

**Marek Trajdos, Jarosław Małkiewicz**  
Partner Serwis Sp. z o.o., Łódź, Kwidzyn

## KOMPLEKSOWE UTRZYMANIE RUCHU OSI NAPĘDU ELEKTRYCZNEGO W WARUNKACH PRZEMYSŁOWYCH - ZASADY I MODEL

### TOTAL ELECTRICAL DRIVE MANAGEMENT UNDER INDUSTRIAL CONDITIONS – PRINCIPLES AND MODEL

**Abstract:** This short document describes the principle and the model of the modern strategy of the management which the complex management of dependability of the driving axis is.

The attention was paid in the work to ways and advantages resulting from emission of the service of driving axes to the service through the external firm. They are this advantage both dependability (the accessibility of driving axes), how and fuel-efficient. The notion of the cycle of the life of the article which in this incident the electric drive is about the regulated rotational speed was considered in model.

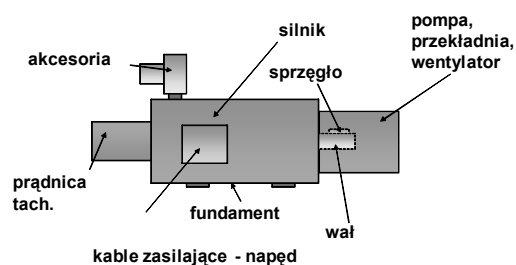
#### 1. Wstęp

Ze względu na walkę konkurencyjną w warunkach rynkowych konieczne jest ciągle doskonalenie zarządzania niezawodnością produkcji zakładów przemysłowych. Ważnym elementem tej aktywności jest niezawodne przy jednoczesnej minimalizacji kosztów utrzymywanie ruchu osi napędowych wykorzystywanych w procesach produkcyjnych. Napędy we współczesnym przemyśle są przeważnie napędzane energią elektryczną, przy czym rośnie systematycznie udział osi napędowych o regulowanej prędkości obrotowej, sterowanej wartości momentu napędowego lub pozycjonujących, w ogólnej liczbie napędów. Zatem w zastosowaniach przemysłowych rośnie stopień komplikacji zagadnień utrzymania ruchu osi napędowych, zarówno ze względu na poziom złożoności układów, jak i interdyscyplinarność tak kompleksowych rozwiązań (maszyny elektryczne, czujniki temperatury i pomiaru ruchu, przekształtniki, komunikacja za pomocą sieci przemysłowej wymiany danych, układy sterowania, elementy systemu sterowania bezpiecznym zatrzymaniem itd.). Jednocześnie wzrastają wymagania użytkowników dotyczące współczynnika dostępności osi napędowej przy minimalizacji kosztów eksploatacji.

Aby sprostać wymienionym wyżej wymaganiom konieczne jest tworzenie, wdrażanie i doskonalenie nowoczesnych modeli kompleksowego utrzymania ruchu osi napędowych w warunkach przemysłowych.

#### 2. Oś napędowa w ujęciu kompleksowym

W ujęciu klasycznym oś napędową można rozumieć jako silnik elektryczny. Na rysunku 1. zobrazowano istotne elementy silnika, których potencjalnie mogą dotyczyć czynności serwisowe.

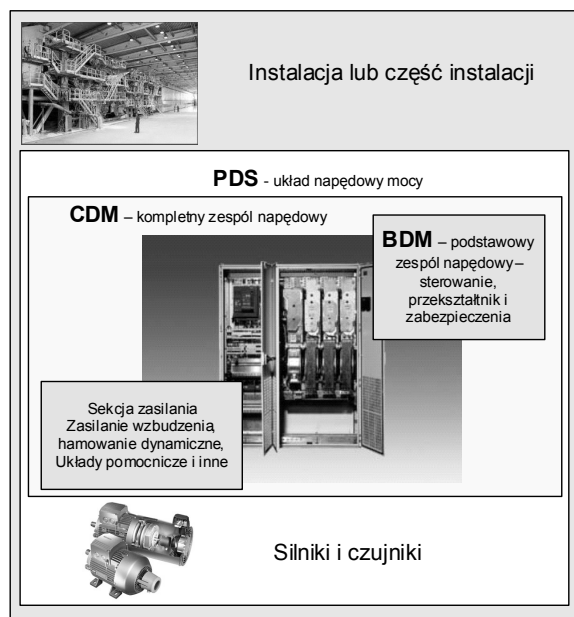


Rys. 1. Elementy silnika, które stanowią potencjalnie cel dla utrzymania ruchu

Przy czym współcześnie coraz częściej prądnica tachometryczna jest zastępowana przez enkoder inkrementalny lub absolutny. W ogólnym przypadku maszyna elektryczna może być oczywiście silnikiem lub prądnicą w technologii prądu stałego lub przemiennego. Przy czym obserwowany jest dynamiczny trend zastępowania napędu prądu stałego napędem prądu przemiennego.

