

Napędy

– prewencja i prawidłowa obsługa

W artykule przedstawiono podstawowe wymagania związane z użytkowaniem napędów wyposażonych w silniki elektryczne. Podane zostały niezbędne normatywy oraz wytyczne pozwalające na wdrożenie podstawowych narzędzi prewencji uszkodzeń napędów i ich podzespołów. Szczególną uwagę zwrócono na przeglądy oraz zakres czynności wykonywanych w ich ramach. Omówione zostały także możliwości zastosowania podstawowych technik diagnostycznych oraz zasadność ich wdrożenia.

Zapobieganie awariom oraz uszkodzeniom napędów zawiera wiele kluczowych technik związanych z nowoczesnymi metodami utrzymania ruchu. Prewencyjne utrzymanie ruchu polega na obserwacji stanu maszyny, a czynnikiem

decyzyjnym w kwestiach naprawy lub wymiany podzespołów jest pogorszenie parametrów pracy (nie liczba roboczogodzin) definiowane przekroczeniem ustalonych wartości liczbowych dopuszczalnych poziomów parametrów diagnostycznych [1, 3, 6].

Z punktu widzenia charakteru zjawisk powodujących uszkodzenia napędów można wyodrębnić dwa podstawowe źródła wywołujące niesprawności pracy silników elektrycznych, w postaci uszkodzeń o charakterze mechanicznym i elektrycznym. Czynności zapobiegawcze muszą zostać oparte bezwzględnie na symptomach diagnostycznych pozyskanych z pomiarów bieżących wartości wybranych parametrów maszyny.

Wnioskowanie na bazie procesów resztkowych [2] stanowi wygodny sposób na oszacowanie stanu bieżącego napędu i pozwala na wczesne wykrycie postępujących uszkodzeń, które mogą być groźne w skutkach lub kosztowne.

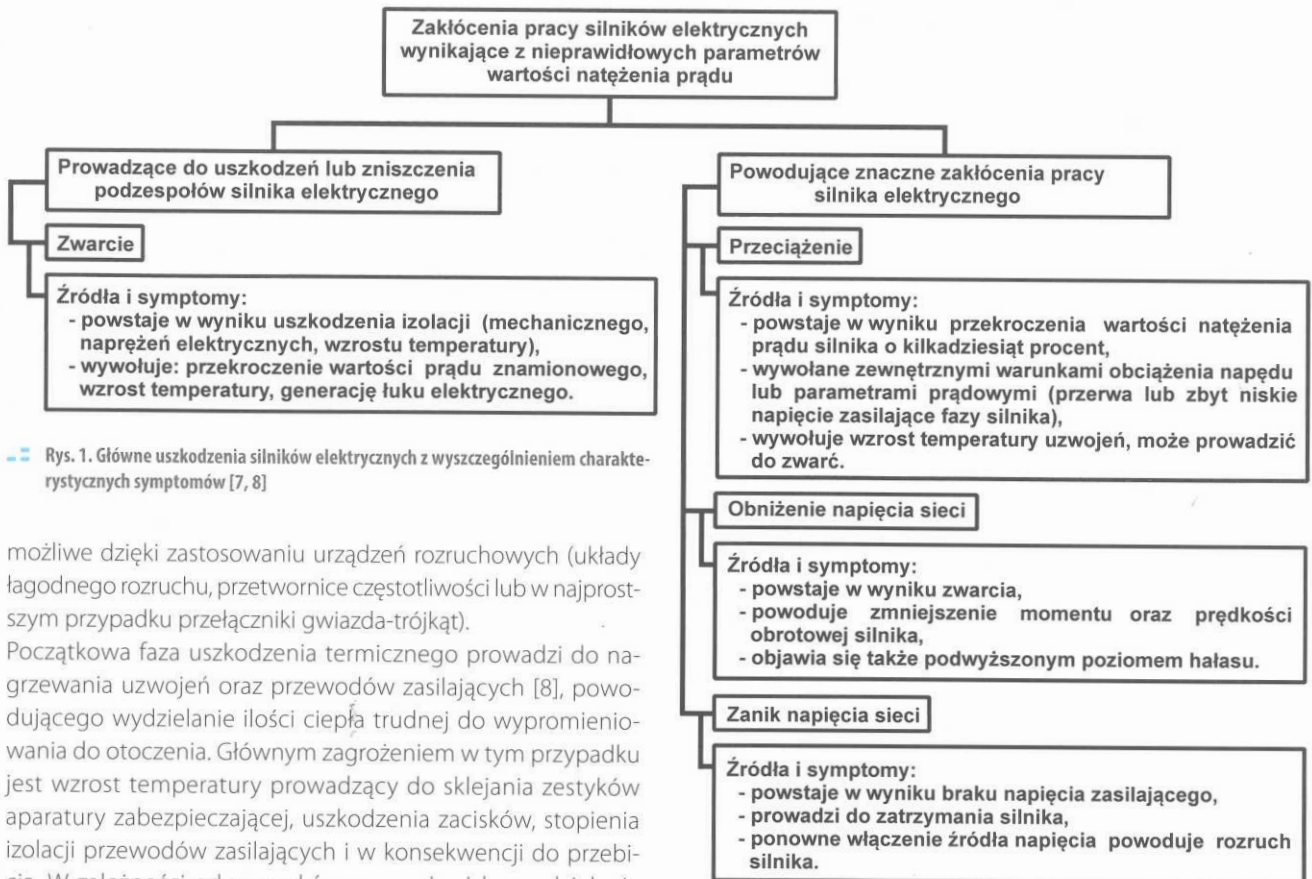
Nowoczesne napędy stanowią skomplikowane układy pozwalające na uzyskanie ruchu o regulowanych parametrach pracy. Zagadnienie diagnostyki napędów przemysłowych jest przedmiotem licznych badań ośrodków badawczych wielu krajów. Stan ten wynika z dużej liczby aplikacji przemysłowych z użyciem napędów wyposażonych w silniki elektryczne.

