

# I N Ż Y N I E R I A & UTRZYMANIE RUCHU

Zakładów  
Przemysłowych

STYCZEŃ/LUTY 2015 NR 1 (106) ROK XII

X edycja konkursu

## Produkt Roku 2014

Temat numeru

Nowoczesne środki smarne 40

Raport

Urządzenia techniki liniowej 44

IT dla przemysłu

Optymalizacja działania  
z wykorzystaniem  
systemów CMMS 52



Diagnostyka, monitorowanie  
i regulacja

WIVID



**Alitec**  
Analizator drgań

Urządzenia i maszyny  
z napędem elektrycznym,  
silniki elektryczne



**UTECH TECHNICS**  
Energoozczędny zasilacz  
hydrauliczny – typ EZH

Środki smarne



**ExxonMobil Poland**  
Mobil SHC™ Rarus

Usługi dla przemysłu



**MODUS**  
Audyt energetyczny  
przedsiębiorstwa

Zgłośnij na Produkt Roku 2014!  
[www.pr.utzymanieruchu.pl](http://www.pr.utzymanieruchu.pl)



Magazyn wydawany jest na licencji

**PLANT  
ENGINEERING**



# Predykcyjne utrzymanie ruchu

Predykcja stanów maszyn lub procesów przemysłowych rozumiana jest jako ogół czynności pozwalających na określenie przyszłych stanów obiektu na bazie zbioru wartości bieżących parametrów. Kompleksowe wdrożenie wszystkich elementów zawartych w metodologiach predykcyjnego utrzymania ruchu wymaga zrozumienia narzędzi oraz ograniczeń związanych z eksploatacją maszyn.

dr inż. Mariusz Hetmańczyk  
EMT-Systems Sp. z o.o.

**S**pośród wielu rozwiązań w ostatnim czasie dominują dwa podejścia – metody obsługi technicznej maszyn: zależnej od stanu maszyny PdM/PTI (ang. *Predictive Maintenance/Predictive Testing and Inspection*) oraz proaktywnej RCM (ang. *Reliability Centered Maintenance*).

Podstawowym założeniem predykcyjnego utrzymania ruchu jest podjęcie czynności prewencyjnych w fazie pogorszenia się parametrów pracy maszyn lub procesów, w celu zapobiegania groźnym w skutkach awariom i związanym z nimi przestojom.

## Monitorowanie parametrów jest podstawowym elementem służącym do redukcji kosztów eksploatacji systemów technicznych.

Do narzędzi PdM należą m.in.: monitorowanie parametrów wydajności, nieinwazyjne techniki testowania oraz kontrola wzrokowa. W zakresie dostępnych metod możliwe jest zastosowanie rozpoznawania wzorców, analizy trendów oraz korelacji, statystycznej analizy danych, monitorowania progów alarmowych.

Wdrożenie monitorowania online w odniesieniu do wszystkich maszyn mija się z celem (pomimo wyraźnej poprawy bezpieczeństwa oraz jakości pracy), a także skutkuje znacznym wzrostem nakładów inwestycyjnych. W przypadku metody PdM ważne jest przeprowadze-

nie analizy krytyczności, prowadzącej do wyodrębnienia trzech grup maszyn: krytycznych, istotnych oraz ogólnego zastosowania.

Klasyfikacja może zostać dokonana pod względem różnych kryteriów (tab. 1) i w dużym stopniu zależy od decyzji służb utrzymania ruchu, diagnostów oraz kierownictwa konkretnego zakładu. Pomimo ostro zdefiniowanych kryteriów przyporządkowanie może prowadzić do różnych rezultatów.

Predykcja w systemach technicznych ma sens w przypadku osiągnięcia korzystnego stosunku korzyści do poniesionych nakładów. W odniesieniu do przedstawionej klasyfikacji oraz wyodrębnionych grup maszyn:

- krytycznych – wymagane jest monitorowanie online parametrów wpływających na utratę jakości i bezpieczeństwa,
- istotnych – zalecane jest prowadzenie pomiarów okresowych z analizą trendów,
- ogólnego zastosowania – możliwa jest implementacja pomiarów okresowych, jednak w wielu przypadkach wystarczające jest przyjęcie prewencyjnej metody eksploatacji (z planowaniem harmonogramu remontów).