Wraz ze wzrostem procentowego udziału napędów o regulowanej prędkości obrotowej z zastosowaniem przekształtników częstotliwości wzrasta znaczenie objęcie serwisem nie tylko samych silników, ale i całych układów napędowych, które stanowią wraz z układem sterowania systemy złożone. Wymagają one ponoszenia znacznych nakładów inwestycyjnych na

oprogramowanie, specjalistyczne narzędzia i szkolenia służb utrzymania ruchu.



Rys. 2. Ogólna struktura układu napędowego i jego miejsce w systemie sterowania

Jak to pokazano na powyższym rysunku, współczesny układ napędowy składa się z:

- silnika lub zespołu silników,
- dodatkowego wyposażenia silnikowego (urządzenia pomiaru prędkości lub położenia, czujników temperatury, hamulca, układu chłodzenia obcego itd.),
- przekaźnika (np. przekaźnika częstotliwości z napięciowym pośrednim obwodem prądu stałego),
- urządzeń dodatkowych ( stycznik lub wyłącznik główny, dławik, filtry wejściowe i wyjściowe itd.),
- układów komunikacji i monitorowania (np. ciągle monitorowanie rezystancji izolacji, karty komunikacji sieci Profibus lub podobnych),
- paneli operatorskich,
- specjalistycznego okablowania,
- oświetlenia,
- klimatyzacji,
- oznakowania.

Wymienione wyżej urządzenia są jak widać bardzo zróżnicowane pod każdym względem oraz stanowią jedną całość, ściśle niekiedy powiązaną. Warunkuje to konieczność utrzymania ich prawie wszystkich w ciągłej sprawności technicznej.

Uszkodzenia niektórych urządzeń i elementów prowadzi do natychmiastowej niesprawności całego układu (przyrządy półprzewodnikowe,

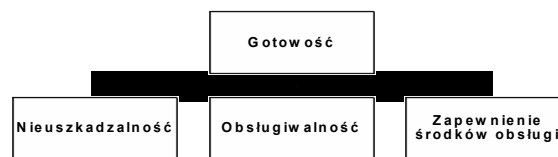
karty sterujące), innych do wyłączenia układu w krótkim czasie (łożyska), a jeszcze innych do obniżenia poziomu bezpieczeństwa (zamknięcia szaf, oznakowanie, układ izolacyjny) lub utraty funkcji w przyszłości (niesprawność układu chłodzenia, brak filtra wyjściowego du/dt, czy też zabezpieczeń przepięciowych).

Dla ciągłości procesu produkcyjnego może być groźny również brak dostępności części zamiennych w wyniku wycofania się producenta z ich wytwarzania (nowe modele urządzeń).

Brak odpowiedniej obsługi może prowadzić nie tylko do bezpośrednich skutków awaryjnych, ale i pogorszenia się parametrów procesu produkcji lub zwiększenia kosztów eksploatacji.

### 3. Elementy zarządzania niezawodnością

Zarządzaniem niezawodnością nazywamy skoordynowane działania dotyczące kierowania organizacją podejmowane w celu utrzymania gotowości obiektu do wykonywania wymaganej pracy.[1]



Rys. 3. Podstawowy model niezawodności w przemyśle

Celem zarządzania niezawodnością jest zatem utrzymywanie gotowości danego układu przemysłowego do pracy w zadanych warunkach technologicznych w określonym czasie w ciągu roku (np. przez 365 dni i przez 24 godziny każdego dnia, choć z innych przyczyn cel może być niższy). Na możliwość spełnienia powyższego celu mają bezpośredni wpływ trzy czynniki (rys.3.):

