-skutkowe na etapie wnioskowania o stanie. Jakość modelu zależy w tym przypadku jednak od liczby uwzględnianych miar, co pośrednio w najprostszych modelach regresyjnych można oceniać współczynnikiem determinacji R^2 .

B. WIELOWYMIAROWA OBSERWACJA SYSTEMU – SVD

SVD (*Singular Value Decomposition*) jest procedurą numeryczną dla wielowymiarowego śledzenia zmian stanu obiektu. Wykrywa rozwijające się uszkodzenia i dokonuje wyboru maksymalnie informacyjnych symptomów stanu w danej sytuacji [1, 33].

Weźmy więc pod uwagę złożony obiekt mechaniczny pracujący w czasie; $0 < \theta < \theta_b$, gdzie ewolucyjnie rozwija się kilka niezależnych **uszkodzeń**, $F_t(\theta)$, $t=1,2,...,u$. Ich rozwój można uchwycić przez obserwację pola zjawiskowego, tworząc wierszowy wektor symptomów stanu technicznego; $[s_m] = [s_1, ..., s_r]$, o różnej naturze fizycznej.

Dla śledzenia zmian stanu technicznego obiektu wykonujemy kilkadziesiąt równo odległych odczytów wartości wektora w czasie; θ_n , $n = 1, ..., p$, $\theta_p \leq \theta_b$. W ten sposób otrzymuje się kolejne wiersze symptomowej macierzy obserwacji (SOM). Wiadomo już [Cempel], iż maksimum informacji diagnostycznej można uzyskać z tej macierzy, jeśli wszystkie odczyty wstępnie wycentrować (odjąć) i znormalizować do wartości początkowej $S_m(0) = S_{0m}$ danego symptomu. Otrzymamy w ten sposób bezwymiarową symptomową macierz obserwacji:

$$O_{pr} = [S_{nm}], \quad S_{nm} = \frac{S_{nm}}{S_{0m}} - 1 \quad (8.6)$$

gdzie: pogrubienie oznaczenia symbolizuje pierwotne wymiarowe wartości symptomów.

Dla opisu życia systemu mamy bezwymiarową macierz obserwacji O_{pr} o r kolumnach wynikających z liczby obserwowanych symptomów i p wierszach wynikających z łącznej liczby kolejnych obserwacji. Do tej bezwymiarowej macierzy obserwacji zastosowano procedurę rozkładu względem wartości szczególnych SVD, jak niżej:

$$O_{pr} = U_{pp} * \Sigma_{pr} * V_{rr}^T, \quad (8.7)$$

gdzie: (T – transpozycja) U_{pp} to p -wymiarowa ortogonalna macierz lewostronnych wektorów szczególnych, a V_{rr} to r -wymiarowa ortogonalna macierz prawostronnych wektorów szczególnych oraz w środku – diagonalna macierz wartości szczególnych Σ_{pr} o własnościach:

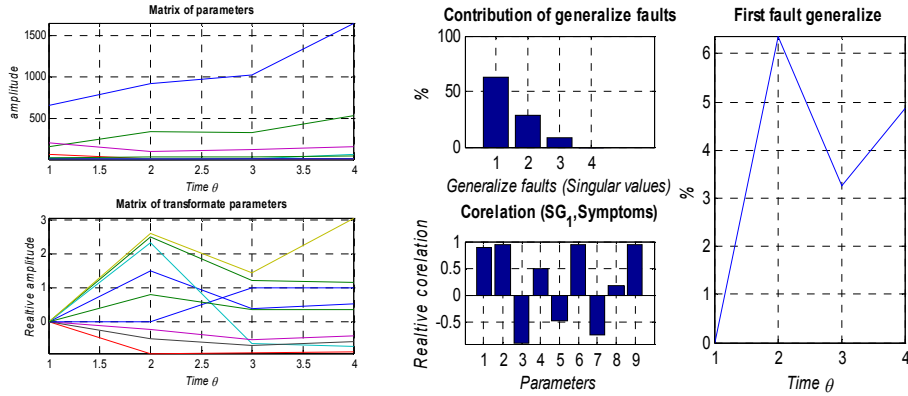
$$\Sigma_{pr} = \text{diag}(\sigma_1, ..., \sigma_l), \text{ przy: } \sigma_1 > \sigma_2 > ... > \sigma_u > 0 \quad (8.8)$$

oraz: $\sigma_{u+1} = ... = \sigma_l = 0$, $l = \max(p, r)$, $u = \min(p, r)$.

Oznacza to, że spośród r mierzonych symptomów można uzyskać tylko $u \leq r$ niezależnych informacji o rozwijających uszkodzeniach. Taki rozkład SVD macierzy obserwacji można prowadzić po wykonaniu każdej obserwacji; $n = 1, ..., p$ i w ten sposób śledzić ewolucję uszkodzeń $F_t(\theta_n)$ w obiekcie.

