

# Technologia diagnozowania oraz organizacja diagnostyki w przedsiębiorstwie energetycznym

Sławomir Szymaniec

## 1. Wstęp

Dla zmniejszenia awaryjności zespołów maszynowych w przemyśle i energetyce autor i jego zespół w oparciu o wieloletnie doświadczenie przemysłowe ustalili warunki konieczne, jakie należy bezwzględnie przestrzegać dla zapewnienia należytego utrzymania ruchu zespołów maszynowych. Są to [1, 2, 3, 4, 6, 7]:

- udział zespołu diagnostycznego w odbiorach nowych maszyn;
- sprawdzanie silników przed oddaniem do eksploatacji, np w Stacji Prób i Pomiarów z właściwym wyposażeniem badawczym (fundament do badań, stanowisko, aparatura) tak pod względem elektrycznym, jak i dynamicznym oraz termicznym;
- prawidłowy dobór silnika do wymagań napędzanego urządzenia oraz możliwości zasilania;
- prawidłowy dobór łożysk w napędzie i w maszynie napędzanej;
- prawidłowy dobór sprzęgła;
- właściwie zaprojektowana i wykonana konstrukcja wsporcza, fundament z elementami do mocowania silnika i maszyny napędzanej, dbałość o ich stan techniczny;
- napędy prawidłowo ustawione na konstrukcji wsporczej, fundamencie;
- wszystkie maszyny ustawiane z uwzględnieniem poprawek cieplnych;
- wszystkie wirniki wyważone z uwzględnieniem niewyważenia cieplnej;
- prawidłowe wyważanie wirnika zespołu: silnik + sprzęgło + maszyna napędzana;
- stosowanie właściwej techniki smarowania łożysk w zespole maszyn;
- dbałość o dobry stan izolacji uzwojeń maszyn elektrycznych;
- stosowanie pomiaru temperatury tam, gdzie jest to konieczne;
- przestrzeganie zasad montażu i demontażu łożysk – podgrzewanie indukcyjne;
- przeprowadzanie remontów tylko wtedy; gdy stan techniczny maszyny wskazuje na jego konieczność. Nie powinno się ingerować w sprawnie działającą maszynę. Zalecana jest strategia utrzymania maszyn polegająca na eksploatacji zależnej od ich stanu technicznego.

Powyższe uwarunkowania mają jednakową wagę.

## 2. Jednolity system nadzoru maszyn w przedsiębiorstwie energetycznym

Aby ujednoczyć i usprawnić szybki przepływ informacji o stanie maszyn, proponuje się jednolity system diagnostyki

### 🇬🇧 DIAGNOSTICS TECHNOLOGY AND ORGANISATION OF DIAGNOSTICS IN AN ENERGY COMPANY

**Abstract:** The authors suggest a uniform system for the diagnostics of the whole machine fleet of the company, which involved isolation of groups of machines with different importance and assigning them with a specific and defined way of collecting diagnostic information. Because of the operating, diagnostic, protection and management system, utility machines in the company belong to different groups of importance. These machines can be divided into: critical, quasi-critical and auxiliary. The authors define general requirements for the system supervising the technical condition of machines and requirements for diagnostic tools.

dla całego parku maszynowego przedsiębiorstwa, polegający na wyodrębnieniu grup maszyn o różnej ważności i przypisaniu im określonego, zdefiniowanego sposobu zbierania informacji diagnostycznych. Ze względu na system eksploatacji, diagnostyki, zabezpieczenia i zarządzania maszyną użytkowane w przedsiębiorstwie przynależą do różnych grup ważności. Maszyny te można podzielić na:

- maszyny krytyczne, tzn. takie, które nie posiadają rezerwowania, ich koszt inwestycyjny był wysoki. Eksploatacja tych maszyn wpływa w sposób istotny na wynik ekonomiczny przedsiębiorstwa. Przykładowo w elektrowni są to:
  - turbospół,
  - turbopompa,
  - elektropompa;
- maszyny quasi-krytyczne, tzn. takie, które na ogół nie posiadają rezerwowania i mimo że ich koszt inwestycyjny nie jest tak znaczący, jak w przypadku maszyn krytycznych, to ich awaria wpływa na prace maszyn krytycznych i w konsekwencji rzutuje na osiągnięty wynik ekonomiczny przedsiębiorstwa. Przykładowo w elektrowni są to:
  - wentylatory spalin,
  - wentylatory podmuchu,
  - wentylatory młynowe,
  - młyny węglowe,
  - pompy cyrkulacyjne kotła,
  - wentylatory ROFA,
  - napędy przenośników węgla;
- maszyny pomocnicze, tzn. takie, które posiadają rezerwę, a ich koszt inwestycyjny jest niewielki w porównaniu z maszynami krytycznymi. Są to wszystkie pozostałe maszyny. Jest ich najwięcej w elektrowni.