### Charakterystyka metody PdM

Skuteczność modelu predykcyjnego UR jest ściśle uzależniona od wiedzy wymaganej na etapach:



- planowania struktury fizycznej modelu – klasyfikacja maszyn, dobór metody pozyskiwania danych procesowych, identyfikacja kluczowych parametrów oraz określenie efektywności zastosowanych narzędzi (w tym: przybliżonego okresu zwrotu nakładów inwestycyjnych, kosztu użytkowania narzędzi, szkoleń pracowników itp.),
- wdrożenia – prawidłowe skonfigurowanie systemu z warunkiem uwzględniającym uzyskanie odporności na zakłócenia, określenie ścieżki diagnostycznej oraz okresu pomiarów,
- użytkowania – wiedza oraz doświadczenie pozwalające na określenie przybliżonego czasu do wystąpienia awarii oraz wnioskowanie dotyczące ewentualnych przyczyn, lokalizacji oraz zakresu awarii lub uszkodzenia.

Do zalet wdrożenia metody PdM należą:

- zmniejszenie kosztów awarii oraz minimalizacja sumarycznego czasu przestoju,
- możliwość obserwacji bieżących parametrów pracy maszyny oraz analiza ich stanu,
- poprawa bezpieczeństwa pracy oraz zwiększenie jakości produkcji,
- brak konieczności używania skomplikowanych statystycznych modeli niezawodności maszyn, na korzyść z zastosowania znanych metod diagnozy (opartych na normatywach) lub relacjach pomiędzy sygnałami diagnostycznymi,
- zmniejszenie wpływu oraz eliminacja uszkodzeń wtórnych (tj. wynikających ze szkodliwego wpływu drgań, podwyższonych temperatur, powiększenia

- luzów uszkodzonych elementów), co wpływa bezpośrednio na wydłużenie czasu działania maszyny,
- zmniejszenie czasu potrzebnego na naprawę (zarejestrowanie spadku jakości pracy poniżej dopuszczalnego progu, z jednoczesną lokalizacją uszkodzenia, pozwala na zamówienie części oraz przygotowanie narzędzi do wykonania naprawy),
- opracowanie procedur lub działań zapobiegających dalszemu pogarszaniu stanu (w tym automatycznych urządzeń zabezpieczających).

Przeszkodę we wdrożeniu PdM stanowią koszty związane z koniecznością zastosowania zaawansowanego systemu monitorowania, zakupu analizatorów oraz ciągłego podwyższania kwalifikacji kadr.

Jako wyznacznik poprawnego wdrożenia predykcyjnego utrzymania ruchu można zastosować ogólnie przyjęte wskaźniki, w postaci:

- OEE (ang. *Overall Equipment Effectiveness*) Całkowita Efektywność Sprzętu – implementacja PdM powinna spowodować wyraźny wzrost wskaźnika,
- MTBF (ang. *Mean Time Between Failure*) Średni Czas Bezawaryjnej Pracy – zwiększenie wskaźnika przy jednoczesnym zmniejszeniu wskaźnika MTTR (ang. *Mean Time To Repair*) Średniego Czasu Usunięcia Awarii.

W przypadku wskaźnika OEE, przy zastosowaniu technik PdM, możliwe jest ograniczenie strat dostępności (awarii oraz regulacji), zwiększenie wykorzystania (czasy zatrzymania) oraz jakości (uzyskanie braków, złomu, konieczności poprawek). Pozostałe składowe strat (przebrożenia, czasu pracy jałowej, rozruchu oraz wygaszania maszyn) zawierają się raczej w domenie metod zarządzania oraz przyjętej technologii.

### Metody i narzędzia modelu eksploatacji PdM

Głównym zagrożeniem i wypaczeniem modelu eksploatacji zależnej od stanu maszyny jest niewłaściwe zrozumienie możliwości ukrytych w metodach i narzędziach PdM (rys.).