Jedno uszkodzenie F_t może opisywać para nowych wielkości; SD_t oraz σ_t . Pierwszy to uogólniony symptom uszkodzenia t , co można nazwać dyskryminantą tego uszkodzenia i można ją otrzymać jako iloczyn prawostronny macierzy obserwacji i wektora v_t [34]:

$$SD_t = O_{pr} * v_t = \sigma_t \cdot u_t \quad (8.9)$$



Rys. 8.6. Zawartość informacji diagnostycznej o niezależnych uszkodzeniach w symptomowej macierzy obserwacji, oraz wykryte niezależne dyskryminanty SD_i i miary zaawansowania uszkodzenia σ_i

Celem SVD jest też wybranie maksymalnie informacyjnych symptomów mierzonych w danej sytuacji obserwacji diagnostycznej. Z macierzy obserwacji $O_{pr} = [S_{nm}]$, można zdefiniować dwie kwadratowe macierze kowariancji r - i p -wymiarowe, jak niżej (* T – transponowanie macierzy, wektora):

$$W_1 = (O_{pr})^T * O_{pr}, \text{ oraz; } W_2 = O_{pr} * (O_{pr})^T \quad (8.12)$$

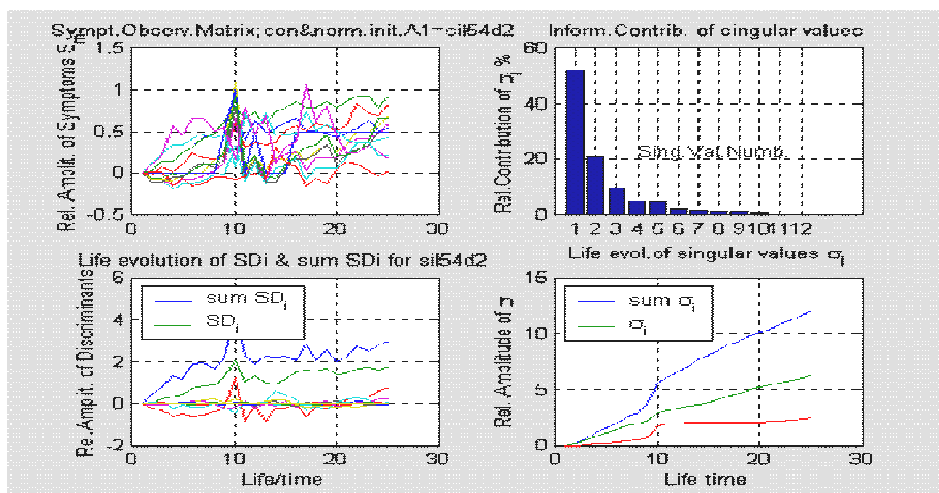
Rozwiązanie zagadnienia własnego tych macierzy (EVD) pokazuje, że można w ten sposób uzyskać poszukiwane wektory szczególne uzyskane z SVD macierzy obserwacji i kwadraty wartości szczególnych:

$$W_1 * v_v = \sigma_v^2 * v_v, v = 1, \dots, r; \text{ oraz; } W_2 * u_i = \sigma_i^2 * u_i, i = 1, \dots, p. \quad (8.13)$$

Zatem rozwiązując dwa zagadnienia własne (Eigen Value Decomposition – EVD) obu macierzy kowariancji zdefiniowanych na macierzy obserwacji, otrzymuje się to samo, co z procedury SVD, jedyna różnica to kwadraty wartości szczególnych zamiast ich oryginalnych wartości. Wiadomo, że kwadratowanie faworyzuje wartości największe i stąd może być inna ocena istotności wkładu informacyjnego przez różne symptomy, ale odrzucanie tych najmniej wartościowych jest oczywiste.

Przykładem zastosowania tych rozważań jest obserwacja diagnostyczną trakcyjnego 12 cylindrowego silnika Diesla, gdzie w jednym wybranym punkcie wykonywano, co 10 tys. km pomiary kilkunastu symptomów drganiowych [2, 22]. W sumie mierzono amplitudy 3 przyspieszeń, 3 prędkości, 3 przemieszczeń, 3 częstości Rice'a, a wyniki tego przedstawiono na rysunku 8.7. Jak widać z lewego górnego obrazka 11 mierzonych symptomów tworzy gęstwinę informacji, która jednak po przetworzeniu przez SVD jest łatwo dekodowana na dwa główne rodzaje uszkodzeń, gdyż σ_1 i σ_2 to ca 50% i 20% ogółu informacji diagnostycznych w macierzy obserwacji (obrazek prawy górny) mierzonej jako iloraz wartości danego σ_i do sumy wszystkich wartości szczególnych. Do tego pierwsze uszkodzenie SD_1 (lewo dół) prawie monotonicznie rośnie, natomiast drugie jest niestabilne i zaczyna rosnąć dopiero po dwudziestym pomiarze (200 tys.

km), jak to widać również z przebiegu intensywności uszkodzenia σ_2 , w prawym dolnym rogu (rys. 8.7).



Rys. 8.7. SVD w zastosowaniu do badań silników

Przedstawiony algorytm można dalej rozbudować, szukając automatycznie zbędnych symptomów pomiarowych dla danego zagadnienia diagnostycznego. Pokazano to w uproszczeniu na rysunku 8.7 – obrazek prawy góra, gdzie widać udział poszczególnych symptomów w dyskryminancie SD_1 .

8.3. MODELOWANIE PRZYCZYNOWO-SKUTKOWE

Często w badaniach empirycznych do analizy otrzymanych wyników stosuje się metody statystyczne. Podstawową metodą stosowaną w statystyce jest metoda regresji, pozwalająca na badanie przyczynowo skutkowe powiązań między różnymi zjawiskami.