Uszkodzenia o charakterze elektrycznym

Środki zapobiegające uszkodzeniom silników elektrycznych powinny obejmować zabezpieczenia od [8]: zwarć, przeciążeń, obniżenia napięcia zasilającego, skutków powrotu napięcia oraz zaniku fazy. Należy zauważyć, że wśród wyszczególnionych grup występują uszkodzenia zależne od maszyny oraz parametrów jakościowych sieci zasilającej (rys. 1). Największe prawdopodobieństwo uszkodzenia instalacji elektrycznej następuje w fazie rozruchu silnika napędowego. Najprostszym sposobem jest obniżenie wartości natężenia prądu rozruchu, co jest

Numer i tytuł normy	Wybrane zagadnienia objęte przedmiotem normy
PN-EN 60947-1:2010 Aparatura rozdzielcza i sterownicza niskonapięciowa – Cz. 1: Postanowienia ogólne	<ul style="list-style-type: none"> definicje oraz wymagania dotyczące wejściowych i wyjściowych portów cyfrowych w aparatach rozdzielczych i sterowniczych wymagania konstrukcyjne dotyczące materiałów oraz badań (w tym EMC, odporność na wilgotne gorąco, mgłę solną, wibracje i udary
PN-EN 60947-2:2009 Aparatura rozdzielcza i sterownicza niskonapięciowa – Cz. 2: Wyłączniki	<ul style="list-style-type: none"> koordynacje zabezpieczeń zwarciovych wymagania dotyczące badań EMC wyłączników z zabezpieczeniem różnicowoprądowym i wyłączników z elektronicznym zabezpieczeniem nadprądowym wymagania dotyczące wyłączników z wyzwalaczami natychmiastowymi
PN-EN 60947-3:2009 Aparatura rozdzielcza i sterownicza niskonapięciowa – Cz. 3: Rozłączniki, odłączniki, rozłączniki izolacyjne i zestawy łączników z bezpiecznikami topikowymi	<ul style="list-style-type: none"> wymagania rozłączników, odłączników, rozłączników izolacyjnych i zestawów łączników z bezpiecznikami topikowymi, przeznaczonych do stosowania w obwodach rozdzielczych i w obwodach z silnikami o napięciu znamionowym nieprzekraczającym 1 kV AC lub 1,5 kV DC.
PN-EN 60947-4-1:2010/A1:2013-05 Aparatura rozdzielcza i sterownicza niskonapięciowa – Cz. 4-1: Styczniki i rozruszniki – Mechanizmowe styczniki i rozruszniki do silników	<ul style="list-style-type: none"> definicje i metody pomiaru poboru mocy obwodu sterowniczego podczas pracy i rozruchu oraz impedancji bieguną wymagania zacisków bezgwintowych oraz styczników zapadkowych harmonizacja badań działania przekaźników podnapięciowych i wyzwalaczy napięciowych z IEC 60947-2 biegunowość styczników DC metoda badania właściwości dielektrycznych przy wbudowanym warystorze rozszerzona funkcja elektronicznego przekaźnika przeciążeniowego oraz funkcje sterujące
PN-EN 60947-4-2:2012 Aparatura rozdzielcza i sterownicza niskonapięciowa – Cz. 4-2: Styczniki i rozruszniki – Półprzewodnikowe styczniki i rozruszniki do silników prądu przemiennego	<ul style="list-style-type: none"> wymagania dotyczące niskonapięciowych sterowników i rozruszników półprzewodnikowych (z funkcjonalnością obejmującą: prosty rozruch i zatrzymywanie, rozruch i regulowane przyspieszenie, regulowane zmniejszanie prędkości i zatrzymywanie, manewrowanie i bieg sterowany) do silników prądu przemiennego
PN-EN 60947-6-2:2005/A1:2010 Aparatura rozdzielcza i sterownicza niskonapięciowa – Cz. 6-2: Łączniki wielozadaniowe – Łączniki (lub urządzenia) sterownicze i zabezpieczeniowe (CPS)	<ul style="list-style-type: none"> wymagania konstrukcyjne dotyczące materiałów oraz warunków i granic działania przekaźników i wyzwalaczy wymagania dotyczące badań przykłady konfiguracji obwodów sterowniczych koordynacja CPS i innych zabezpieczeń zwarciovych współpracujących w tym samym obwodzie w warunkach zwarciovych sekwencja badań CPS rozszerzone funkcje w elektronicznych przekaźnikach lub wyzwalaczach przeciążeniowych