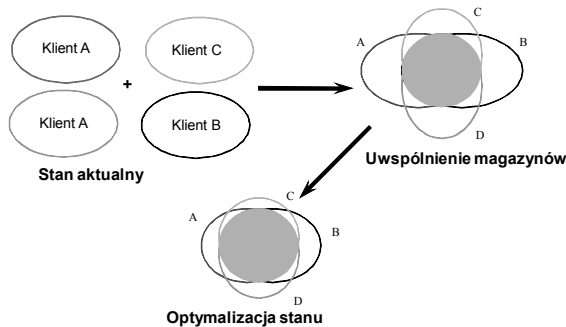
- **nieuszkodzalność** – zdolność obiektu do wypełniania wymaganej funkcji w danych warunkach,

- **obsługiwalność** – zdolność obiektu do utrzymania i odtwarzania stanu pozwalającego na wypełniania powierzonych mu funkcji, pod warunkiem właściwej eksploatacji (spełniania określonych, przewidzianych procedur),

- **zapewnienie środków obsługi** – zdolność organizacji zajmującej się obsługą do zapewnienia w danych (zdefiniowanych) warunkach zasobów potrzebnych do obsługi obiektu.

Na rysunku poniżej przedstawiono ideowy schemat magazynu wspólnego, który stanowi

jedną z możliwych dróg poprawienia parametrów związanych z zapewnieniem środków obsługi w wypadku wykorzystania techniki magazynu wspólnego. Taki model magazynowania pozwala na posiadanie w tych samych parametrach finansowych bogatszego zestawu części zamiennych (lub całych urządzeń składowych, takich jak enkodery, czy falowniki) dzięki zebraniu w jednej lokalizacji części identycznych w zmniejszonej liczbie w stosunku do wielu oddzielnych magazynów. Dodatkowo możliwe jest tą drogą obniżenie kosztów zakupów przy uwzględnieniu współczynnika skali dla dostaw.



Rys. 4. Schemat wyjaśniający jedną z możliwych przyczyn optymalizacji kosztów w przypadku zapewnienia środków obsługi przez serwis zewnętrzny – strategia magazynowa

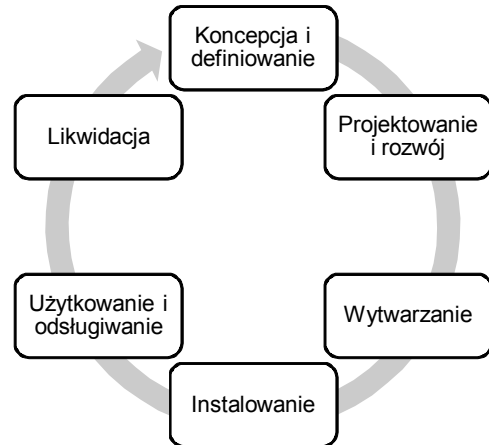
Ponieważ zarządzanie niezawodnością jest jednym z elementów, na których powinna koncentrować się każda nowoczesna organizacja, można ją traktować na równi z innymi rodzajami aktywności w zarządzaniu przedsiębiorstwa, a w konsekwencji rozważać ich wydzielenie do obsługi przez podmioty zewnętrzne.



Rys. 5. Przykład oddzielenia wybranych rodzajów czynności podejmowanych przez przedsiębiorstwo od działalności podstawowej z uwzględnieniem utrzymania ruchu.

Obszar określony na rysunku jako utrzymanie ruchu stanowi istotny element w zarządzaniu niezawodnością, co nie przeszkadza w trakto-

waniu go jako rodzaju aktywności dodatkowej i podjęciu decyzji o przekazaniu go podmiotowi trzeciemu zapewniającemu środki obsługi.[2] W szczególności jednym z możliwych elementów utrzymania ruchu jest oczywiście kompleksowe utrzymanie ruchu osi napędu elektrycznego.



Rys. 6. Fazy cyklu życia wyrobu w układzie ogólny

W rozważaniach dotyczących możliwego zakresu czynności podejmowanych przez podmiot utrzymujący ruch należy wziąć pod uwagę instalowanie, użytkowanie i obsługiwanie (główny element), likwidację, a nawet koncepcję i definiowanie (w zakresie ewentualnych czynności modyfikacyjnych mających na celu podniesienie poziomu niezawodności lub obsługiwalności). Tak więc zakres czynności serwisu zewnętrznego może być dość szeroki.