Rozważania teoretyczne dotyczące metody regresji w tej pracy sprowadzono do analizy regresji liniowej z jedną zmienną niezależną jako wprowadzenie do przedstawienia modelu regresji z wieloma zmiennymi niezależnymi.

Funkcja regresji Y względem zmiennej X przybiera postać:

$$Y_i = \alpha_0 + \alpha_1 x_i + \varpi_i \quad i = 1, \dots, n \quad (8.14)$$

Funkcja regresji X względem zmiennej Y przybiera postać:

$$X_i = \beta_0 + \beta_1 y_i + \varepsilon_i \quad i = 1, \dots, n \quad (8.15)$$

gdzie: n – liczba obserwacji – liczebność próby,

$\alpha_0, \alpha_1, \beta_0, \beta_1$ – parametry równań regresji,

ϖ_i, ε_i – składniki losowe równań.

W celu oszacowania wartości parametrów: $\alpha_0, \alpha_1, \beta_0, \beta_1$ korzysta się z metody najmniejszych kwadratów. Metoda najmniejszych kwadratów umożliwia uzyskanie na podstawie n -elementowej próby takiej wartości estymatorów: a_0, a_1, b_0, b_1 , dla których wyrażenia (8.17) oraz (8.18) osiągają wartości minimalne:

$$\sum_{i=1}^n (y_i - \hat{y}_i)^2 = \sum_{i=1}^n (y_i - a_0 - a_1 x_i)^2 \quad (8.16)$$

$$\sum_{i=1}^n (x_i - \hat{x}_i)^2 = \sum_{i=1}^n (x_i - b_0 - b_1 y_i)^2 \quad (8.17)$$

Oszacowane równania regresji zapisuje się:

$$\hat{x}_i = b_0 + b_1 y_i \quad (8.18)$$

$$\hat{y}_i = a_0 + a_1 x_i$$

We wzorze (8.18) estymatory a_1 oraz b_1 nazywane są współczynnikami regresji, zaś estymatory a_0 i b_0 to stałe regresji, które opisano zależnościami (8.19) oraz (8.20):

$$\left\{ \begin{array}{l} a_1 = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2} = \frac{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i y_i - \bar{x} \bar{y}}{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i^2 - \bar{x}^2} \\ a_0 = \bar{y} - a_1 \bar{x} \end{array} \right. \quad (8.19)$$

$$\left\{ \begin{array}{l} b_1 = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{\sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2} = \frac{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i y_i - \bar{x} \bar{y}}{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n y_i^2 - \bar{y}^2} \\ b_0 = \bar{x} - b_1 \bar{y} \end{array} \right. \quad (8.20)$$

Po wyznaczeniu wartości a_1 i b_1 można obliczyć współczynnik korelacji liniowej r_{xy} według zależności (8.21):

$$r_{xy} = \sqrt{a_1 b_1} \quad (8.21)$$

Rezultat funkcji regresji, opisaney na podstawie danych empirycznych zawsze należy porównać z rzeczywistą wartością zmiennej zależnej (opisywanej). Podstawą tych porównań jest tzw. składnik resztowy – reszta. Dla regresji Y względem X resztę zdefiniowano zgodnie z zależnością (8.22):

$$u_i = y_i - \hat{y}_i \quad i = 1, \dots, n \quad (8.22)$$

W sposób analogiczny wyznaczono resztę dla regresji X względem Y:

$$v_i = x_i - \hat{x}_i \quad i = 1, \dots, n \quad (8.23)$$

Funkcja regresji jest poprawnie oszacowana, jeżeli wartości reszt są niewielkie i mają charakter losowy. Wariancje resztowe wyznaczono z zależności:

$$S^2(v) = \frac{1}{n-2} \sum_{i=1}^n (x_i - \hat{x}_i)^2$$

$$S^2(u) = \frac{1}{n-2} \sum_{i=1}^n (y_i - \hat{y}_i)^2 \quad (8.24)$$

Wartość błędu wyznaczono jako odchylenie standardowe:

$$S(u) = \sqrt{S^2(u)}$$

$$S(v) = \sqrt{S^2(v)} \quad (8.25)$$

Odchylenie standardowe reszt zwane jest również średnim błędem szacunku. Wraz ze wzrostem odchylenia standardowego reszt maleje „dobroć” oszacowania funkcji regresji. W analizie regresji do oceny dopasowania funkcji regresji miarą najczęściej stosowaną jest współczynnik zbieżności φ^2 , opisany zależnością (8.26), który przyjmuje wartości (0,1), przy czym im mniejszą wartość przyjmuje współczynnik zbieżności, tym lepsze jest dopasowanie funkcji regresji do punktów empirycznych.

$$\varphi_{yx}^2 = \frac{\sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y}_i)^2}{\sum_{i=1}^n (y - \bar{y}_i)^2} \text{ oraz } \varphi_{xy}^2 = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x}_i)^2}{\sum_{i=1}^n (x - \bar{x}_i)^2} \quad (8.26)$$

Współczynnikiem determinacji R^2 nazywa się wyrażenie:

$$R^2 = 1 - \varphi^2 \quad (8.27)$$

W przypadku zależności liniowej współczynnik determinacji równy jest współczynnikowi korelacji liniowej, a zatem:

$$R^2 = r_{yx}^2 = r_{xy}^2 = 1 - \varphi^2 \quad (8.28)$$

Zatem im wartość R^2 jest bliższa jedności, tym mniejszy jest średni błąd szacunku co powoduje lepsze dopasowanie funkcji regresji do danych empirycznych.