Przekroczenie ustalonego progu alarmowego informującego np. o zużyciu łożyska oraz podjęcie decyzji o jego

Zródło: Autor

**Tabela 1. Kryteria podziału maszyn ułatwiające ustalenie sposobu pomiaru oraz odmiany wdrożonej metody eksploatacji**

Maszyny	Kryteria klasyfikacji
Wyposażenie i maszyny krytyczne (awaria wpływa na stan bezpieczeństwa zakładu przemysłowego)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• maszyny istotne w procesie produkcyjnym (awaria powoduje istotną redukcję wydajności),</li> <li>• jednostki napędowe, których nie można zdublować lub o dużej mocy użytkowej,</li> <li>• maszyny o dużym koszcie zakupu, utrzymania oraz długim czasie remontu lub naprawy,</li> <li>• maszyny, których uszkodzenie następuje w wyniku nieznaczących zakłóceń przebiegu pracy,</li> <li>• maszyny umożliwiające poprawę wydajności lub zwiększenie jakości produkcji.</li> </ul>
Wyposażenie i maszyny istotne (awaria może spowodować zaburzenie bezpieczeństwa zakładu oraz znaczną redukcję wydajności wydziału lub części procesu produkcyjnego)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• maszyny w przypadku których mogą występować (lub nie) jednostki redundantne,</li> <li>• możliwość rozruchu (po naprawie), która może wpływać na parametry procesu produkcyjnego,</li> <li>• jednostki napędowe o dużej mocy oraz liczbie obrotów pracujące w cyklu przerywanym,</li> <li>• maszyny, w których stosuje się model eksploatacji oparty na czasie,</li> <li>• maszyny o średnim koszcie oraz czasie naprawy,</li> <li>• maszyny, których uszkodzenie następuje w wyniku postępującego czasu (brak nagłych awarii).</li> </ul>
Wyposażenie i maszyny ogólnego zastosowania (awaria nie wpływa na bezpieczeństwo zakładu przemysłowego)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• urządzenia lub maszyny nieklasyfikowane do zbioru krytycznych,</li> <li>• maszyny zdublowane lub pracujące na żądanie,</li> <li>• maszyny o niskim koszcie oraz krótkim czasie naprawy (ryzyko wystąpienia kolejnej awarii po naprawie określone jako minimalne).</li> </ul>



wymianie jest jak najbardziej poprawnym postępowaniem. W tym miejscu pojawia się jednak pułapka. Jej uniknięcie wymaga sprawdzenia okresu pomiędzy kolejnymi wymianami. Warto obserwować grupy podobnych maszyn oraz okresy zużycia poszczególnych podzespołów. Zbyt częsta wymiana łożyska w jednym przypadku może być spowodowana niewyważeniem, rozosiowaniem maszyn lub innymi czynnikami skracającymi żywotność węzła łożyskowego.

Monitorowanie zmienności parametrów pozwala na określenie progów alarmowych. Po przekroczeniu zdefiniowanych wartości wymagane jest podjęcie czynności prewencyjnych lub naprawczych.

Do jednej z najpopularniejszych metod PdM należy diagnostyka drganiowa, służąca najczęściej ocenie stanu łożysk maszyn i napędów. Istotną barierą dla innych metod stanowi ciągle niski poziom wiedzy oraz wysoki koszt wdrożenia narzędzi specjalistycznych.

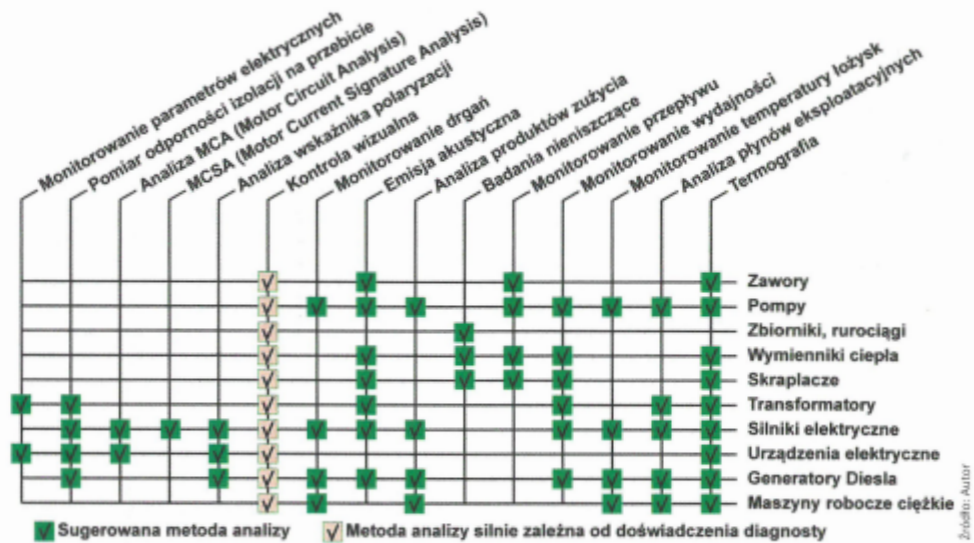
Monitorowanie parametrów jest podstawowym elementem służącym do redukcji kosztów eksploatacji systemów technicznych. W przypadku napędów:

- elektrycznych – dostępne metody skupiają się wokół diagnostyki drganiowej, monitorowania parametrów elektrycznych, stanu hamulców oraz środków smarnych,
- pneumatycznych oraz hydraulicznych – zapobieganie awariom może zostać zrealizowane przez planowe wykonywanie przeglądów (wymianę filtrów, uszczelnień, cieczy hydraulicznych), kontrolę przecieków oraz stanu medium roboczego.

W wielu zakładach produkcyjnych można zaobserwować zaburzoną wymianę informacji między działami, a nawet grupami pracowników odpowiedzialnych za obsługę konkretnych maszyn na jednym wydziale. Wdrożenie modelu PdM w takich warunkach z pewnością nie przyniesie oczekiwanych efektów.

Diagnostyka maszyn i systemów produkcyjnych musi być wspomaganą zaawansowanym oprzyrządowaniem (nie zawsze o strukturze zamkniętej, tj. bez możliwości rozbudowy) oraz doświadczeniem pracowników.

Jeżeli zespół wdrażający model PdM charakteryzuje się wysoką znajomością



Rys. Zastosowanie metod PdM w diagnostyce wybranych maszyn i urządzeń.

maszyn, można pokusić się o zbudowanie systemu diagnostycznego opartego na monitorowaniu online oraz reguły diagnostyczne zdefiniowane przez służby utrzymania ruchu. Zaletą takiego rozwiązania jest możliwość użycia uniwersalnych narzędzi, które mogą być konfigurowane oraz swobodnie rozbudowywane (w miarę potrzeb), według bieżących wymagań użytkownika. W opracowaniu systemu pozyskiwania danych procesowych należy zwrócić uwagę na:

- wymagania związane z architekturą rozważanego systemu urządzeń i maszyn:
  - scentralizowaną – możliwość zastosowania lokalnej wizualizacji danych w postaci paneli HMI oraz procedur diagnostycznych zapisanych w sterowniku PLC,
  - rozproszoną – z zastosowaniem systemów SCADA, modułów IO oraz magistral sieci przemysłowych,
- czujniki pomiarowe – wybór czujników procesowych powinien uwzględniać charakter i typ wielkości mierzonej (temperatura, ciśnienie, przepływ, przemieszczenie, obecność itp.), wyposażenie w interfejsy sieciowe, dokładność, sposób pomiaru, konieczność kalibracji oraz zakupu dodatkowego oprzyrządowania,
- dostępność do mierzonych parametrów – punktowa (kontrolki, wyświetlacze, wieżyczki sygnalizacyjne) lub zdecentralizowana (z użyciem magistral sieci przemysłowych).

## Dokumentacja w procesie budowy modelu predykcyjnego

Budowa predykcyjnego modelu utrzymania ruchu jest złożonym zadaniem, które obejmuje konieczność uwzględnienia informacji zawartych w dokumentacji. Do zbioru podstawowych elementów należy dokumentacja:

- techniczno-ruchowa – obejmująca: zestawienie parametrów technicznych, rysunki (wykonawcze i złożeniowe), wykazy (wyposażenia normalnego i specjalnego), schematy (zabudowy, kinematyczne, elektryczne oraz pneumatyczne), instrukcje (użytkowania, obsługi, konserwacji i smarowania, BHP), zalecane normatywy remontowe producenta, wykazy (części zamiennych oraz zapasowych),
- przebiegu eksploatacji – zawierająca historię przebiegu pracy maszyny oraz aktualne zapisy uwag eksploatacyjnych pracowników służb utrzymania ruchu,
- zakresu oraz spodziewanych wartości monitorowanych zmiennych – czasami odbiegających od normatywów.

