

Jakub Bernatt
BOBRME Komel, Katowice

MOŻLIWOŚCI OBNIŻENIA ENERGOCHŁONNOŚCI NAPĘDÓW DUŻEJ MOCY

ABOUT POSSIBILITIES OF REDUCING ELECTRICAL ENERGY CONSUMPTION BY ELECTRICAL DRIVES

Abstract: High output induction motors working in polish industry are the subject of the paper. It is estimated, that only in polish powerplants work more than 2000 motors output higher than 200 kW. Also in brown coal-mines hundreds of high voltage slip-ring motors are installed. The presently exploited motors are mainly outdated, manufactured and designed more than 20 – 30 years ago. These motors are characterised by low efficiency factor and high noise level. Figure 1 indicates the value of efficiency factor of different type induction squirrel cage motors (domestic and foreign). It can be easily noticed that modern motors have the efficiency factor higher of even 4% than the old ones.

The old motors should be replaced by modern, energy efficient ones. The Table 3 and 4 present the possibilities of replacing these old machines by new, modern motors. In case of replacing motors in powerplants with generation units of 200 MW, savings of electricity per 1 drive and for all main drives together are shown. The total energy power savings balance at the level of 500 kW, what for 7000 operating hours per year enables to save about 3400 MWh.

Wstęp

Ciągła konieczność obniżania kosztów produkcji, a także presja społeczna powoduje, że przedsiębiorstwa przemysłowe, w tym również producenci energii elektrycznej, muszą uwzględniać aspekty środowiskowe w swej działalności w tym zmniejszać energochłonność procesów technologicznych.

Dotyczy to przede wszystkim napędów z silnikami elektrycznymi. Ocenia się, że urządzenia napędzane silnikami zużywają ponad 60% wytwarzanej energii elektrycznej. Należy pamiętać, iż produkcja energii elektrycznej przez energetykę zawodową i przemysłową pociąga za sobą około 2/3 całkowitej

Obecnie pojawiają się zachęty do wprowadzania inwestycji energooszczędnościowych w postaci możliwości otrzymania wsparcia finansowego (dofinansowania takiej inwestycji) oraz zaczynają się pojawiać tzw. firmy ESCO, które finansują inwestycję oraz zapewniają wsparcie techniczne.

1. Silniki wysokiego napięcia – stan obecny

Silniki elektryczne prądu przemiennego, indukcyjne, zwłaszcza klatkowe, są najpowszechniej stosowanym napędem różnego rodzaju urządzeń przemysłowych zakresu mocy 160 – 3150 kW. Swoją pozycję zawdzięczają stosunkowo prostej konstrukcji, wysokiej

niezawodności pracy oraz niskiej – w porównaniu do innych rodzajów - cenie. Wadą napędów z silnikami indukcyjnymi jest brak możliwości płynnej regulacji prędkości obrotowej bez stosowania drogich układów energoelektrycznych (przebiegów).

Silniki wysokiego napięcia (WN), zarówno klatkowe jak i pierścieniowe są ogólnodostępnymi wyrobami katalogowymi, produkowanymi w kraju od szeregu lat przez zakłady:

- EMIT - Żychlin, zakres mocy: 160-3150 kW,
- DFME (d. DOLMEL) - Wrocław, zakres mocy: 630 - 6000 kW

1.1. Eksploatacja

Szacuje się, że w krajowym przemyśle (hutnictwo, górnictwo, chemia, petrochemia, energetyka, cementownie, zakłady papiernicze i inne) eksploatowanych jest co najmniej 10.000 sztuk napędów omawianego zakresu mocy, w których zainstalowane są silniki klatkowe wysokiego napięcia. W samej energetyce pracuje przeszło 2000 silników WN. W kopalniach węgla brunatnego do napędu koparek, zwałowarek i taśmociągów stosowane są setki silników pierścieniowych dużej mocy (630 do 1000 kW). Większość silników dużej mocy eksploatowana jest w ruchu ciągłym, 6000 godzin rocznie. Ponadto w większości silniki klatkowe są zasilane wprost z sieci, co skutkuje