Przedstawione powyżej rozważania dotyczące regresji liniowej z jedną zmienną niezależną mają charakter uniwersalny w tym sensie, że odpowiednie wzory zapisane za pomocą symboli oznaczających macierze i wektory są słuszne dla większej liczby zmiennych niezależnych występujących w modelu, a więc mówimy w takim przypadku o regresji wielokrotnej. W miarę wzrostu liczby zmiennych niezależnych wzrastają odpowiednie wymiary macierzy i wektorów, a więc zwiększa się pracochłonność obliczeń kryjących się za tym zapisem jako problem numeryczny rozwiązywany w praktyce za pomocą komputerów.

Model regresji liniowej z wieloma zmiennymi niezależnymi można zapisać w następujący sposób:

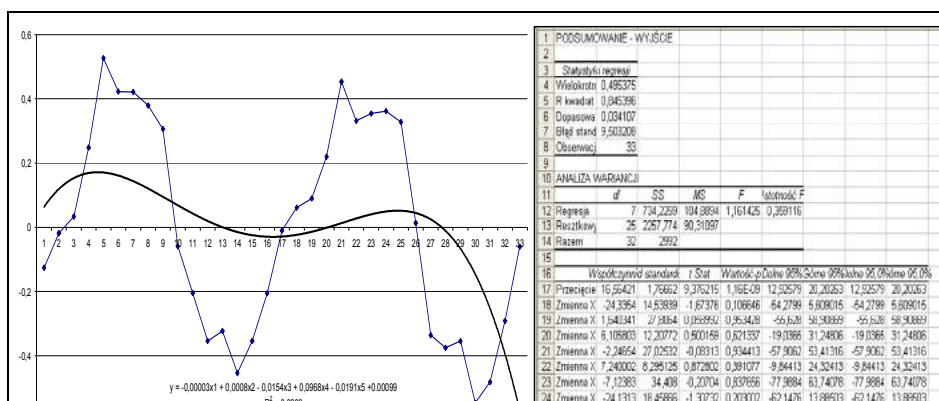
$$Y_i = \alpha_0 + \alpha_1 x_{i1} + \alpha_2 x_{i2} + \dots + \alpha_k x_{ik} + \varpi_i \quad i = 1, \dots, n \quad (8.29)$$

gdzie: n – liczba obserwacji – liczebność próby,

$\alpha_0, \alpha_1, \dots, \alpha_k$ – parametry równań regresji,

ϖ_i – składnik losowe równań.

Procedura estymacji parametrów modelu regresji wielokrotnej metodą najmniejszych kwadratów przyjmuje taką samą postać jak dla rozważań modelu o jednej zmiennej niezależnej. Na rysunku 8.8 przedstawiono wyniki modelowania przyczynowo skutkowego.



Rys. 8.8. Wizualizacja wyników modelowania przyczynowo-skutkowego

Problemy diagnozowania złożonych obiektów technicznych są ciągle rozwijane, a procedury pozyskiwania i przetwarzania informacji diagnostycznej są ustawicznie doskonalone. W pracy omówiono redukcję redundancji dla pojedynczych symptomów stanu, jak i dla wielowymiarowego badania stanu.

Zaproponowano nową, prostą i skuteczną metodę oceny wrażliwości pojedynczych miar stanu – metodę *OPTIMUM* oraz istotę metody *SVD*. Ta ostatnia jest stosowana i ciągle jeszcze doskonalona dla potrzeb diagnostyki wielowymiarowej.

Procedury GSVD są już zaimplementowane w większości zaawansowanych systemach obliczeniowych, np. w *MATLAB*[®]. Warto więc pomyśleć o diagnostycznej interpretacji i szczegółach obliczeniowych związanych z dodatkową wiedzą zgromadzoną w macierzach opisujących obiekt i otoczenie pomiarowe. Te dodatkowe dane nie muszą być zawsze cyfrowe, w wielu przypadkach wystarczą zmienne lingwistyczne lub rozmyte.

Program SIBI jest potwierdzeniem, że implementacja oprogramowania do celów analizy procesów drganiowych stanowi możliwość szybkiej identyfikacji uszkodzeń.

Wykorzystanie własności programu znacząco wpływa na jakość diagnozowania obiektów w aspekcie ich funkcjonowania. Zastosowanie nowoczesnych metod diagnostycznych potwierdza konieczność stosowania dynamicznie rozwijających się technik informatycznych wspartych algorytmami do badań stanu, zagrożeń bezpieczeństwa i środowiska eksploatowanych maszyn.