Podział ten odpowiada bieżącej sytuacji w krajowej elektrowni na węgiel kamienny, mającej bloki o mocy 360 MW. Należy się liczyć z tym, że w ślad za światową tendencją obejmowania systemami monitorowania online coraz większej liczby maszyn pracujących w przedsiębiorstwach podział ten w miarę upływającego czasu będzie ulegał zmianie.

W interesie przedsiębiorstwa jest posiadanie jednolitego systemu akwizycji danych diagnostycznych dla wszystkich wymienionych grup maszyn. Przedstawia to rys. 1.

Systemy monitorowania dzielą się na [1]:

- systemy monitorowania i zabezpieczeń: są to z reguły systemy działające w trybie online. Stosowanie systemów online jest wymagane w stosunku do wszystkich maszyn krytycznych i quasi-krytycznych. Przez tryb online rozumie się, że pomiary odbywają się w czasie normalnej eksploatacji maszyn. Wszystkie pomiary włączone do systemu monitorowania są przetwarzane równolegle (w czasie) i mogą spowodować wyłączenie maszyny po przekroczeniu odpowiedniej wartości sygnału diagnostycznego;
- systemy monitorowania bez wykorzystywania funkcji zabezpieczeń.

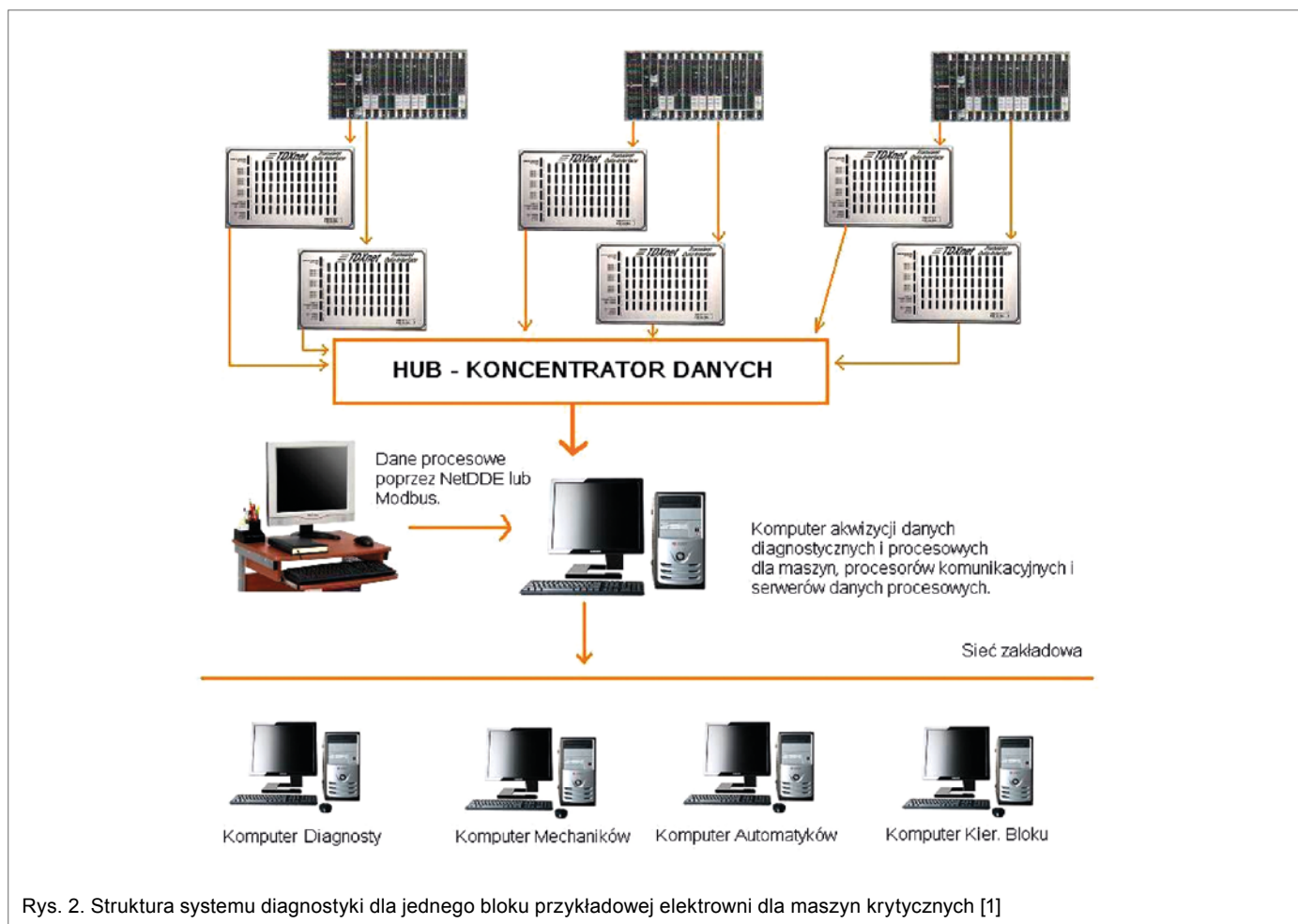
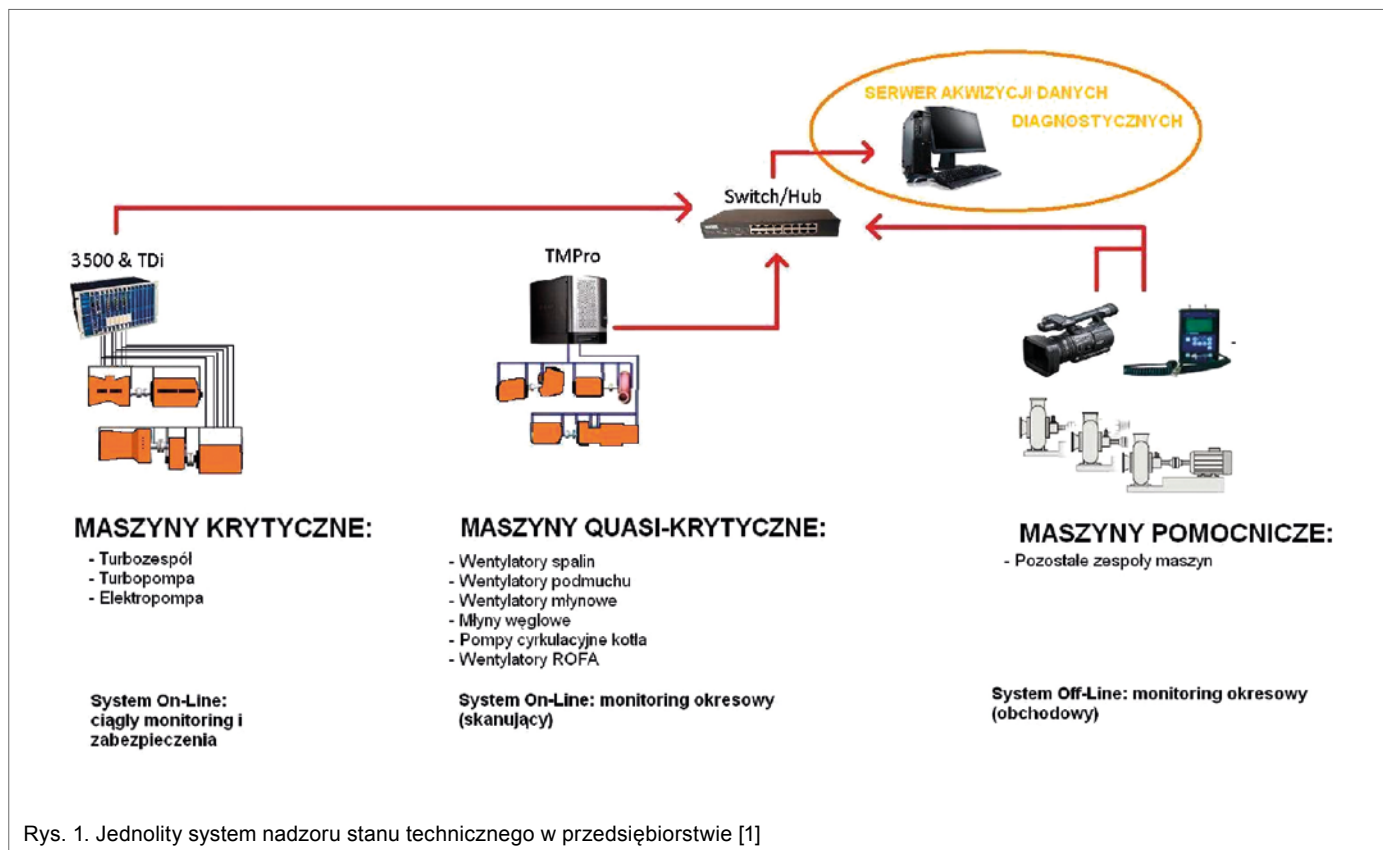
Strukturę systemu diagnostyki przykładowej elektrowni dla maszyn krytycznych jednego bloku przedstawiono na rys. 2. Struktura systemu diagnostyki maszyn jest przejrzysta. Wy różnić można wyraźnie poziom systemów monitorowania i zabezpieczeń, poziom zbierania danych z systemów moni-