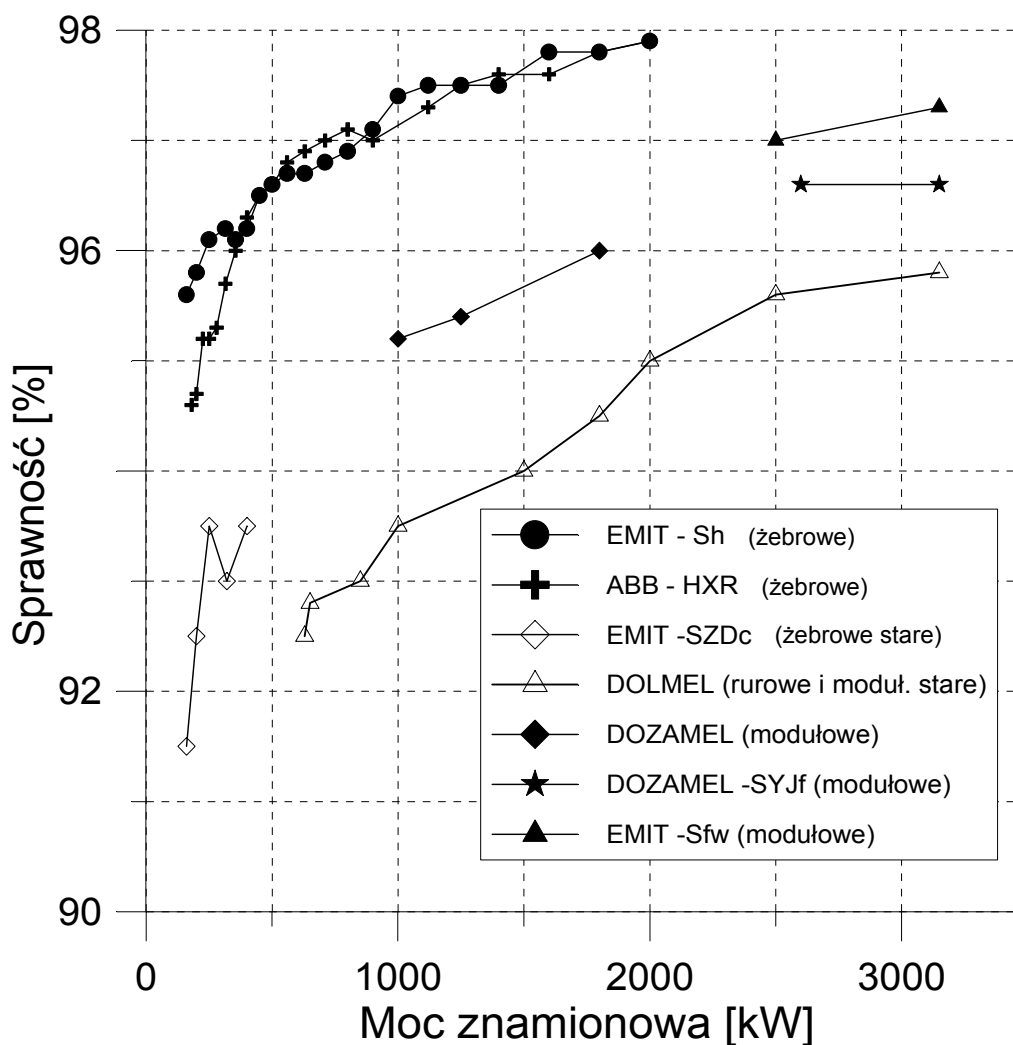
brakiem możliwości płynnej regulacji prędkości obrotowej i tym samym dostosowania wydatku np. tłoczonego medium (gazów, cieczy) do bieżącego zapotrzebowania.

Roczny pobór energii elektrycznej przez tę grupę maszyn szacować należy na około 60 TWh. (6×10^{10} kWh) [2].

Zdecydowana większość (ok. 80%) eksploatowanych aktualnie silników dużej mocy to wyroby stare, 20-30 letnie, technicznie przestarzałe, produkowane przed laty przez dwóch krajowych producentów. Niektóre z nich projektowane były jeszcze w latach 60-tych, kiedy to do poziomu współczynnika sprawności, a także do poziomu emitowanego hałasu nie przywiązywano dużej wagi.

Znajdujące się w wieloletniej eksploatacji silniki są zwykle kilkakrotnie remontowane z wymianą uzwojeń stojana. Podczas tego remontu współczynnik sprawności ulega zazwyczaj dalszemu obniżeniu [2,3].