8.4. SIBI – SYSTEM INFORMATYCZNY BADAŃ IDENTYFIKACYJNYCH

Prowadzone coraz częściej badania identyfikacyjne stanu dynamicznego maszyn, wykorzystywane do oceny zmian tego stanu, rozwoju uszkodzeń oraz lokalizacji przyczyn zaistniałego stanu stanowiły podstawę do stworzenia specjalizowanego systemu

oprogramowania. Umożliwia on akwizycję i przetwarzanie danych pomiarowych, tworzenie wielu miar sygnałów diagnostycznych, ich badania wrażliwości diagnostycznej, opracowanie statystyczne oraz wnioskowanie diagnostyczne. Program ten nazwano: System Informatyczny Badań Identyfikacyjnych – SIBI.

Struktura programu jest konstrukcją modułową, co stanowi o uniwersalności jego zastosowania. Moduły programu odpowiadają kolejnym etapom realizacji procedury diagnostycznej obiektów technicznych. W programie wyróżniono następujące moduły:

Moduł A – odpowiada za akwizycję i eksport danych pomiarowych.

Moduł B – odpowiada za przetwarzanie danych, co umożliwia zdefiniowanie, wyznaczenie oraz utworzenie macierzy wielu miar procesów fizycznych.

Moduł C – umożliwia badanie współzależności sygnałów.

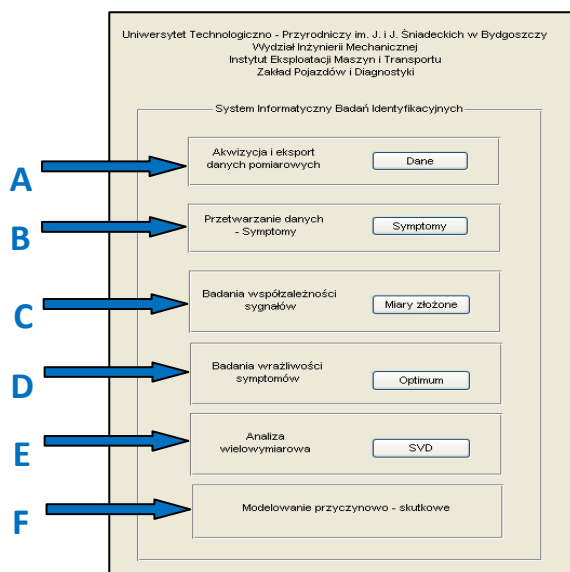
Moduł D – przeprowadza badania wrażliwości symptomów wykorzystując metodę OPTIMUM dla indywidualnej oceny wrażliwości mierzonych symptomów.

Moduł E – wykorzystuje metodę Singular Value Decomposition (SVD) do wielowymiarowego opisu stanu badanego obiektu.

Moduł F – odpowiada za modelowanie przyczynowo-skutkowe metodą regresji.

Moduły A i B stanowią część programu odpowiedzialną za przetwarzanie sygnałów w celu pozyskania macierzy obserwacji mierzonych estymatorów.

Moduły C, D, E, F, są modułami stanowiącymi drugą część programu, która umożliwia przeprowadzenie analizy mierzonych sygnałów, identyfikację stanów technicznych obiektów mechanicznych oraz ocenę ilościową jakościową wielkości opisujących dany stan, a także wizualizację otrzymanych wyników. Na rysunku 8.9 przedstawiono główne okno dialogowe programu SIBI.



Rys. 8.9. Główne okno dialogowe programu SIBI

Wyniki pomiarów uzyskane przy użyciu specjalistycznej aparatury często zapisywane są w formacie plików z rozszerzeniem unv., które w celu dalszej analizy należy przetransformować, gdyż zarówno format, jak i sposób zapisywania wyników nie pozwala na uzyskanie wiarygodnych danych wejściowych do systemu analizy danych.

W module „Akwizycja i eksport danych pomiarowych” istnieje możliwość transformacji formatu zapisu danych pomiarowych znajdujących się w plikach z rozszerzeniem unv. do dowolnego innego formatu, w tym do plików zgodnych z rozszerzeniem „xls.” programu Microsoft Excel. Transformacja ta ma na celu zunifikowanie formatu danych obsługiwanych przez program SIBI. Na rysunku 8.10 przedstawiono okno dialogowe modułu „Akwizycji i eksportu danych pomiarowych”. Na rysunku 8.11 przedstawiono przykładowy zapisu danych pomiarowych w formacie unv. W module tym dodatkowo istnieje możliwość prezentacji graficznej transformacji danych pomiarowych, co przedstawiono na rysunku 8.12.

Wczytanie *.UNV

Pliki do analizy

Wyszukiwanie

Nazwa pliku

Stan 1 Seria 1 UNV

Wczytaj dane

Wyniki wczytywania

Uzyskanie Wykresu

☐ Podgląd wykres...