torowania i ich wstępnej obróbki, połączonej z buforowaniem, poziom akwizycji danych w jednym systemie diagnostycznym Data Manager oraz poziom dostępu użytkowników z różnych komórek specjalizowanych korzystających z zapisanych danych [1].

## **2. Wymagania ogólne systemu nadzoru stanu technicznego maszyn**

### ***Wymagania wobec oprogramowania diagnostycznego [1]***

- Integracja na wspólnej platformie aplikacyjnej zadań związanych z monitoringiem maszyn wirnikowych, zarządzaniem danymi, analizą danych (diagnostyką), raportowaniem i wymianą danych z systemami zewnętrznymi.
- Integracja różnorodnych technologii diagnostycznych w ramach jednej spójnej bazy danych diagnozowanych urządzeń (diagnostyka drganiowa, diagnostyka olejowa, diagnostyka ultradźwiękowa, diagnostyka termograficzna, diagnostyka parametrów elektrycznych silników). Baza musi mieć możliwość zarządzania wielkościami pomiarowymi w postaci liczb (np. dla systemów pomiarów drgań), jak również możliwość gromadzenia trendów, analiz i dokumentów w postaci obrazów, plików pdf i innych, np. pochodzących z rejestracji termowizyjnej, oraz umożliwiać zarządzanie tymi dokumentami. Powinna również umożliwiać dokonywanie powiązań różnych dokumentów i analiz diagnostycznych oraz tworzenie archiwów dla poszczególnych maszyn zawierających między innymi analizy, zdarzenia i raporty.



DIAGNOSTYKA

- Gromadzenie pomiarów w stanach ustalonych i nieustalonych w celu późniejszego ich odtworzenia, analizy i porównania z danymi historycznymi.
- Prowadzenie akwizycji danych pomiarów drgań dla stanów nieustalonych z rozdzielczością i pasmem dostosowanymi do diagnozowanych urządzeń.
- Prowadzenie akwizycji danych pomiarów drgań dla stanów ustalonych w trakcie normalnej pracy z rozdzielczością i w paśmie wystarczającym dla celów diagnostyki predykcyjnej.
- Prowadzenie akwizycji danych w stanach alarmowych, gdzie wszystkie potrzebne do analizy dane z ustalonych okresów czasu sprzed wystąpienia zdefiniowanego alarmu i po jego wystąpieniu będą archiwizowane z maksymalną rozdzielczością.
- Prowadzenie akwizycji danych i ich gromadzenie w oparciu o stan parametrów technologicznych, takich jak: obciążenie maszyny, stopień ustawienia klap wentylatorów, obroty, prąd silnika itp.
- Przetwarzanie danych i prowadzenie diagnostyki łożysk tocznych i przekładni mechanicznych, umożliwiające bardzo wczesne wykrywanie początku degradacji elementów tych urządzeń wraz z możliwością określenia trendu zachodzących zmian (przenośny wielokanałowy przyrząd – system pomiarowy).
- Zarządzanie dokumentacją nadzorowanych urządzeń, możliwość eksportu danych diagnostycznych do systemów zewnętrznych oraz zdalny kontrolowany dostęp do aplikacji diagnostycznej.
- Możliwość sporządzania zbiorczych raportów dla poziomu zarządczego, włączając w to wizualizacyjne narzędzia graficzne.
- Budowania bazy danych urządzeń na podstawie bibliotek typowych elementów.
- Prowadzenie zautomatyzowanej diagnostyki parametrów mechanicznych nadzorowanych urządzeń i określenia trendu potencjalnych zmian tych parametrów.
- Możliwość ustawiania poziomu alertów (alarmów) w oparciu o zgromadzone dane i ich analizę statystyczną.