Tab. 1. Zestawienie norm zawierających wytyczne do zabezpieczenia silników napędowych



Rys. 1. Główne uszkodzenia silników elektrycznych z wyszczególnieniem charakterystycznych symptomów [7, 8]

możliwe dzięki zastosowaniu urządzeń rozruchowych (układy łagodnego rozruchu, przetwornice częstotliwości lub w najprostszym przypadku przełączniki gwiazda-trójkąt).

Początkowa faza uszkodzenia termicznego prowadzi do nagrzewania uzwojeń oraz przewodów zasilających [8], powodującego wydzielanie ilości ciepła trudnej do wypromienowania do otoczenia. Głównym zagrożeniem w tym przypadku jest wzrost temperatury prowadzący do sklejanego zestyków aparatury zabezpieczającej, uszkodzenia zacisków, stopienia izolacji przewodów zasilających i w konsekwencji do przebicia. W zależności od warunków pracy zjawisko wydzielania nadmiernej ilości energii cieplnej może doprowadzić do zakłóceń lub przerwania pracy silnika (uszkodzenie bądź całkowite zniszczenie).

W wyniku zwarcia dochodzi do zwiększenia sił elektrodynamicznych objawiających się m.in. odkształceniami, rozerwaniem zestyków oraz powstaniem groźnego w skutkach łuku elektrycznego.

Zabezpieczenia przetwornicy częstotliwości oraz silnika napędowego powinny zostać oparte na wymaganiach stawianych przez normy (tab. 1).

Uszkodzenia o charakterze mechanicznym

Uszkodzenia mechaniczne napędów należy rozważyć pod kątem silników, sprzęgieł oraz przekładni pośredniczących w przekazywaniu ruchu. Większość uszkodzeń wynika z uchybień na poziomie montażu systemu napędowego. W trakcie montażu należy zwracać uwagę na wymagania określone przez dane zawarte na tabliczkach znamionowych napędów, dotyczące m.in.:

- sposobu mocowania (kod IM, ang. *International Mounting* wg normy IEC 600 34-7) – głównie ze względu na umiejscowienie kanałów odprowadzających cieple oraz kondensat, a w przypadku motoreduktorów warunkującego poprawne smarowanie przekładni zębatach;
- wymagań dotyczących obudowy (kod IP, ang. *International Protection Rating*) – definiujących odporność obudowy napędu na warunki środowiskowe, w tym odporność na działanie cieple oraz pyłów;
- sposobu chłodzenia (kod IC, ang. *International Cooling* wg normy PN-EN 60034-6:1999) – warunkującego poprawność odprowadzania energii cieplej do otoczenia;

- spełnienia wymagań związanych z przebiegiem pracy silnika napędowego.

Kolejna grupa uszkodzeń jest związana z przekroczeniem maksymalnej wartości momentu obciążeniowego silnika związanego ze wzrostem oporów ruchu przekładających się bezpośrednio na zwiększenie natężenia prądu silnika (uszkodzenia o charakterze elektrycznym). Zagrożenie to można wyeliminować przez zastosowanie przetwornicy częstotliwości z odpowiednio dobranymi wartościami parametrów ograniczających.