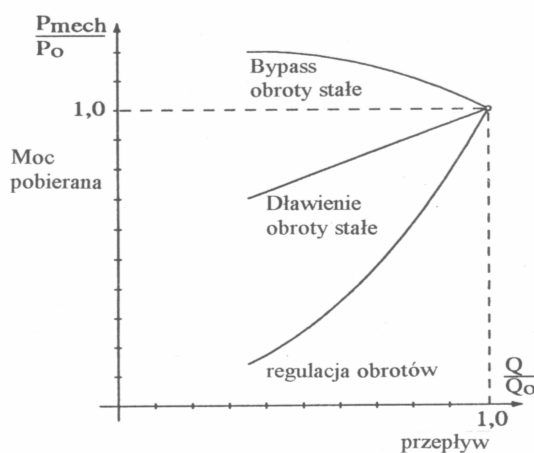
Roczne straty energii elektrycznej w eksploatowanych silnikach wysokiego napięcia starych serii szacować należy na około 3900 GWh. Porównanie znamionowych współczynników sprawności starych krajowych serii silników żebrowych SZD(J)c (EMIT), silników rurowych SZJr(D) (DOLMEL) ze współczesnymi wyrobami różnych firm, w tym z produkowaną obecnie serią Sf silników modułowych (160-1000 kW, EMIT) oraz nową serią Sh silników energooszczędnych żebrowych wysokiego napięcia przedstawiono na rys 1.



Rys.1. Porównanie sprawności silników wysokiego napięcia różnych producentów, 1500 obr/min

Zainstalowane w zakładach przemysłowych maszyny i urządzenia napędzane silnikami elektrycznymi dobierane były z reguły na prognozowane, maksymalne potrzeby tychże zakładów; zazwyczaj bez możliwości ekonomicznej regulacji wydajności tych maszyn. W maszynach przepływowych (pompy, wentylatory, sprężarki wirowe) potrzebne ze względów technologicznych zmiany wydajności uzyskiwane są najczęściej albo przez dławienie zaworami albo przez obiegi zwrotne (bypass), a w przypadku wentylatorów stosowane są tzw. kierownice, natomiast napędzający urządzenie silnik klatkowy pracuje w sposób ciągły przy znamionowej prędkości obrotowej. Wiąże się z dużymi stratami energii.

Bardzo duże oszczędności energii możliwe byłyby do uzyskania poprzez regulację wydajności tych maszyn drogą zmiany prędkości obrotowej silników napędzających, co dla przypadku pomp zostało zilustrowane na rys. 2 [3].



Rys.2. Zapotrzebowanie mocy pompy w zależności od sposobu regulacji wielkości przepływu

Zmianę prędkości obrotowej napędu można osiągać albo poprzez zasilanie silników klatkowych od strony stojana z przemienników częstotliwości (duży nakład inwestycyjny), albo w przypadku silnika pierścieniowego poprzez włączenie w obwód wirnika układu tyrystorowej kaskady podsynchronicznej (rozwiązanie tańsze, stojan zasilany z sieci WN) [6].

Wprowadzenie regulacji prędkości obrotowej pozwala również w wielu przypadkach na eliminację przekładni mechanicznej, a więc dalszą obniżkę strat, a także kosztów instalacji. Regulacja prędkości usprawnia procesy technologiczne zakładów przemysłowych, przyczynia się do zwiększenia trwałości eksploatowanych

maszyn oraz całych instalacji (np. sieci wodnej).

Do urządzeń w których poprzez regulację prędkości obrotowej można osiągnąć szczególnie znaczące obniżenie zużycia energii należy zaliczyć: wentylatory przewietrzania głównego kopalń, taśmociągi transportowe węgla brunatnego, wentylatory powietrza i spalin elektrowni i elektrociepłowni, pompy wody sieciowej, pompy wody zasilającej kotły.

Jak wspomniano, znaczna większość silników wysokiego napięcia aktualnie eksploatowanych w krajowym przemyśle i energetyce była projektowana przed wielu laty, wobec tego możliwym jest również uzyskanie znacznych oszczędności energii poprzez wymianę starych zainstalowanych silników na nowe, energooszczędne.

3. Możliwości techniczne i efekty ekonomiczne modernizacji napędów elektrycznych

Jak pokazano na rys. 2 największe oszczędności energii elektrycznej można osiągnąć poprzez wprowadzenie regulacji prędkości obrotowej. Jest to rozwiązanie najdroższe i ta bariera częstokroć powoduje, iż całe przedsięwzięcie kończy się już na etapie opracowywania kosztorysu i projektu. Dlatego należy również rozważyć samą tylko wymianę starego, wyeksploatowanego silnika na nowoczesny energooszczędny. Wprawdzie oszczędności energii elektrycznej i efekty ekonomiczne modernizacji są wtedy mniejsze niż w przypadku wprowadzenia regulacji prędkości obrotowej, ale wymianę silnika można przeprowadzić np. zamiast koniecznego remontu silnika starego przy znacznie zmniejszonych nakładach inwestycyjnych.