Częstym przypadkiem w praktyce przemysłowej jest przekroczenie dopuszczalnych progów zdefiniowanych przez normy (np. grupy norm ISO 10816 oraz ISO 7919), a mimo to maszyny nie podlegają szybkiemu zużyciu. Zaistnienie takiego stanu rzeczy wymusza konieczność głębszej analizy. Źródłem błędu jest fakt, że



w wielu przypadkach stan nowo zainstalowanych maszyn traktuje się jako punkt odniesienia do dalszej ich oceny. W przypadku spełnienia wszystkich wymagań (montażowych, konfiguracyjnych oraz eksploatacyjnych) można się posłużyć bieżącymi parametrami pracy nowych maszyn jako wartościami wzorcowymi. Nieprawidłowości mogą się pojawić w każdym elemencie (niewłaściwe usadowienie maszyn, parametry zasilania, luźne połączenia mechaniczne, niedokładności wykonania itp.). Należy więc mieć na uwadze trzy podstawowe grupy błędów związanych z etapami: konstrukcji, montażu oraz eksploatacji wstępnej.

### Wdrożenie predykcyjnego utrzymania ruchu

Wdrożenie systemu eksploatacji PdM obejmuje następujące kroki:

- identyfikację potrzeb – określenie dotychczasowej awaryjności oraz przebiegu pracy obiektów (np. na bazie wskaźników), liczby oraz zakresu zmienności parametrów jednoznacznie identyfikujących stan analizowanego obiektu,
- analizę zasadności wdrożenia – z uwzględnieniem krytyczności maszyn oraz oceny alternatywnych metod rzutujących bezpośrednio na możliwość poprawy stanu bezpieczeństwa, jakości oraz wydajności produkcji,
- wykonanie zestawień (wyposażenia, procedur, wymagań) oraz określenie kosztów wdrożenia – etap decyzyjny, w którym może nastąpić zmiana założeń,
- wdrożenie – etap wymaga zdefiniowania toku postępowania pozwalającego na implementację sprzętu i wyposażenia, z jednoczesną możliwością okresowego spadku jakości lub wydajności maszyn czy całych linii,
- ocenę oraz korektę – kontrola działania i efektów, pozwalająca na identyfikację słabych punktów zastosowanych rozwiązań oraz ich usunięcie.

Wdrożenie kompleksowego programu diagnostyki predykcyjnej wymaga ścisłej współpracy służb utrzymania ruchu, kadry kierowniczej oraz operatorów maszyn. Wielu ekspertów branżowych zwraca uwagę w szczególności na tych ostatnich, gdyż to właśnie pracownicy



liniowi i operatorzy w praktyce realizują procedury zarządzania produkcją i diagnostyki na najniższym poziomie struktur zakładowych. W celu usprawnienia działania systemu zalecane jest także opracowanie procedur postępowania w przypadku wystąpienia konkretnych awarii maszyn.

### Podsumowanie

Wdrożenie predykcyjnego modelu PdM jest możliwe w trzech wzajemnie uzupełniających się wariantach:

- nadzoru trendów – diagnoza oparta na bazie przekroczenia zdefiniowa-

nych progów alarmowych, co wymusza konieczność wykonania pomiarów w stałych odcinkach czasu i okresowej kontroli metodami nieinwazyjnymi,

- pomiarów jakościowych – diagnoza oparta na wiedzy operatora, a częstotliwość pomiaru uzależniona od wizualnej oceny pogorszenia parametrów pracy maszyny,
- pomiarów ilościowych – opartych na metodzie CM (ang. *Condition Monitoring*) – Monitoringu Stanu, obejmującej rejestrację parametrów online, ich archiwizację oraz analizę.