Inną grupą uszkodzeń są elementy związane ze zużyciem mechanicznym części składowych napędów, w tym najczęściej występującymi uszkodzeniami łożysk tocznych [4], stojanów oraz wirników. W przypadku przekładni zębatych występują różnorodne uszkodzenia kół, wałów oraz łożysk.

Przeglądy oraz czynności korekcyjne

W ramach technik prewencyjnych nie należy pomijać okresowych przeglądów maszyn elektrycznych. W ramach tej grupy czynności można wyróżnić przeglądy bieżący oraz główny (rys. 2).

Przegląd techniczny wykonuje się bez wyłączania z pracy maszyny lub urządzenia [5]. W tym przypadku można posłużyć się metodami oceny wizualnej rozbudowanej o dodatkowe narzędzia kontroli jakości pracy urządzenia. Pomocne w tym wypadku jest zastosowanie metod termowizyjnych oraz wibroakustycznych (pomiary wykonywane cyklicznie, z jednoczesnym wyznaczeniem zmienności mierzonych parametrów, lub monitorowanie ciągłe). Wybór okresu pomiaru zależy od klasyfikacji maszyny do określonego typu (maszyny krytyczne, istotne lub ogólnego zastosowania).

► Na jakość pracy silnika napędowego wpływa także stan techniczny przekładni (rys. 3). Czynności związane z obsługą oraz korekcyjne realizowane okresowo stanowią wyznacznik zwiększenia żywotności układów napędowych.

Podstawowym elementem gwarantującym zwiększenie żywotności przekładni jest odpowiednie smarowanie. Warto zwrócić uwagę na wymagania stawiane środkiem smarnym, m.in.: dobre właściwości przeciwzużyciowe oraz przeciwwzartarciowe, uzyskanie ochrony przed korozją i rdzewieniem, odporność na wymywanie wodą, dobre właściwości antyutleniające oraz kompatybilność z materiałami konstrukcyjnymi przekładni. Warto także sprawdzić okres uzupełniania olejów lub smarów podawany przez producenta maszyny.

Podsumowanie

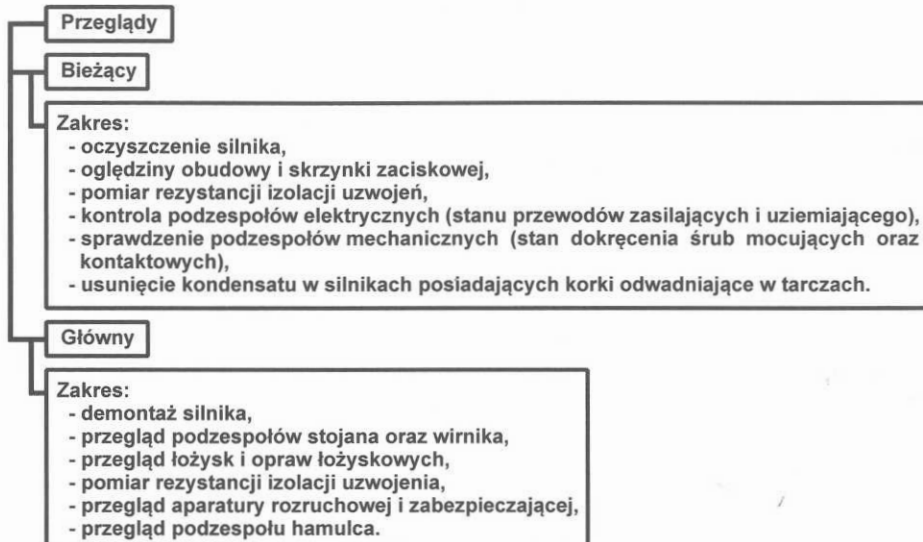
Na podstawie przedstawionych faktów można sformułować wnioski będące podstawą do zdefiniowania funkcji pozwalających na diagnozę [5] systemów napędowych w następującej postaci:

- uszkodzenia mechaniczne podzespołów napędów elektrycznych można wykryć na podstawie obserwacji parametrów drgań generowanych przez napędy w czasie eksploatacji,
- identyfikacja oraz ocena wpływu uszkodzeń mających charakter elektryczny jest związana z wartościami rzeczywistą i znamionową natężeń prądu silnika, wartościami rozwijanych momentów oraz parametrami zewnętrznymi obciążenia jednostki napędowej (momenty obciążające i hamujące).