Poniżej przedstawiono 6 przykładowych wariantów modernizacji napędu wentylatora o mocy 850 kW.

Wariant 1a - wymiana silnika starej serii na nowoczesny energooszczędny

Wariant 1b - wymiana silnika starej serii na nowoczesny energooszczędny w przypadku awarii silnika dotychczasowego

Wariant 2a - wprowadzenie regulacji obrotów z zastosowaniem przemiennika częstotliwości o napięciu 6 kV i przy pozostawieniu starego silnika

Wariant 2b - wprowadzenie regulacji obrotów z zastosowaniem przemiennika częstotliwości o napięciu 6 kV i przy wymianie silnika na nowoczesny

Wariant 3 - wprowadzenie regulacji obrotów z zastosowaniem przemiennika częstotliwości o napięciu 690 V i nowoczesnego silnika.

Wariant 4 - wprowadzenie regulacji obrotów za pomocą tyrystorowej kaskady podsynchronicznej.

W poniższych tabelach wyliczono całkowite zużycie energii elektrycznej układu napędowego przed modernizacją i po jej przeprowadzeniu.

Tabela 1. Wentylator z kierownicami na wyjściu

Czas pracy		Przepływ [%]	Spraw. wentylat [%]	Moc na wale [kW]	Sprawność silnika		Pobór mocy przez napęd		Zużycie energii przez napęd	
względny [%]	rbg				starego [%]	nowego [%]	Silnik stary [kW]	Silnik nowy [kW]	silnik stary [MWh]	silnik nowy [MWh]
20	1200	40	35	648	92,0	96,9	704,3	668,7	845,2	802,4
40	2400	60	46	714	92,4	97,0	772,7	736,1	1854,5	1766,6
30	1800	80	50	782	92,7	97,1	834,6	805,4	1502,3	1449,7
10	600	100	55	850	93,0	97,1	914,0	875,4	548,4	525,2
RAZEM:									4750,4	4543,9
Koszt energii									950080 zł	908780 zł

założona cena energii elektrycznej 200 zł/MWh

Tabela 2. Wentylator z przetwornicą częstotliwości

Czas pracy		Przepływ [%]	Spraw. wentylat. [%]	Moc na wale [kW]	Sprawność silnika		Sprawność przetwor. i trans- form. [%]	Pobór mocy przez napęd		Zużycie energii przez napęd	
względny [%]	rbg				starego [%]	nowego [%]		Silnik stary [kW]	Silnik nowy [kW]	silnik stary [MWh]	silnik nowy [MWh]
20	1200	40	46	255	84,2	94,7	91	332,8	295,9	399,4	355,1
40	2400	60	53	369	88,1	96,0	92	455,3	417,8	1092,7	1002,7
30	1800	80	54	548	91,1	96,7	94	639,9	602,9	1151,8	1085,2
10	600	100	55	850	93,0	97,1	96	952,1	911,8	571,3	547,1
RAZEM:									3215,2	2990,1	
Koszt energii									643040 zł	598020 zł	

Wariant 1a – wymiana samego silnika

Jak wynika z danych zawartych w tabeli 1 przy założonym reżimie pracy, wymiana silnika umożliwia uzyskanie oszczędności energii elektrycznej na poziomie 206,5 MWh rocznie. Dla kosztu energii 200 zł/MWh i ceny nowego silnika około 130 tys. zł, prosty czas zwrotu nakładów wynosi 3.1 roku. Jednakże w wyniku zastosowania silnika elektrycznego nowej generacji uzyskuje się również efekty niewymierne jak np. obniżenie drgań mechanicznych i poziomu hałasu w miejscu zainstalowania maszyny, a także zwiększenie niezawodności i pewności ruchu napędu.

