

# Diagnostyka napędów w Przemysle 4.0 – kompleksowe podejście do niezawodności maszyn

**D**iaagnostyka napędów, szczególnie w kontekście Przemysłu 4.0, rozwija się w kilku kluczowych kierunkach. Od tradycyjnych metod opartych na okresowych przeglądach, przez monitorowanie w czasie rzeczywistym, aż po zaawansowane systemy predykcyjne, które potrafią przewidywać przyszłe awarie na podstawie analizy danych. Każde z tych rozwiązań ma swoje zalety, ale ostateczny wybór zależy od specyfiki zakładu przemysłowego, rodzaju wykorzystywanych w nim napędów i oczekiwań względem niezawodności.

## Metody diagnostyki napędów

W tradycyjnych systemach diagnostycznych, technicy często musieli ręcznie zbierać dane i analizować je w laboratorium lub na miejscu. Monitoring parametrów pracy, takich jak temperatura, wibracje czy prąd, pozwalał na wykrywanie usterek, ale często było to zbyt późno, by uniknąć awarii. Nowoczesne systemy diagnostyczne, w tym te bazujące na Internecie Rzeczy (IoT), oferują znacznie bardziej zaawansowane narzędzia.

Współczesne rozwiązania diagnostyczne wykorzystują sztuczną inteligencję (AI) oraz analizę danych w czasie rzeczywistym (Big Data), aby przewidywać potencjalne awarie na podstawie historii działania maszyny. Dzięki zastosowaniu tych technologii możliwe jest ciągłe monitorowanie stanu technicznego napędów oraz detekcja drobnych anomalii, które mogą sygnalizować nadchodzącą awarię.

### 1. Diagnostyka okresowa – klasyczne podejście

Jednym z najstarszych i wciąż popularnych podejść do diagnostyki napędów jest diagnostyka okresowa. Opiera się ona na regularnych przeglądach i ręcznej analizie danych. Pozwala na identyfikację podstawowych problemów, takich jak zużycie łożysk, niewyważenie wirników czy zanieczyszczenie komponentów. Chociaż to rozwiązanie jest stosunkowo tanie, ma jednak swoje ograniczenia. Wśród nich należy wymienić:

- **Ograniczoną ciągłość monitorowania** – maszyny mogą działać poprawnie w momencie przeglądu, ale problemy mogą pojawić się między kolejnymi inspekcjami.
- **Reaktywne działania** – diagnostyka okresowa nie oferuje predykcji przyszłych awarii, co oznacza, że interwencje często mają miejsce dopiero po wystąpieniu usterek.

### 2. Diagnostyka w czasie rzeczywistym

Kolejnym krokiem w ewolucji diagnostyki jest monitoring w czasie rzeczywistym, który polega na ciągłym zbieraniu i analizie danych z czujników zamontowanych na napędach. Parametry takie jak wibracje, temperatura, napięcie czy prąd

są monitorowane 24/7. Diagnostyka w czasie rzeczywistym pozwala na szybsze reagowanie na wszelkie nieprawidłowości w ramach monitorowanych parametrów.

Do najczęściej wykorzystywanych narzędzi należą:

- **Czujniki wibracji** – instalowane bezpośrednio na korpusie napędów. Dają one możliwość detekcji uszkodzeń mechanicznych, takich jak nierównowaga, niewspółosiowość czy luzy łożyskowe.
- **Termografia** – za pomocą kamer termowizyjnych monitoruje się temperaturę kluczowych komponentów, takich jak łożyska i uzwojenia. Umożliwia to wykrycie problemów z chłodzeniem lub przeciążeniem.

Do głównych zalet diagnostyki w czasie rzeczywistym bezsprzecznie należą:

- **Wczesne wykrywanie problemów** – systemy w czasie rzeczywistym potrafią szybko reagować na odchylenia od normy, wykrywając możliwą awarię zanim do niej dojdzie.
- **Zmniejszenie liczby przestoju** – dzięki ciągłemu monitorowaniu przedsiębiorstwa mogą lepiej planować konserwacje i zmniejszać nieplanowane przestoje.

### 3. Diagnostyka predykcyjna

Najbardziej zaawansowaną formą diagnostyki jest diagnostyka predykcyjna, która korzysta z algorytmów sztucznej inteligencji (AI) i analizy danych historycznych po to, aby przewidywać przyszłe awarie. Algorytmy te są w stanie analizować ogromną liczbę danych i wykrywać wzorce, które mogą sygnalizować przyszłe problemy.