Data pomiaru

14-MAY-05 16:36:51

Lista danych

Ch. 1 -> Position 1

Ilość danych

2048

Eksportowanie UNV

Stworzone przez :

UTP Bydgoszcz

Wydział Inżynierii

Mechanicznej

Eksport do *.xls

Eksportuj dane

Dane

N sample	Ch. 1
1	-0.12608
2	-0.018194
3	0.033514
4	0.24739
5	0.52646
6	0.42253
7	0.4213
8	0.37885
9	0.30572
10	-0.053203
11	-0.20406
12	-0.35403
13	-0.3227
14	-0.45362
15	-0.36395
16	-0.20549
17	-0.010398
18	0.060858
19	0.089725
20	0.2199
21	0.45319
22	0.33125

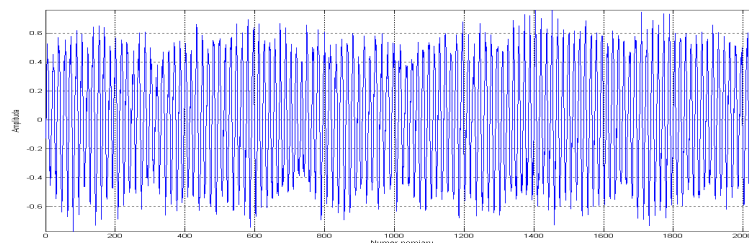
«

Powrót

Rys. 8.10. Okno dialogowe modułu danych pomiarowych

[illegible]

Rys. 8.11. Przykładowy zapis danych pomiarowych w formacie unv.

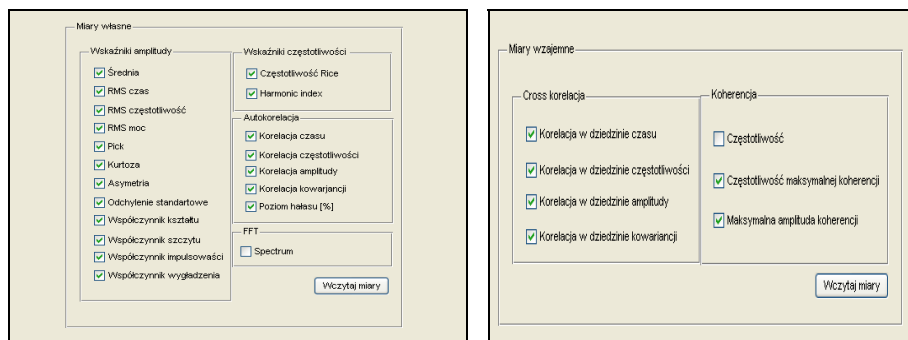


Rys. 8.12. Wizualizacja danych pomiarowych w module

Kolejnym etapem działań związanym z przetwarzaniem danych pomiarowych w programie SIBI jest uzyskanie miar (estymatorów) sygnału mierzonego w module programu – „Przetwarzanie danych – Symptomy”. Moduł ten (tego programu) odpowiada za przetwarzanie sygnałów drganiowych w celu uzyskania wartości miar i estymatorów sygnału drganiowego. Główne okno dialogowe modułu Symptomy przedstawiono na rysunku 8.13.

Rys. 8.13. Okno dialogowe modułu – „Symptomy”

W module tym istnieje możliwość wyboru danych pomiarowych poddawanych dalszej analizie, formatu plików pomiarowych oraz wyboru wygenerowania miar własnych i wzajemnych sygnału drganiowego, które wykorzystywane będą w odpowiedniej procedurze diagnostycznej. Na rysunku 8.14 przedstawiono okna dialogowe modułu „Symptomy” służące do generowania miar własnych i wzajemnych sygnału drganiowego.



Rys. 8.14. Okno wyboru miar własnych i wzajemnych mierzonych sygnałów

Rezultatem końcowym przetwarzania danych pomiarowych w module „Symp-tomy” jest wygenerowanie macierzy wartości wybranych miar własnych zgodnie z rysunkiem 8.15 oraz wybranych miar wzajemnych na rysunku 8.16.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L
1		Średnia	RMS (czas)	RMS (częstotliwość)	RMS (moc)	Pick max.	Pick min.	Kurtoza	Asymetria	Odczylenie standardowe	Współ. kształtu	Współ. szczytu
2	Punkt 1	0,278	0,318	0,482	0,188	0,547	0,547	1,888	-0,008	0,323	1,153	1,718
3	Punkt 2	0,070	0,081	0,152	0,008	0,235	0,128	2,870	0,800	0,080	1,301	2,570
4	Punkt 3	0,381	0,413	0,738	0,350	0,728	0,728	1,858	-0,242	0,418	1,144	1,784
5	Punkt 4	0,052	0,088	0,111	0,008	0,175	0,128	3,248	0,444	0,088	1,308	2,588
6	Punkt 5	0,334	0,375	0,888	0,283	0,887	0,887	1,778	-0,284	0,378	1,122	1,832
7	Punkt 6	0,058	0,071	0,105	0,008	0,181	0,152	2,721	0,115	0,072	1,281	2,253
8	Punkt 7	0,347	0,388	0,885	0,307	0,888	0,888	1,858	-0,185	0,385	1,120	1,770

Rys. 8.15. Macierzy miar własnych sygnałów wygenerowana w module „Symptomy”

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
1		Korelacja w dziedzinie czasu	Korelacja w dziedzinie częstotliwości	Korelacja w dziedzinie amplitudy	Korelacja w dziedzinie kowariancji	Współ. koherencji - 24.242Hz	Współ. koherencji - 72.727Hz	Współ. koherencji - 48.484Hz	Częstotliwość max. koherencji	Max. amplituda koherencji
2	Punkt 1 Vs. Punkt 6	0,020	100,000	0,070	0,004	0,056	0,142	0,150	157,576	0,027

Rys. 8.16. Macierzy miar wzajemnych sygnałów wygenerowana w module „Symptomy”

