

Jerzy Hickiewicz, Sławomir Szymaniec, P. Trzeciak, Politechnika Opolska, Opole
Zbigniew Ławrowski, Energotest-Diagnostyka, Opole

PRÓBA OCENY EKONOMICZNEJ DIAGNOSTYKI MASZYN ELEKTRYCZNYCH

THE ECONOMIC ASSESSMENT OF ELECTRIC MACHINES DIAGNOSIS

Abstract: This paper presents an attempt of the economic assessment of high voltage squirrel-cage induction motors diagnosis. Costs of diagnostic measurement of stator winding insulation have been estimated. These costs have been compared to the costs of possible repairs. Diagnosis costs have been also compared to the costs of energy used by these machines. Costs of diagnosis which has been done internally are compared to the costs of an external service, taking into account the amount of machines in the plant.

1. Wstęp

Istnieje wiele prac omawiających metody diagnozowania maszyn elektrycznych [1][2]. W opracowaniach tych brakuje jednak oceny ekonomicznej diagnostyki. Ta publikacja jest próbą takiej oceny w odniesieniu do napędów elektrycznych z silnikami indukcyjnymi klatkowymi wysokiego napięcia. Ogólnie uważa się, że prowadzenie diagnostyki urządzeń napędzających jest korzystne bo:

- zapewnia niezawodność napędu,
- daje oszczędności dzięki zmniejszeniu kosztów ewentualnych napraw diagnozowanego układu napędowego,
- minimalizuje straty produkcyjne związane z realizowanym procesem technologicznym w którym uczestniczy układ napędowy.

Diagnostyka może polegać na:

- monitorowaniu ciągłym stanu urządzenia diagnozowanego,
- diagnozowaniu okresowym,
- diagnozowaniu stanu urządzenia przed uruchomieniem oraz przed zakończeniem użytkowania obiektu.

Diagnostyka okresowa jest najczęściej stosowana w układach napędowych. Analiza pomiarowych wyników diagnostycznych decyduje o dalszych losach silnika napędowego jego dalszej eksploatacji bądź skierowaniu go do przeglądu lub remontu. Daje to dodatkowe oszczędności, bo zapobiega niepotrzebnym przeglądom i remontom. W układach napędu elektrycznego najpowszechniej stosuje się maszyny indukcyjne klatkowe. W przypadku odpowiedzialnych układów napędowych dużej mocy są to zwykle silniki klatkowe wysokiego napięcia. W silnikach tych uszkodzeniom ulegają uzwojenia stojanów, w szczególności układ izola-

cyjny, klatki wirników, gniazda łożyskowe, dochodzić też może do niewyważenia części wirujących, nieosiowości oraz innych uszkodzeń mechanicznych. Częstym uszkodzeniem maszyn elektrycznych są uszkodzenia węzłów łożyskowych. Orientacyjny koszt pomiarów diagnostycznych i wymiany łożysk podano w tabeli 1.

Tab.1

Koszty jednostkowe diagnostyki i wymiany łożysk

Moc silnika [kW]	160	850	1800
Diagnostyka łożysk [zł]	800-1000		
Wymiana tys [zł]	3-4	4-5	6-7

Jednym z poważniejszych uszkodzeń, często grożących maszynie, jest również uszkodzenie izolacji uzwojenia stojana. Skutkiem tego uszkodzenia może być konieczność przeważania maszyny. Jest to kosztowna naprawa, a jej koszt w przypadku uzwojenia wysokiego napięcia wynosi ok. 20-30% ceny maszyny. Z tego względu ekonomiczne skutki diagnostyki spróbowano ocenić wycinkowo na podstawie analizy opłacalności diagnostyki uzwojeń stojana

2. Próba oceny efektów ekonomicznych diagnostyki stanu izolacji uzwojeń stojana

Próbe przeprowadzono [3] na przykładzie oceny efektów ekonomicznych diagnostyki uzwojeń stojanów silników indukcyjnych klatkowych wysokiego napięcia stosowanych w napędach: pomp, wentylatorów, młynów, przenośników itp., używanych w energetyce i prze-

myśle. W tym celu przyjęto do rozważań trzy rodzaje silników o mocach: 160 kW, 850 kW, 1800 kW, nie precyzując dokładnie wszystkich ich danych, np. liczby par biegunów. Przyjęto orientacyjnie przybliżone ceny silników, koszty przewajania, koszty regeneracji (przedmuchiwanie, mycie, suszenie itp.) izolacji uzwojeń bez przewajania, koszty pełnych badań (DR) stanu izolacji uzwojeń wielokryterialną metodą prądu stałego, bądź metodą wyładowań niepełnych oraz koszty podstawowych pomiarów (DP) stanu izolacji w oparciu o mierniki rezystancji, w odniesieniu do jednej maszyny (Tab.2).