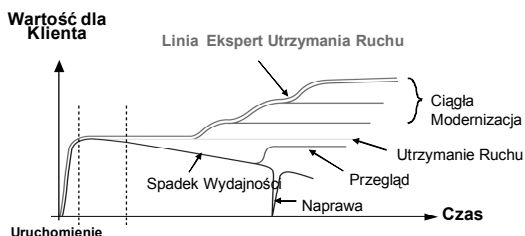
#### 4. Model serwisu – TDM

Jak opisano w rozdziale 2. kompleksowe utrzymanie ruchu osi napędu elektrycznego współcześnie powinno być rozumiane jako obejmujące silnik, przekształtnik, urządzenia dodatkowe i współpracę z układem sterowania nadrzędnego.

Argumentem za wydzieleniem powyższego rodzaju czynności do realizacji przez podmiot zewnętrzny jest rosnąca skala trudności w zakresie merytorycznym związanych ze znaczącym wzrostem komplikacji układów napędowych oraz oczywiście dążenie do optymalizacji kosztów przedsiębiorstwa, a także (co wiąże się z obydwoma wymienionymi wyżej argumentami) rosnącymi wymaganiami dotyczącymi czasu ewentualnego przywrócenia ruchu po awarii.

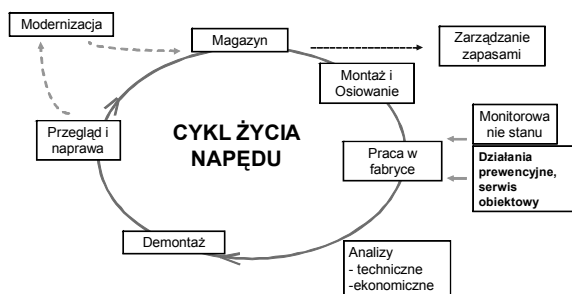
Doświadczenie wskazuje, że podmiot zewnętrzny może wykorzystywać do optymaliza-

cji współczynnik skali rozumiany zarówno jako źródło obniżania kosztów, jak i drogę do osiągnięcia i utrzymywania wysokiego poziomu usług technicznych (szkolenia, praktyka specjalistyczna, zasoby diagnostyczne, narzędzia itd.).



Rys. 7. Trend czasowy obrazujący wybrane sytuacje w cyklu życia wyrobu w kontekście ich wartości dla użytkownika

Jak widać na rysunku 7. podejmowanie kompleksowych czynności utrzymania ruchu osi napędu elektrycznego przy uwzględnieniu wykonywania przeglądów i modernizacji prowadzi do wzrostu korzyści użytkownika. Czynności te powinny obejmować w ogólnym przypadku wszystkie elementy składowe osi napędowej, a przy ich planowaniu należy uwzględnić wszystkie aspekty specyficzne dla tak różnych rodzajów urządzeń (elementów) jak łożysko, czy enkoder.



Rys. 8. Elementarne czynności kompleksowego utrzymania ruchu osi napędowej w cyklu życia wyrobu

Na powyższym rysunku uwzględniono specyfikę czynności utrzymania ruchu dla układu napędowego, na tle jego cyklu życia. Szczególnego omówienia wymagają tu następujące, wybrane elementy:

- **Monitorowanie stanu** – ponieważ układ napędowy, którego podstawę ogólnie stanowią silnik i przekształtnik jest systemem o znacznym stopniu złożoności, w którym może ulegać zmianie wiele różnorodnych parametrów, takich jak rezystancja (np. izolacji), poziom wiibracji, prąd itd. o aktualnych wartościach, które

mogą świadczyć o zbliżającej się awarii pozyskiwanie właściwych danych oraz ich porównywanie, analiza matematyczna i interpretacja ma tu kapitalne znaczenie.

W zależności od potrzeb konieczne jest określenie, czy dany rodzaj rejestracji danych powinien być prowadzony w sposób ciągły, czy incydentalnie (czasowe okno pomiarowe) oraz jakie konkretnie wielkości mają być monitorowane. Konieczne jest też określenie częstotliwości próbkowania sygnału, dokładnego miejsca pomiaru oraz rozdzielczości wartości sygnału. W szczególności zastosowanie techniki cyklicznego bufora pomiarowego w powiązaniu z automatycznym wyzwalaniem w zależności od określonego zdarzenia (osiągnięcie przez dany sygnał pewnej wartości, zmiana wartości sygnału dwustanowego itd.) pozwala przykładowo na rejestrację stanu poprzedzającego awarię.

- **Działania prewencyjne serwisu obiektowego** – mogą one wynikać z wniosków wypracowanych na podstawie badań stanu monitorowanych urządzeń, jak i bazy wiedzy (doświadczenia) jednostki realizującej obsługę.