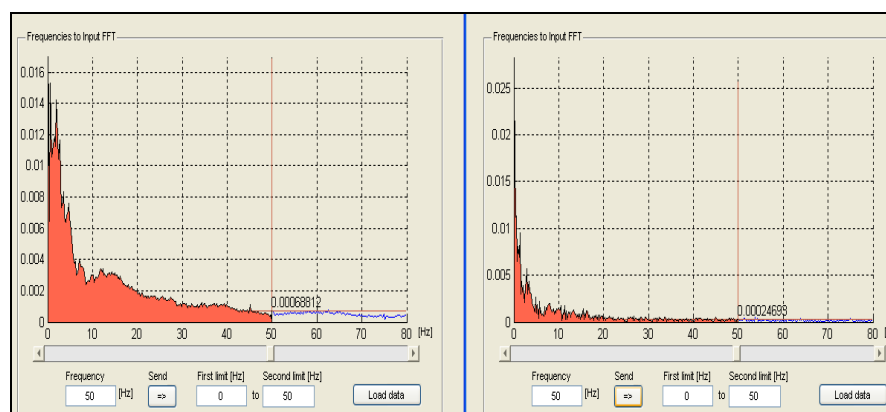
W celu uzyskania powyższych rezultatów w pliku o formacie „xls” należy dokonać opcji wyeksportowania danych poprzez funkcję „Export do” poprzez podanie w nazwy i miejsca zapisu danych.

Następnym etapem działań w programie SIBI jest badanie współzależności miar sygnału poprzez wykorzystanie analizy jakościowej i ilościowej podobieństwa badanych sygnałów. Są to zadania skomplikowane zabierające wiele czasu, zatem implementacja tych procedur w systemie informatycznym znacznie skraca czas uzyskania wyników. Do tego celu zaimplementowano w programie osobny moduł – „Badania współzależności sygnałów – Miary złożone”. Główne okno dialogowe modułu przedstawiono na rysunku 8.17.

Rys. 8.17. Okno dialogowe modułu – „Miary złożone”

Moduł „Miary złożone” składa się z dwóch części. Pierwsza część dotyczy zdefiniowania danych wejściowych do analizy, a druga procedury wyznaczania współzależności mierzonych sygnałów. Współzależność ta jest określana przez funkcję FRF, transmitancję, korelację wzajemną oraz funkcję koherencji. Moduł ten ma również funkcję wizualizacji rezultatów badania.

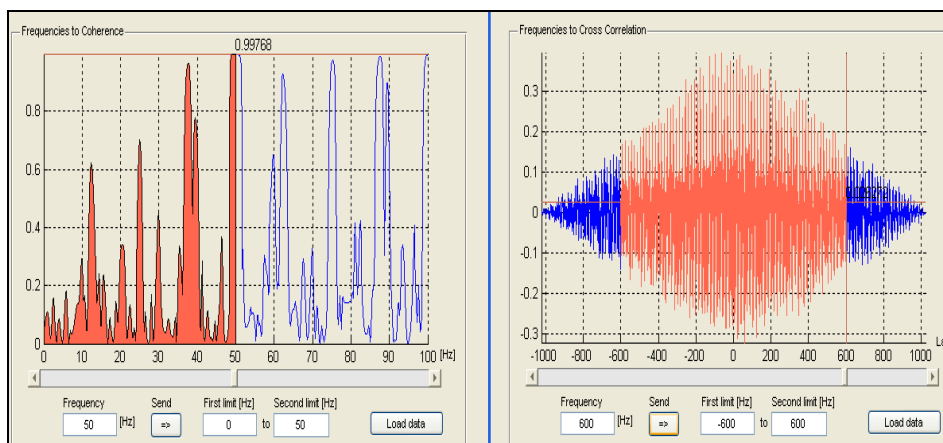
W oknie „Wizualizacja” dokonuje się transformacji przebiegów czasowych wybranych procesów drganiowych na przebiegi w funkcji częstotliwości z wykorzystaniem funkcji FFT. Wywołanie pola FFT dla procesu wejściowego i wyjściowego umożliwia uzyskanie spektrum tych procesów z opcją wprowadzenia zakresu analizowanych częstotliwości jak na rysunku 8.18.



Rys. 8.18. Wprowadzanie zakresu FFT dla wejściowego i wyjściowego sygnału

Uzyskujemy również możliwość graficznego przedstawienia funkcji koherencji oraz funkcji korelacji badanych procesów, których przykładowe przebiegi przedstawio-

no na rysunku 8.19. Wprowadzenie zakresu częstotliwości określającej obszar analizowanych danych pozwala na przeliczenie wartości pól pod krzywymi, jako miary liczbowej tych estymatorów.



Rys. 8.19. Wprowadzanie zakresu analizy dla funkcji koherencji oraz korelacji sygnałów

Dalszym etapem badań zaimplementowanym w programie SIBI jest zastosowanie metody OPTIMUM do analizy danych pomiarowych w kolejnym module programu – „Badania wrażliwości symptomów – OPTIMUM”. Metoda ta jest stosowana w celu indywidualnej oceny i selekcji informacji dla miar sygnału, które otrzymano w trakcie badań. Dzięki zastosowaniu tej metody możliwe jest uszeregowanie symptomów opisujących dany obiekt pod względem wrażliwości zawartej informacji z badań obiektu technicznego. Szczegóły algorytmu metody OPTIMUM omówione zostały wcześniej, a główne okno tego modułu przedstawiono na rysunku 8.20.