Diagnozowanie predykcyjne opiera się na złożonej analizie wielowymiarowych danych z różnych źródeł, takich jak:

- **Dane wibracyjne** – ciągła analiza poziomów wibracji w celu wczesnego wykrywania problemów mechanicznych.
- **Dane elektryczne** – analiza prądów i napięć pozwala na wykrycie nieprawidłowości w zasilaniu, takich jak harmoniki czy przepięcia.
- **Dane termiczne** – monitorowanie temperatury w niewrażliwych punktach daje możliwość uniknięcia przegrzewania się komponentów.

### 4. DiagSys – zaawansowany system diagnostyczny

Na tle różnych metod diagnostyki, DiagSys wyróżnia się jako rozwiązanie łączące monitoring w czasie rzeczywistym z zaawansowaną diagnostyką predykcyjną. System ten został

opracowany z myślą o przemysłach, w których niezawodność napędów ma kluczowe znaczenie, np. w energetyce, przemyśle chemicznym i metalurgii. Oferuje on:

- **Monitorowanie mocy chwilowej** – analiza obciążenia napędu w czasie rzeczywistym.
- **Zaawansowaną analizę prądów i napięć** – detekcja nieprawidłowości w zasilaniu, asymetrii fazowej i przepięć.
- **Analizę spektrum wibracyjnego** – detekcja niewspółosiowości, uszkodzeń mechanicznych i zużycia łożysk.
- **Mierzenie temperatury** – monitorowanie temperatury krytycznych elementów, takich jak uzwojenia czy łożyska, zapobiegania przegrzewaniu.

System ten nie tylko wykrywa problemy, ale także na podstawie danych historycznych i bieżących parametrów pracy przewiduje przyszłe awarie. Daje to możliwość planowania konserwacji napędów w sposób optymalny dla przedsiębiorstwa.

### Koszty i efektywność różnych metod diagnostycznych

Koszty wdrożenia i utrzymania systemów diagnostycznych różnią się w zależności od wybranej technologii. Tradycyjna diagnostyka okresowa jest stosunkowo tania, ale nie pozwala na wczesne wykrywanie problemów, co prowadzi do większej liczby nieplanowanych przestoju i strat produkcyjnych. Z kolei monitoring w czasie rzeczywistym i diagnostyka predykcyjna, choć droższe na etapie wdrożenia, pozwalają na znaczne oszczędności w dłuższym okresie.

### Konsekwencje nieodpowiedniej diagnostyki

Konsekwencje braku lub nieprawidłowej diagnostyki napędów mogą być poważne, zwłaszcza w zakładach przemysłowych, gdzie niezawodność maszyn jest kluczowa dla ciągłości produkcji. Wśród najczęściej występujących należy wymienić:

#### 1. Nieplanowane przestoje

Brak skutecznej diagnostyki może prowadzić do awarii napędu, której nie da się przewidzieć na czas. To z kolei powoduje nieplanowane przestoje produkcji, a te generują znaczne koszty. W branżach, takich jak energetyka, przetwórstwo chemiczne czy hutnictwo, przestój jednej maszyny może spowodować przerwanie całego procesu produkcyjnego, co prowadzi do strat finansowych liczonych w setkach tysięcy, a nawet milionach złotych.

#### 2. Zwiększone koszty konserwacji i napraw

Bez odpowiedniej diagnostyki nie da się właściwie zarządzać konserwacją. Zbyt późna reakcja na problemy może skutkować poważniejszymi uszkodzeniami, które wymagają kosztownych napraw. Co więcej, brak predykcyjnej diagnostyki oznacza, że konserwacje muszą być wykonywane częściej, aby zminimalizować ryzyko awarii. Przekłada się to na zwiększone koszty utrzymania ruchu.

#### 3. Uszkodzenia sprzętu

Niewykrycie problemów na wczesnym etapie, takich jak niewspółosiowość, zużycie łożysk czy nierównowaga mechaniczna, może prowadzić do poważnych uszkodzeń napędu. Z biegiem czasu te drobne usterki mogą powodować zniszczenie

kluczowych komponentów, takich jak wirniki, przekładnie czy uzwojenia silnika. Naprawa lub wymiana tych elementów jest kosztowna i czasochłonna.

#### 4. Spadek wydajności energetycznej

Nieprawidłowo działający napęd może prowadzić do zwiększonego zużycia energii. Problemy takie jak przeciążenia, wibracje czy niewłaściwe sterowanie silnikiem, mogą spowodować wzrost oporu w układzie mechanicznym, co z kolei zwiększa zapotrzebowanie na energię elektryczną. W dłuższym okresie prowadzi to do wyższych rachunków za energię i nieefektywnej pracy całego zakładu.