**Tabela 2. Przegląd dostępnych technik w ramach metody oceny stanu zgodnej z założeniami PdM**

Techniki PdM	Analizowane elementy/parametry
Monitorowanie drgań	<ul style="list-style-type: none"> <li>• pomiar RMS (ocena poziomu drgań łożysk)</li> <li>• analiza widma FFT (łożyska, przekładnie, wentylatory, pompy, turbiny, napędy; identyfikacja postępu zużycia, niewyważenia, rozosiowania maszyn)</li> <li>• analiza obwiedni (łożyska oraz przekładnie zębate)</li> <li>• analiza cepstrum (łożyska oraz przekładnie zębate)</li> <li>• analiza sygnału czasowego (losowe sygnały drganiowe)</li> <li>• analiza orbity (wały oraz osie)</li> <li>• pomiar fazy (wyodrębnienie z widma FFT częstotliwości odpowiadających niewyważeniu, błędów osiowania, nadmiernych luzów maszyn)</li> <li>• metoda impulsów uderzeniowych SPM (ang. <i>Shock Pulse Method</i>; ocena stanu łożysk)</li> <li>• analiza widma różnicowego (analiza porównawcza widm; różne urządzenia i maszyny)</li> <li>• badania rezonansowe (identyfikacja częstotliwości własnych maszyn i konstrukcji mechanicznych)</li> </ul>
Monitorowanie parametrów elektrycznych	<ul style="list-style-type: none"> <li>• badania odporności na przepięcie obwodów elektrycznych</li> <li>• analizy MCA (analiza kształtu przebiegu, rejestracja zakłóceń, analiza przebiegów przejściowych) oraz MCSA</li> <li>• termografia aktywna</li> <li>• analiza spektrum natężenia prądu silnika</li> <li>• pomiary rezystancji oraz impedancji</li> <li>• analiza stanu oleju transformatorowego</li> <li>• reflektometria (analiza w dziedzinie czasu)</li> <li>• analiza prądów oraz czasów rozruchu/hamowania</li> <li>• analiza współczynnika mocy oraz zniekształceń harmonicznych przebiegu natężenia prądu</li> </ul>
Analiza stanu środków smarnych oraz produktów zużycia	<ul style="list-style-type: none"> <li>• zliczanie cząstek oraz ferrografia (z czujnikami do odczytu bezpośredniego oraz analityczna)</li> <li>• spektroskopia emisyjna oraz w podczerwieni</li> <li>• analiza wyglądu lub zapachu oraz udziału procentowego faz stałych i ciekłych</li> <li>• pomiary lepkości czynnika smarnego</li> <li>• metody TAN (ang. <i>Total Acid Number</i>) oraz TBN (ang. <i>Total Base Number</i>)</li> </ul>
Badania nieniszczące	<ul style="list-style-type: none"> <li>• badania lub obrazowanie ultradźwiękowe</li> <li>• badania z użyciem penetratorów (pęknięcia powierzchniowe)</li> <li>• próby szczelności</li> <li>• defektoskopia radiologiczna oraz magnetyczna proskowa</li> <li>• testowanie metodą prądów wirowych</li> </ul>

Postępująca automatyzacja procesów przemysłowych oraz rozwój technologii IT stanowią wyznacznik świadczący o przebudowie systemów diagnostycznych operujących na wspólnych bazach danych historycznych (oferujących dostęp wielu użytkownikom o różnych poziomach uprawnień). Przedstawione prognozy wskazują na istotne znaczenie dodatkowego kryterium, jakim jest możliwość dostosowania istniejącego modelu obsługi technicznej maszyn do nowych wymagań oraz jego rozbudowa, bez konieczności wymiany całego oprzyrządowania diagnostycznego i monitorującego.



Centrum Szkoleń Inżynierskich EMT-Systems Sp. z o.o. specjalizuje się w organizacji kursów i szkoleń z zakresu mechatroniki i szeroko pojmowanych technik inżynierskich. Misją kadry EMT-Systems jest zarówno dbałość o klienta uczestniczącego w szkoleniu, jak i kompleksowa pomoc każdemu zainteresowanemu ofertą. Jeszcze przed zgłoszeniem uczestnictwa w wybranym szkoleniu specjaliści firmy dbają, aby każdy zainteresowany otrzymał wsparcie w wyborze kursu. Centrum oferuje szkolenia z zakresu systemów sterowania i wizualizacji, inżynierii mechanicznej, materiałowej i metalurgii, a także projektowania i zarządzania jakością produkcji w systemie otwartym i zamkniętym.  
[www.emt-systems.pl](http://www.emt-systems.pl), tel. 32 4111 000

Źródło: Autor