Tab.2

Koszty jednostkowe napraw i usług diagnostycznych

Moc [kW]	160	850	1800
Cena [tyś zł]	55	120	200
Przewojenie [tyś zł]	20	40	50
Regeneracja [tyś zł]	4	12	15
Diagnostyka pełna [zł]	2500		
Diagnostyka podstawowa [zł]	500		

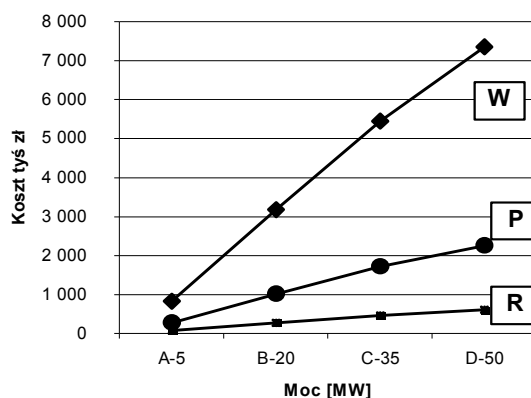
W celu przeprowadzenia oceny ekonomicznej prowadzenia diagnostyki w zakładach różnej wielkości przyjęto cztery różne zakłady A, B, C, D, w których z kolei przyjęto hipotetyczny stan parku maszynowego przedstawiony w tabeli (Tab.3).

Tab.3

Liczba maszyn w poszczególnych zakładach

Moc silników [kW]	Liczba maszyn				Σ mocy [MW]
	160	850	1800	Razem	
A	5	3	1	9	5
B	15	13	4	32	20
C	27	18	9	54	≈35
D	29	23	15	67	≈50

Na wykresie (Rys.1) porównano łączne wartości wszystkich maszyn (W) z kosztami przewajania (P) i kosztami renowacji uzwojeń (R) w funkcji mocy wszystkich zainstalowanych maszyn w każdym z zakładów A, B, C, D.

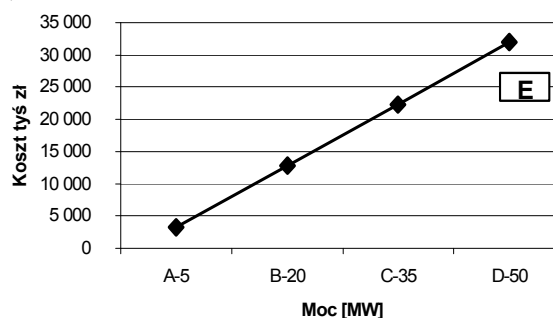


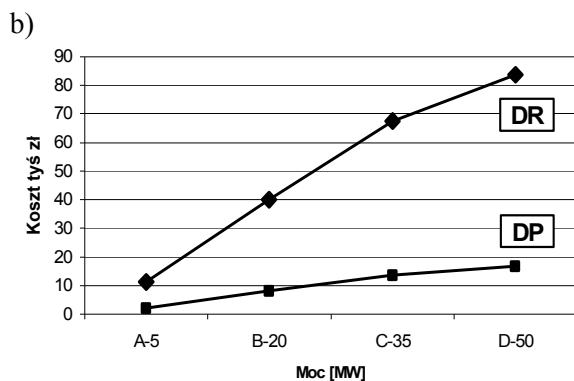
Rys.1. Porównanie kosztów maszyn przewajania i renowacji uzwojeń

Rysunek 1 pokazuje wyraźne różnice pomiędzy kosztami przewajania i regeneracji uzwojeń. Prowadzenie pełnej okresowej diagnostyki zapobiega uszkodzeniom wymagającym przewajania, pozwalając w ten sposób na zmniejszenie kosztów ewentualnych napraw ograniczając je głównie do renowacji co wyraźnie uzasadnia celowość diagnostyki.

Na rysunku 2a przedstawiono koszty rocznego zużycia energii elektrycznej (E) przez maszyny w poszczególnych zakładach i porównano je rocznymi kosztami usług diagnostycznych (Rys.2b) pełnych (DR) i podstawowych (DP). Koszt zużycia energii elektrycznej określono zakładając: obciążenia maszyny 80% mocy znamionowej, czas pracy 4000 godzin, koszt 1 MWh równy 200 zł. Roczny koszt pełnych badań diagnostycznych (DR) określono zakładając, że badania te są wykonywane co 2 lata, zatem koszt roczny jest iloczynem połowy ilości maszyn i kosztu jednostkowego usługi. Roczny koszt podstawowych (DP) badań diagnostycznych określono przy założeniu, że każda maszyna badana jest raz w roku.