- **Modernizacja** i naprawa – właściwie realizowany plan modernizacji pozwala na optymalizację obsługi niezawodnościowej obiektu. Przy czym czynności modernizacyjne mogą być podejmowane zarówno jako prewencyjne, jak i po awariach. Spośród ważniejszych przesłanek dla takiego postępowania należy wymienić: zmianę pokoleniową prąd stały -> prąd przemienny, plany produkcyjne producentów i uzupełnienia systemu o nowe środki wymiany danych z systemem sterowania oraz poprawę kompatybilności środowiskowej (w tym EMC).

- **Magazyn** – omówiono w rozdziale 3.

## 5. Podsumowanie

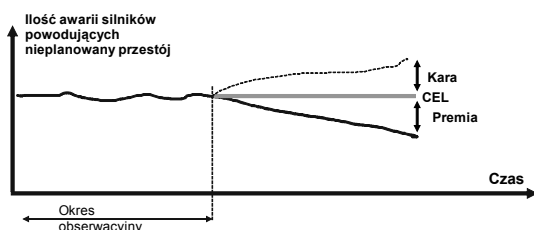
W pracy przedstawiono podstawy modelu kompleksowego serwisu zewnętrznego zorientowanego na optymalizację wybranych parametrów utrzymania ruchu osi napędowych zakładu przemysłowego. Poniższy rysunek 9. pokazuje w sposób przekrojowy możliwości rozwoju zakresu serwisowania dowolnych urządzeń przemysłowych. Wyróżniono trzy klasy serwisu o rosnącym zasięgu. Przedstawiony schemat ogólny znajduje zastosowanie do przedstawienia zasady serwisu TDM (Total Drive Management). Zwiększając zakres serwisu, przechodzi się w konsekwencji do utrzymania ruchu urządzeń wybranej klasy lub ca-

łego przedsiębiorstwa, ponieważ zakres usług może być powiększony zarówno przez usługi, jak i rodzaje urządzeń.



Rys. 9. Porównanie modeli serwisu o różnym zakresie

Zwiększanie zakresu usług pod warunkiem świadczenia ich dla większej liczby użytkowników podobnych urządzeń pozwala dzięki efektowi skali na różnych płaszczynach na uzyskanie znacznych oszczędności eksploatacyjnych szczególnie w dłuższym okresie. Prowadzi też nieuchronnie do podniesienia jakości usług i poprawienia gotowości urządzeń produkcyjnych (obniżenia niezawodności).



Rys. 10. Projekcja sposobu wyceny i premiowania serwisu zewnętrznego napędów

Rysunek 10. ilustruje jeden z możliwych sposobów wyceny zryczałtowanej i premiowania kompleksowego serwisu osi napędowych (rozwiązania najbardziej zaawansowanego) w przedsiębiorstwie. Polega on na określeniu w czasie trwania pewnego okresu obserwacji przewidywanych kosztów serwisu lub innych wskaźników, takich jak liczba awarii. W kolejnym etapie ustalany jest cel serwisu, przykładowo na poziomie obserwowanym, a następnie następuje realizacja zadania TDM, przy czym firma wykonująca jest zainteresowana w dążeniu do minimalizacji wybranych parametrów dysponując z założenia wieloma atutami w praktyce nieosiągalnymi dla użytkownika.

Zatem użytkownik napędów, który jest w stanie określić swoje potrzeby i dokonać ich wartościowania powinien w celu maksymalizacji

swej satysfakcji poważnie rozważyć wdrożenie strategii TDM.[3]

## 6. Literatura

- [1]. PN-EN 60300: *Zarządzanie niezawodnością*. Polski Komitet Normalizacyjny 2006
- [2]. Małkiewicz J. *Total motor management* Opracowanie ABB Serwis Sp. z o.o. niepublikowane 2000
- [3] Kamińska T., Kubska-Maciejewicz B., Ludańska-Trynka J. *Teoria podejmowania decyzji przez podmioty rynkowe* WUG Gdańsk 2004

## Autorzy

Marek Trajdos kieruje Centrum Kompetencji w Łodzi firmy Partner Serwis Sp. z o.o. [marek.trajdos@grupapartner.pl](mailto:marek.trajdos@grupapartner.pl)  
 Jarosław Małkiewicz kieruje Centrum Serwisu w Kwidzynie firmy Partner Serwis Sp. z o.o. [jaroslaw.malkiewicz@grupapartner.pl](mailto:jaroslaw.malkiewicz@grupapartner.pl)