Dane diagnostyczne uzyskane na podstawie analizy drganiowej stanu maszyny/urządzenia z monitorów obiektowych PD będą danymi wejściowymi dla poziomu diagnostycznego opartego o platformę serwera PD, wyposażonego w stosowne oprogramowanie analityczne. Celem zapewnienia efektywnej pracy poziomu analitycznego będzie możliwość wprowadzenia do bazy danych PD szczegółowych parametrów fizycznych monitorowanych maszyn/urządzeń, np. rodzaj łożysk, parametry wirników itp.

### ***Wymagania wobec interfejsu użytkownika***

System musi posiadać łatwy w użyciu interfejs, który będzie prezentował informacje o stanie i statusie nadzorowanych urządzeń oraz umożliwiał korelację danych diagnostycznych między sobą oraz z danymi procesowymi, będzie posiadał możliwość prezentacji danych na zdalnych i lokalnych komputerach. Ponadto interfejs użytkownika PD musi posiadać minimum następującą funkcjonalność (użytkownik będzie miał możliwość jego rozbudowy przy użyciu elementów graficznych standardowych oraz przez siebie zdefiniowanych):

- Hierarchiczny graficzny podział obiektu na obszary, instalacje, urządzenia.

- Wizualizację poszczególnych zestawów maszynowych. Wizualizację poszczególnych elementów monitorowanej maszyny.
- Sygnalizację poprawnej pracy lub błędu poszczególnych kanałów systemu zabezpieczeń.
- Prezentację wartości bieżących parametrów zdefiniowanych dla poszczególnych punktów pomiarów drgań, takich jak: wartość ogólna, amplituda oraz faza dla 1X (1 harmoniczna częstotliwości od prędkości obrotowej maszyny) oraz 2X (2 harmoniczna częstotliwości od prędkości obrotowej maszyny), status alarmu, status przetworników i czujników pomiarowych.

### Wymagania wobec narzędzi diagnostycznych

System na poziomie oprogramowania musi być wyposażony w zaawansowane narzędzia diagnostyczne przydatne dla diagnostów w zakresie planowania przeglądów/remontów, szczegółowej diagnostyki uszkodzeń, a także analizy przyczyny powstawania uszkodzeń. Dla podniesienia efektywności prowadzonej diagnostyki narzędzia diagnostyczne zawarte w systemie będą wspomagać osoby odpowiedzialne za prowadzenie diagnostyki (Wydział Kontroli Jakości i Diagnostyki) przynajmniej w następującym zakresie [1]:

- Wizualizacja alertów (alarmów) i zdarzeń diagnostycznych powiązana z możliwością bezpośredniego przejścia do konkretnych obszarów/instalacji i urządzeń.
- Konieczna możliwość podzielenia przedsiębiorstwa na obszary/instalacje z przydzieleniem praw dostępu do tych obszarów zdefiniowanym użytkownikom (realizacja w zakresie wykonawcy).
- Konieczna możliwość predefiniowania środowiska diagnostycznego i ustawień/parametrów narzędzi diagnostycznych przez poszczególnych użytkowników.
- Konieczna możliwość predefiniowania osobistego pulpitu przez poszczególnych użytkowników systemu.
- W trakcie odtwarzania danych zgromadzonych w pamięci masowej będą dostępne wszystkie narzędzia diagnostyczne w sposób, w jaki są one dostępne podczas diagnostyki danych bieżących.
- W celu wykrycia okresowo pojawiających się anomalii w działaniu urządzeń system musi mieć dostępne narzędzia pozwalające na dokonanie korelacji i autokorelacji gromadzonych danych.
- System musi być wyposażony w funkcję tzw. „szybkiego trendu” oraz „trendu długookresowego” dla danych historycznych; gromadzenie danych pomiarowych będzie również wyzwalane zdarzeniowo.
- Konieczna możliwość prezentowania danych pomiarowych w postaci przebiegu czasowego wibracji (*Waveform*) z możliwością ich zapisywania w pamięci masowej i wielokrotnego odtwarzania.
- Konieczna możliwość kreślenia wykresów kołowych (orbit), ich rejestrowania i odtwarzania.
- Konieczna możliwość kreślenia charakterystyki położenia wału w łożysku (tzw. *Shaft Centerline*) dla obserwacji w czasie rzeczywistym uśrednionej pozycji wału w łożysku, rejestrowania tych danych oraz swobodnego odtwarzania danych archiwalnych.
- Konieczna możliwość prezentowania widma sygnału (spektrum) dla zgromadzonych danych pomiarowych, ich zachowywania w pamięci masowej oraz ich swobodnego odtwarzania.

- Konieczna możliwość kreślenia wielu kolejnych widm jednego sygnału na pojedynczym wykresie (tzw. charakterystyka *Waterfall*).
- Konieczna możliwość kreślenia widm kaskadowych.
- Kreślenia charakterystyk Bodego na podstawie danych bieżących oraz danych gromadzonych w stanach nieustalonych (dane typu *transient*).
- Konieczna możliwość nakładania wielu wykresów danych historycznych na wykres podstawowy.
- Konieczna możliwość śledzenia zmian w poszczególnych kanałach pomiarowych.
- Sporządzanie dokumentacji diagnostycznej, sporządzanie raportów, udostępnianie wyników diagnostyki w sieci intranetowej przedsiębiorstwa.

### 3. System nadzoru maszyn – długofalowa koncepcja rozwoju w przedsiębiorstwach

Wspólczesne uwarunkowania rynkowe stawiają wysokie wymagania przed wszystkimi firmami uczestniczącymi w konkurencyjnej rywalizacji o odbiorcę usług lub produktów [1–8]. Tak jest między innymi w przedsiębiorstwach energetycznych. Jedną z możliwych dróg obniżenia kosztów działalności w elektrowniach, elektrociepłowniach i ciepłowniach, w których istotnymi elementami procesu technologicznego są maszyny różnej wielkości i przeznaczenia, jest objęcie całego parku maszynowego kompleksowym programem zabezpieczenia, diagnostyki i zarządzania maszynami (systemem nadzoru maszyn). Dla maszyn krytycznych, decydujących o ciągłości lub wielkości produkcji, z reguły o wysokich kosztach zakupu i remontów, powinny to być systemy działające w sposób ciągły, pracujące online. Systemy takie winny prowadzić równoległą, ciągłą analizę wielkości dostarczonych ze specjalizowanych czujników, porównując uzyskane sygnały z zaprogramowanymi wcześniej poziomami granicznymi. Bez ingerencji operatora powinny sprowadzać maszynę do stanu bezpiecznego w przypadku ich przekroczenia [1, 2, 6, 7].

Rodzaje pomiarów, informujących o istotnych z punktu widzenia bezpieczeństwa i dynamiki parametrach pracy poszczególnych maszyn, zależą od konstrukcji tych maszyn, warunków ich pracy, rodzaju łożyskowania i innych elementów, które uwzględniane są na etapie doboru poprawnego oczujnikowania [1, 2, 6, 7].

System monitorowania i zabezpieczeń realizuje funkcję ochrony maszyn przed uszkodzeniami lub katastrofalnymi zniszczeniami w sytuacjach pogorszenia się jej stanu dynamicznego. System taki w połączeniu z odpowiednimi torami pomiarowymi pozwala zrealizować pełny nadzór i ochronę takich zespołów maszynowych, jak turbozespoły, pompy zasilające, sprężarki, kompresory, pompy, wentylatory i inne zespoły pełniące kluczowe funkcje w procesie produkcyjnym i bezpośrednio wpływające na wynik finansowy przedsiębiorstwa energetycznego.