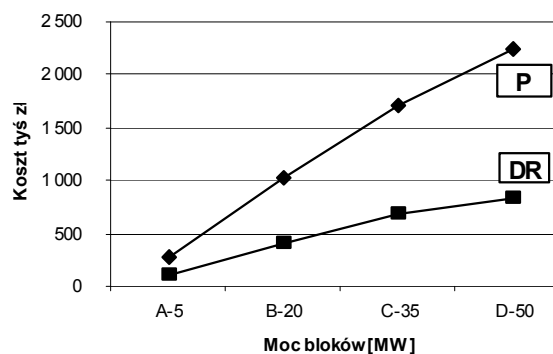
a)





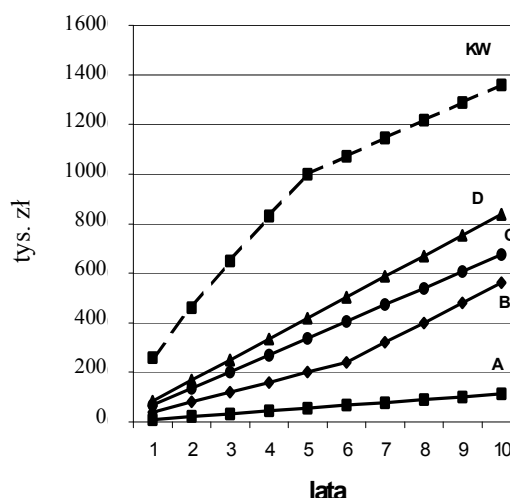
Rys.2. Porównanie rocznych kosztów zużycia energii w poszczególnych zakładach (a) z rocznymi kosztami usług diagnostycznych pełnych i podstawowych (b)

Składnikami kosztów eksploatacyjnych maszyn są zarówno koszty zużytej energii jak i koszty usług diagnostycznych. Rysunek 2 pokazuje dobitnie wzajemne ich proporcje w zakładach o różnych ilościach pracujących maszyn. Widać, że koszty usług diagnostycznych są małe w porównaniu z kosztami energii elektrycznej. Koszty zużytej energii są zwykle znacznie mniejsze od efektów, które przynosi praca napędu. W przypadku bloku energetycznego o mocy 360 MW, w którym napędy potrzeb własnych odpowiadają w przybliżeniu parkowi maszynowemu zakładu C, można szacować koszt zużywanej energii w ciągu godziny jako iloczyn mocy zainstalowanych napędów, współczynnika wykorzystania np. 0,8 i kosztów 1 MWh zużywanej energii przyjętego w wysokości 200 zł. Stanowi to około 5 tys zł za godzinę, podczas gdy szacowany podobnie przychód uzyskany w wyniku godziny pracy bloku wynosi około 50 tys zł, a więc około 10 razy więcej. Porównując przychód z pracy bloku z rocznymi kosztami usług pełnej diagnostyki wszystkich napędów bloku widać, że koszt zwraca się jeśli zapobiegnie się ok. 2 godzinom przestoju bloku. Jeszcze krótszy czas przestoju bloku zwraca koszt usług diagnostycznych jeśli trzeba uwzględnić koszty ponownego rozruchu bloku na skutek przerwy wywołanej awarią napędu. Na rysunku 3 przedstawiono porównanie kosztów przewijania (P) wszystkich maszyn z kosztami dziesięcioletniej pełnej diagnostyki (DR) w zakładach A, B, C, D. Przeprowadzono również porównanie kosztów własnych prowadzenia diagnostyki z kosztami zleczanych usług diagnostycznych. Jako koszty własne przyjęto koszty aparatury i robocizny.

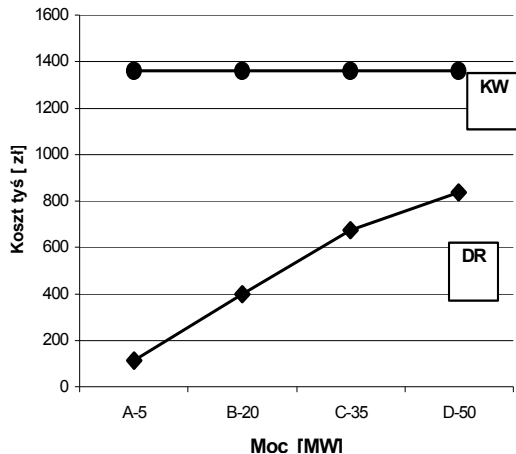


Rys.3. Porównanie kosztów przewijania z kosztami dziesięcioletniej pełnej diagnostyki

W przypadku badań pełnych (rozszerzonych) przyjęto koszt aparatury w wysokości 500 tys zł, a koszt robocizny w wysokości 72 tys zł rocznie. Przyjęto, że zakup aparatury jest kredytowany, stopa kredytu wynosi 12,9%. Kredyt malejący jest spłacany przez 5 lat. Przeprowadzono porównanie kosztów własnych (KW) prowadzenia diagnostyki pełnej z kosztami pełnych usług diagnostycznych (DR) dla każdego z hipotetycznych zakładów A, B, C, D, w okresie 10 lat, zilustrowane rysunkiem 4. Na rysunku 5 pokazano porównanie kosztów pełnej diagnostyki własnej z kosztami zleczanych usług w identycznym zakresie w formie narastającej w ciągu 10 lat dla poszczególnych hipotetycznych zakładów. Koszty diagnostyki własnej są jednakowe w poszczególnych zakładach. Koszty usług diagnostycznych są różne w poszczególnych zakładach w zależności od ilości maszyn.