#### 5. Zagrożenie bezpieczeństwa

W niektórych przypadkach awarie napędów mogą prowadzić do zagrożeń bezpieczeństwa. Na przykład w przemyśle chemicznym czy naftowym, awaria silnika w kluczowych urządzeniach może spowodować niekontrolowany wyciek substancji niebezpiecznych, co stanowi bezpośrednio ryzyko dla pracowników i środowiska.

#### 6. Obniżenie żywotności urządzeń

Niewłaściwa diagnostyka nie pozwala na wczesne wykrycie problemów, co prowadzi do szybszego zużycia napędów i ich komponentów. Przykładowo, nierównomierne obciążenie czy nadmierne wibracje mogą skrócić żywotność łożysk, przekładni i innych elementów układu mechanicznego. To z kolei wymaga częstszej wymiany części, co generuje dodatkowe koszty i może prowadzić do wcześniejszej wymiany całego urządzenia.

#### 7. Utrata konkurencyjności

Wysokie koszty związane z naprawami, przestojami oraz nieefektywnym zużyciem energii prowadzą do utraty konkurencyjności na rynku. Firmy, które mają lepiej zorganizowane utrzymanie ruchu dzięki nowoczesnym systemom diagnostycznym, mogą produkować taniej i bardziej efektywnie.

### Wybór odpowiedniego systemu diagnostycznego

Wybór odpowiedniego systemu diagnostycznego jest kluczowy dla zapewnienia niezawodności i efektywności operacyjnej napędów w zakładzie przemysłowym. Oprócz konsekwencji złej diagnostyki, istnieje kilka dodatkowych aspektów, które warto uwzględnić, mówiąc o doborze właściwej diagnostyki.

Oto najważniejsze powody, które warto zaznaczyć:

1. **Specyfika aplikacji przemysłowej** – każdy zakład przemysłowy ma inne potrzeby i wymagania techniczne. Ważne jest, aby system był dostosowany do specyficznych warunków pracy napędów, takich jak:
  - **Typ napędów** – inne wymagania diagnostyczne mają silniki elektryczne, a inne napędy hydrauliczne czy pneumatyczne,
  - **Warunki środowiskowe** – napędy pracujące w ekstremalnych temperaturach, wilgotnych lub zapyłonych środowiskach, wymagają bardziej wytrzymałych i odpornych systemów diagnostycznych,
  - **Złożoność aplikacji** – w przypadku złożonych procesów technologicznych, diagnostyka musi być precyzyjna i elastyczna, aby monitorować wiele parametrów jednocześnie.

2. **Integracja z istniejącą infrastrukturą** – wybierając system diagnostyczny, warto zastanowić się, jak dobrze integruje się on z już istniejącą infrastrukturą zakładu. System diagnostyczny powinien być kompatybilny z obecnymi systemami sterowania (SCADA, PLC), aby umożliwić łatwą implementację i minimalizację kosztów wdrożenia. Dobrze zaprojektowany system diagnostyczny powinien również:
  - **Zapewniać łatwą integrację z różnymi protokołami komunikacyjnymi** (np. Modbus, Profibus, EtherNet/IP),
  - **Umożliwiać skalowalność** – możliwość rozszerzenia systemu o nowe napędy w przyszłości bez konieczności przebudowy całej infrastruktury.

3. **Możliwości diagnostyki predykcyjnej** – nowoczesne zakłady przemysłowe coraz częściej stawiają na diagnostykę predykcyjną, która opiera się na zaawansowanej analizie danych i sztucznej inteligencji. Dzięki temu systemy te nie tylko monitorują aktualny stan napędów, ale również potrafią przewidywać przyszłe awarie.

Przy wyborze diagnostyki warto rozważyć:

- **Algorytmy uczenia maszynowego** – potrafią rozpoznać wzorce awarii na podstawie dużych zbiorów danych historycznych i bieżących, przewidując problemy zanim się pojawią,
  - **Zbieranie i analiza danych** – zdolność systemu do gromadzenia i analizy danych z wielu źródeł (np. wibracje, prąd, temperatura), dla holistycznego podejścia do diagnostyki.
4. **Szybkość reakcji na problemy** – czas jest kluczowym czynnikiem, jeśli chodzi o utrzymanie ruchu. Wybierając odpowiednią diagnostykę, warto zwrócić uwagę na szybkość, z jaką system reaguje na problemy:
    - **Alerty w czasie rzeczywistym** – szybkie ostrzeżenie o odchyleniach od normy umożliwia personelowi natychmiastową reakcję zapobiegając poważniejszym uszkodzeniom napędu,
    - **Proaktywne planowanie konserwacji** – zaawansowane systemy diagnostyczne pozwalają na wcześniejsze planowanie konserwacji i minimalizują ryzyko przestojów oraz redukują koszty napraw awaryjnych.
  5. **Łatwość użytkowania i dostępność danych** – system diagnostyczny powinien być intuicyjny i łatwy w obsłudze, aby technicy i inżynierowie mogli w pełni wykorzystać jego możliwości bez konieczności skomplikowanego szkolenia. Dodatkowo, dostępność danych w różnych formach (np. w aplikacji mobilnej lub na komputerze) pozwala na:
    - **Szybki dostęp do raportów i analiz** – personel może analizować dane z dowolnego miejsca przyspieszając proces decyzyjny,
    - **Zdalne monitorowanie** – możliwość monitorowania napędów i analizy danych zdalnie, co jest szczególnie ważne w przypadku rozproszonych zakładów produkcyjnych lub pracy w terenie.
  6. **Koszty całkowite (TCO)** – wybór odpowiedniego systemu diagnostycznego nie może opierać się wyłącznie na koszcie zakupu. Kluczowym elementem oceny jest całkowity

koszt posiadania (TCO – Total Cost of Ownership), który obejmuje:

- **Koszty wdrożenia** – w tym integrację z istniejącymi systemami, instalację czujników, szkolenie personelu,
  - **Koszty operacyjne** – bieżące koszty utrzymania systemu, kalibracji czujników, licencji na oprogramowanie,
  - **Koszty związane z oszczędnościami** – zmniejszenie liczby nieplanowanych przestojów, ograniczenie kosztów napraw oraz zmniejszenie strat produkcyjnych.
7. **Skalowalność i elastyczność** – Przemysł 4.0 to dynamicznie rozwijająca się dziedzina, w której technologie szybko ewoluują. Dlatego wybór systemu diagnostycznego musi uwzględniać możliwość rozbudowy w przyszłości. Skalowalne systemy diagnostyczne:
    - Umożliwiają dodawanie nowych napędów lub maszyn do monitorowania bez konieczności przebudowy całego systemu,
    - Są elastyczne w adaptacji do nowych technologii, co pozwala na integrację z przyszłymi rozwiązaniami przemysłowymi.


8. **Wsparcie techniczne i serwis** – kiedy system diagnostyczny jest już wdrożony, kluczowym elementem jest dostęp do wsparcia technicznego. Może ono obejmować:

- **Zdalne wsparcie diagnostyczne** – eksperci mogą na bieżąco analizować dane i sugerować działania naprawcze,
- **Aktualizacje oprogramowania** – kluczowe dla utrzymania systemu na bieżąco z nowymi technologiami i poprawkami bezpieczeństwa,
- **Czas reakcji serwisu** – w przypadku awarii systemu diagnostycznego, czas naprawy ma kluczowe znaczenie, aby zminimalizować wpływ na produkcję.

### Podsumowanie: wybór odpowiedniej metody diagnostyki

Przemysł 4.0 oferuje szeroką gamę technologii diagnostycznych, od prostych przeglądów okresowych po zaawansowane systemy predykcyjne. Każde z tych rozwiązań ma swoje miejsce w zależności od specyfiki zakładu przemysłowego. Przedsiębiorstwa dążące do maksymalnej niezawodności i minimalizacji kosztów powinny rozważyć wdrożenie nowoczesnych systemów diagnostyki napędów. Te współcześnie tworzone oparte są na analizie danych i algorytmach predykcyjnych. Pozwalają na dokładne monitorowanie stanu technicznego urządzeń i optymalizację kosztów operacyjnych, co jest kluczowe w konkurencyjnym środowisku przemysłowym.

Dobór prawidłowej diagnostyki napędów to decyzja strategiczna, która powinna uwzględniać specyfikę zakładu, kompatybilność z istniejącą infrastrukturą, możliwości predykcyjne, szybkość reakcji, dostępność danych, koszty całkowite, skalowalność oraz wsparcie techniczne. Wybór odpowiedniego rozwiązania znacząco wpływa na efektywność operacyjną, redukcję kosztów oraz minimalizację przestojów.

 mgr inż. Przemysław Kurylas  
COO DB Energy S.A.

 **DB ENERGY**  
Zeroemisyjność w przemyśle