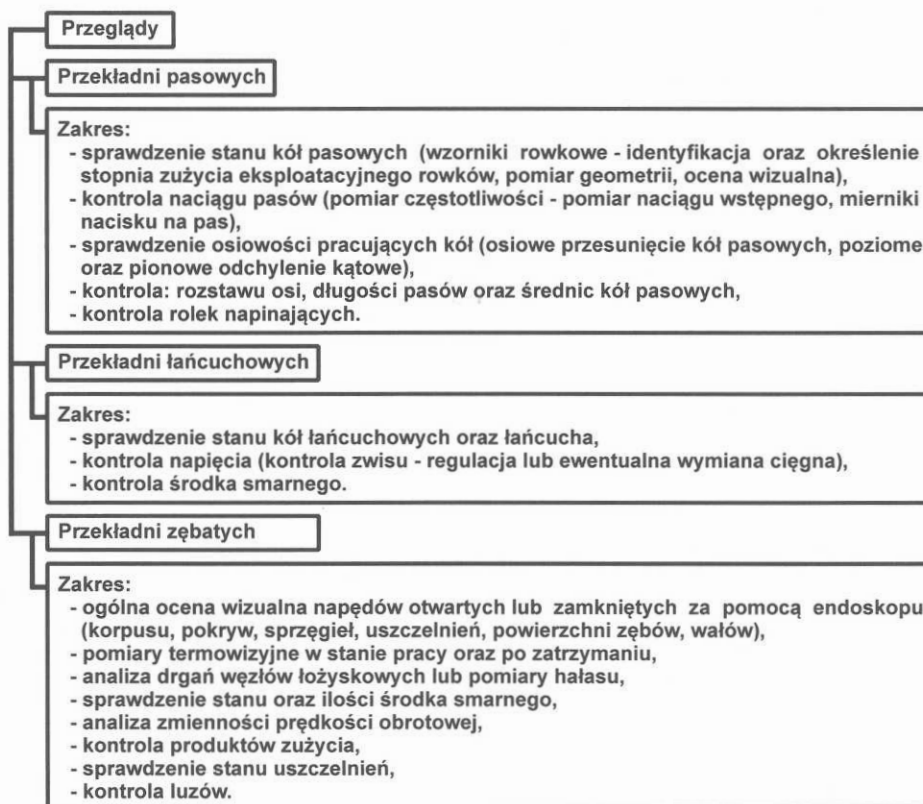
Przyjęcie metody prewencyjnego utrzymania ruchu pozwala na zwiększenie niezawodności napędu, zwiększenie czasu życia oraz minimalizację kosztów (napraw, przestojów, remontów). Niewymiernym wskaźnikiem jest poprawa bezpieczeństwa pracy. Wadami rozwiązań prewencyjnych jest konieczność inwestycji w urządzenia pomiarowe, szkolenia pracowników oraz ustalenia ścieżek pomiarowych i prawidłowego sposobu interpretacji danych. □

Piśmiennictwo

1. Bloch H.P., Geitner F.K.: *Practical Machinery Management for Process Plants – Machinery Component Maintenance and Repair* (vol. 3). Elsevier Linacre House, USA 2005.



— Rys. 2. Typy oraz zakres przeglądów silników elektrycznych



— Rys. 3. Zakres przeglądów przekładni używanych z elektrycznymi silnikami napędowymi

2. Cempel C., Tomaszewski F.: *Diagnostyka maszyn: zasady ogólne: przykłady zastosowań*. Międzyresortowe Centrum Naukowe Eksploatacji Majątku Trwałego, Radom 1992.

3. Dhillon B.S.: *Engineering Maintenance – A Modern Approach*. CRC Press, USA 2002.

4. Dwojak J., Rzeplia M.: *Diagnostyka i obsługa techniczna łożysk tocznych*. Biuro Gamma, Warszawa 2003.

5. Korbicz J., Kościelny J.M., Kowalczyk Z., Cholewa W.: *Diagnostyka procesów: mo-*

dele, metody sztucznej inteligencji, zastosowania. Wydawnictwa Naukowo-Techniczne, Warszawa 2002.

6. Mobley R.K., Higgins L.R., Wikoff D.R.: *Maintenance Engineering Handbook*. McGraw-Hill, USA 2008.

7. Świder J., Hetmańczyk M.: *Komputerowo zintegrowany system sterowania i diagnostyki napędów rozproszonych*. Wydawnictwo Politechniki Śląskiej, Gliwice 2011.

8. Toliyat H.A., Kliman G.B.: *Handbook of Electric Motors*. CRC Press, Boca Raton 2004.