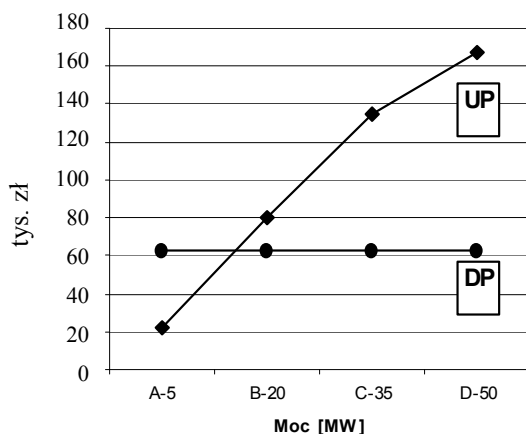


Rys.5. Porównanie kosztów pełnej diagnostyki własnej z usługami w czasie 10 lat



Rys.4. Porównanie dziesięcioletnich kosztów pełnej diagnostyki własnej z kosztami usług.

Im park maszynowy jest mniejszy, tym większe są różnice kosztów diagnostyki własnej w stosunku do usług diagnostycznych. Prowadzenie diagnostyki własnej może okazać się tańsze w przypadku bardzo dużej ilości pracujących maszyn. Należy jednak zauważyć, że koszty usług na konkurencyjnym rynku usług mogą maleć, natomiast koszty aparatury o coraz lepszych właściwościach diagnostycznych, zapewniających większą pewność diagnozy, mogą rosnać. Na rysunku 6 przedstawiono porównanie dziesięcioletnich kosztów diagnostyki podstawowej własnej (DP) z kosztami zleczanych usług (UP). Koszty diagnostyki własnej oszacowano jako koszty inwestycyjne aparatury diagnostycznej w wysokości 50 tys zł. Aparaturę zakupiono zaciągając kredyt malejący pięcioletni, o stopie 12,9 %. Nie uwzględniono kosztów robocizny, przyjmując, że czynności diagnostyczne w zakresie diagnostyki podstawowej wykonuje personel kontrolujący eksploatację maszyn.



Rys.6. Porównanie kosztów diagnostyki podstawowej własnej (DP) i zleconych usług (UP)

W zakresie tak wąsko prowadzonej diagnostyki nie opłaca się zlecać usług, lecz tak prowadzona diagnostyka jest mało skuteczna, nie dając pewności zapobieganiu uszkodzeniom.

3. Wnioski

Prowadzenie diagnostyki w zakresie pełnym, zapobiegającym uszkodzeniom, wydaje się być celowym i opłacalnym bo:

- roczne koszty usług diagnostycznych są znikomo małe w porównaniu z kosztami energii elektrycznej zużywanej w ciągu roku pracy przez diagnozowane maszyny,
- koszty usług diagnostycznych są mniejsze od kosztów napraw (np. przezwajania),
- koszty usług diagnostycznych szybko zwracają się przez zapobieganie przestojom,
- usługi diagnostyczne zwiększają niezawodność działania diagnozowanych obiektów oraz minimalizują koszty ich ewentualnych remontów,

Przeprowadzone rozważania nie są ściśle, mają charakter orientacyjny, chodziło w nich głównie o pokazanie wzajemnych proporcji pomiędzy kosztami energii elektrycznej zużywanej przez silniki elektryczne, a kosztami pomiarów diagnostycznych, jak również kosztami skutków ewentualnych uszkodzeń.

4. Literatura

- [1]. Cempel Cz, Tomaszewski F: „Diagnostyka maszyn”, MCWEMT Radom 1992r,
- [2]. Glinka T: „Badania diagnostyczne maszyn elektrycznych w przemyśle”, BOBRME Komel, Katowice 1998r,
- [3]. Trzeciak P: „Diagnostyka izolacji maszyn elektrycznych i jej efektywność ekonomiczna.”, praca dyplomowa, Politechnika Opolska, 2005r

Autorzy

Dr hab. inż. J. Hickiewicz Profesor Politechniki Opolskiej, email: jh@po.opole.pl

Dr inż. Z. Ławrowski

Prezes Zarządu Energotest-Diagnostyka
email: zlawrowski@energotest.gliwice.pl

dr inż. S. Szymaniec

email: slawszym@po.opole.pl

P. Trzeciak przt@wp.pl