Uwarunkowania rynkowe wymusiły już praktycznie odejście od remontów zapobiegawczych uwarunkowanych czasem na rzecz remontów wynikających ze stanu technicznego. Zupełnie niepożądane i najbardziej kosztowne są remonty poawaryjne [1, 2, 6, 7].

Informacja o szybkości zmian stanu technicznego pozwala określić przewidywany czas niezbędny do dokonania naprawy maszyny, w wielu sytuacjach zakres takiej naprawy, a zatem

w konsekwencji czas potrzebny na realizację zaplanowanych prac. Znajomość zakresu naprawy umożliwi przygotowanie odpowiednich zasobów wykonawczych, także części zamiennych, co w efekcie daje dobrą organizację prac naprawczych przy minimalizacji ich kosztów i minimalizacji kosztów wyłączenia urządzenia z procesu produkcyjnego. Można powiedzieć, że właściwa gospodarka remontowa prowadzi do całkiem nowego pojęcia związanego z eksploatacją posiadanego parku maszynowego – zarządzania maszynami.

Koniecznością dnia dzisiejszego [1] jest nie tylko ochrona ludzi, maszyn i środowiska. Koniecznością jest Zarządzanie Maszynami prowadzące do obniżenia kosztów produkcji, wyboru do eksploatacji maszyn o najlepszym stanie technicznym, planowania zarówno zakresów, jak i kosztów remontów.

Osiągnięcie tych celów jest możliwe, gdy systemy nadzoru maszyn zostaną nadbudowane systemami akwizycji danych diagnostycznych, ich archiwizacji i wizualizacji, systemami przetwarzania tych danych i ich analizy oraz systemami dostarczającymi informację o stanie maszyn.

## Literatura

- [1] DWOJAK J.: *Opracowanie efektywnej diagnostyki eksploatacyjnej zespołów maszynowych w energetyce na przykładzie PGE Elektrowni OPOLE SA*. Rozprawa doktorska, Wydział Elektrotechniki, Automatyki i Informatyki, Pol. Opolska, Opole 2012.
- [2] DWOJAK J., SZYMANIEC S.: *Diagnostyka eksploatacyjna zespołów maszynowych w energetyce*. Wyd. Oficyna Wydawnicza Politechniki Opolskiej 2013, Opole, Studia i Monografie, Zeszyt 344.
- [3] KACPERAK M.: *Diagnostyka eksploatacyjna napędów elektrycznych w przemyśle cementowym na przykładzie Cementowni ODRA SA*. Rozprawa doktorska, Wydział Elektrotechniki, Automatyki i Informatyki, Pol. Opolska, Opole 2012.
- [4] KANDORA W.: *Diagnostyka off-line izolacji uzwojeń maszyn elektrycznych wykonanych w technologii Resin-Rich*. Rozprawa doktorska, Wydział Elektrotechniki, Automatyki i Informatyki, Pol. Opolska, Opole 2012.
- [5] STONE G.C., BOULTER E.A., CULBERT I., DHIRANI H.: *Electrical insulation for rotating machines*. IEEE PRESS series on Power Engineering, USA 2004.
- [6] SZYMANIEC S.: *Diagnostyka stanu izolacji uzwojeń i stanu łożysk silników indukcyjnych klatkowych w warunkach przemysłowej eksploatacji*. Studia i Monografie, Zeszyt 193. Oficyna Wydawnicza Politechniki Opolskiej, Opole 2006.
- [7] SZYMANIEC S.: *Badania, eksploatacja i diagnostyka zespołów maszynowych z silnikami indukcyjnymi klatkowymi*. Wyd. Oficyna Wydawnicza Politechniki Opolskiej 2013, Opole, Studia i Monografie, Zeszyt 333.
- [8] TECHNICAD; TNC 2010 aparatura do nadzoru maszyn wirnikowych. Nota Aplikacyjna, Gliwice 2000.

dr hab. inż. Sławomir Szymaniec – prof. PO. Politechnika Opolska,  
Wydział Elektrotechniki, Automatyki i Informatyki.  
Instytut Elektrotechniki Przemysłowej i Diagnostyki.  
e-mail: s.szymaniec@po.opole.pl