State	Parameter 1	Parameter 2	Parameter 3	Parameter 4	Parameter 5	Parameter 6	Parameter 7	Parameter 8	Parameter 9	P
f1	0.1444	15.6576	0.059211	0.083501	1.7292	0.69072	0.97658	0.0023445	0.013029	0.
f1*	0.0092226		0.0037816	0.005333	0.11044	0.044114	0.062371	0.00014974	0.00083211	0.
f2	0.41652	0.45356	0.10167	0.00078551	0.53864	0.35503	0.0068456	0.59362	0.38483	0.
f2*	0.70166	0.76405	0.17127	0.0013233	0.90738	0.59807	0.011532		1	0.64828
1/Li	0.96644	4.2383	0.77169	0.70947	1.1181	0.96437	0.73398	1.0001	0.94405	0.
wi	0.077999	0.34206	0.062281	0.057259	0.090239	0.077831	0.059238	0.080719	0.076192	0.

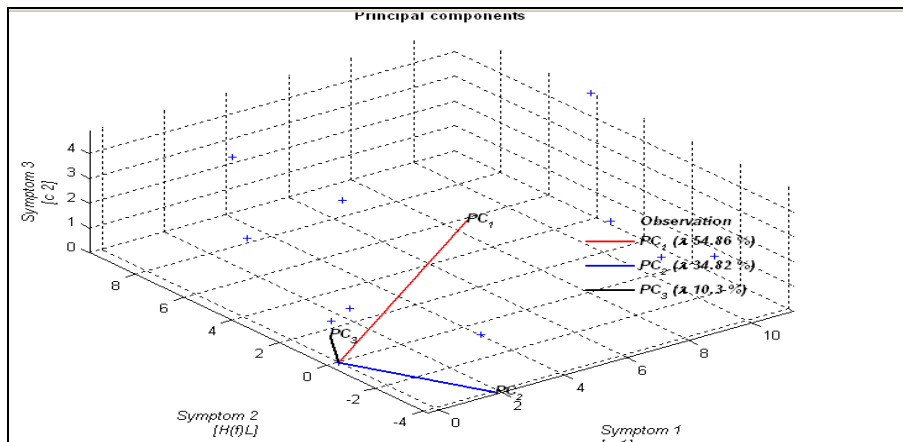
Rys. 8.20. Okno dialogowe modułu – „Optimum”

W celu przeprowadzenia analizy wielowymiarowej w programie SIBI zaimplementowano metodę SVD, której podstawy matematyczne i algorytm postępowania szczegółowo przedstawiono wcześniej, w oddzielnym module – „**Analiza wielowymiarowa – SVD**”. Analiza wielowymiarowa w tym module pozwala na ocenę rozwoju uszkodzeń oraz na wyróżnienie najlepszych miar opisujących stan obiektu. Metoda ta umożliwia ocenę udziału jakościowego i ilościowego każdej miary w zmianie stanu obiektu technicznego. Celem zastosowania SVD jest wykorzystanie wszystkich mierzonych symptomów do oceny stanu obiektu. Główne okno dialogowe tego modułu przedstawiono na rys. 8.21.

Rys. 8.21. Okno dialogowe modułu – „Analiza wielowymiarowa SVD”

W metodzie SVD, dokonując analizy danych jako wynik uzyskano uszeregowanie symptomów wraz z procentowym opisem udziału poszczególnego symptomu w opisie stanu danego obiektu. Metoda SVD jest zatem uzupełnieniem metody OPTIMUM, w której to uzyskano uszeregowanie symptomów pod względem ich wrażliwości i istotności, a dzięki SVD stwierdzono procentowy udział wybranych symptomów w tworzeniu SD_I . Pozwoliło to na nadzorowanie zmiany stanów wyznaczonych na podstawie SD_I , co pozwala na precyzyjną analizę stanu badanego obiektu.

Moduł ten ma również funkcję wizualizacji rezultatów każdego badania wyników pomiarowych. Istnieje również możliwość wizualizacji trójwymiarowej trzech najistotniejszych wielkości i ich udziału procentowego w opisie stanu technicznego danego obiektu po użyciu funkcji Principal Components, co przedstawiono na rysunku 8.22.



Rys. 8.22. Wizualizacja trójwymiarowa wyników modułu SVD

Program SIBI potwierdza możliwość szybkiej identyfikacji uszkodzeń, poprzez implementację oprogramowania do celów analizy sygnałów, a szczególnie procesów drganiowych. Wykorzystanie możliwości programu znacząco wpływa na jakość pozyskiwanych wyników i ich przetwarzanie, zdecydowanie poprawiając trafność podejmowanych decyzji w zakresie oceny stanu destrukcji badanych obiektów.

Zastosowanie nowoczesnych metod w badaniach obiektów technicznych potwierdza konieczność stosowania dynamicznie rozwijających się technik informatycznych, wspartych algorytmami do badań stanu, zagrożeń bezpieczeństwa i środowiska eksploatowanych maszyn.