Wariant 1b – wymiana silnika zamiast remontu silnika uszkodzonego

Wymiana silnika na nowy jest bardziej opłacalna, gdy następuje zamiast kierowania uszkodzonego silnika do remontu lub przezwojenia [3,4,5]. Przeciętny koszt przezwojenia silnika omawianego zakresu mocy wynosi około 36 tys. zł. Zatem do obliczania prostego okresu zwrotu nakładów należy przyjąć różnicę między ceną nowego silnika (ok. 130 tys. zł), a kosztem remontu. W tym przypadku czas zwrotu poniesionych nakładów wynosi 2 lata.

$$\frac{130.000 - 36.000}{41.300} = 2 \text{ lata}$$

Wariant 2a - wprowadzenie regulacji obrotów z zastosowaniem przemiennika częstotliwości o napięciu 6 kV i pozostawieniu dotychczasowego silnika

Jeżeli w układzie napędowym zastosowany był silnik, który może współpracować z przemiennikiem częstotliwości lub w łatwy sposób można go przystosować do takiego zasilania wówczas nie jest konieczna jego wymiana. Jednakże przed zastosowaniem w układzie z falownikiem silnika dotychczasowego należy upewnić się czy wpływ zasilania falownikowego nie spowoduje szybkiego niszczenia silnika (mogą tu występować takie zjawiska jak: przepływ prądów łożyskowych, nadmierne nagrzewanie się klatki wirnika oraz uzwojeń stojana czy degradacja izolacji uzwojeń na skutek bardzo dużej stromości narastania napięcia). Koszty takiej inwestycji to około 673.000 zł, w tym:

- przemiennik częstotliwości 6000 V
– 460.000 zł
- transformator specjalny 3-uzwojeniowy
– 88.000 zł
- montaż, rozruch – 125.000 zł

Porównując dane z tabel 1 i 2 otrzymuje się wartość zaoszczędzonej energii jako 307040 zł. Zatem okres zwrotu nakładów wynosi 1.8 roku

$$\frac{673.000}{950.080 - 643.040} = 1.8 \text{ roku}$$

Wariant 2b - wprowadzenie regulacji obrotów z zastosowaniem przemiennika częstotliwości o napięciu 6 kV przy jednoczesnej wymianie silnika.

Przy stosowaniu układów regulacji obrotów celowa jest również wymiana silnika na przystosowany do zasilania falownikowego. Jest to rozwiązanie znacznie bardziej niezawodne niż pozostawienie (nawet przystosowanego) silnika starego. W takim przypadku koszty modernizacji napędu wyniosą 813.000 zł w tym:

- przemiennik częstotliwości 6000 V
– 460.000 zł
- transformator specjalny 3-uzwojeniowy
– 88.000 zł
- silnik przystosowany do zasil. falown.
– 140.000 zł
- montaż, rozruch – 125.000 zł

Porównując dane z tabel 1 i 2 otrzymuje się wartość zaoszczędzonej energii jako 352.060 zł. Zatem okres zwrotu nakładów wynosi 2.3 roku.

$$\frac{813.000}{950.080 - 598020} = 2.3 \text{ roku}$$

Porównując warianty 2a i 2b widać, iż podniesienie kosztu inwestycyjnego poprzez dodatkowe zainstalowanie nowego silnika nie wydłuża znacząco czasu zwrotu nakładów, a jednocześnie zapewnia większe oszczędności energii elektrycznej oraz większą niezawodność ruchu napędu.

Wariant 3 - wprowadzenie regulacji obrotów z zastosowaniem przemiennika częstotliwości o napięciu 690 V

Wprowadzając regulację prędkości obrotowej przy zastosowaniu falownika o napięciu wyjściowym 690 V (lub 800 V) koniecznym jest przezwyciężenie istniejącego silnika z 6000 V na 690 V (ew. 800 V) lub, co właściwsze, zainstalowanie nowego silnika o niskim napięciu znamionowym przystosowanego do zasilania z przekształtników. W takim przypadku koszty modernizacji napędu wyniosą około 545.000 zł w tym:

- przemiennik częstotliwości 690 V
– 277.000 zł
- transformator – 80.000 zł
- silnik 690V przystosowany do zasil. falown.
– 130.000 zł
- montaż, rozruch – 58.000 zł

Porównując dane z tabel 1 i 2 otrzymuje się wartość zaoszczędzonej energii jako 352.060 zł. Zatem okres zwrotu nakładów wynosi 1.5 roku.

$$\frac{545.000}{950.080 - 598.020} = 1.5 \text{ roku}$$

Wariant 4 - wprowadzenie regulacji obrotów z zastosowaniem silnika pierścieniowego i pod-synchronicznej kaskady tyrystorowej po stronie wirnika

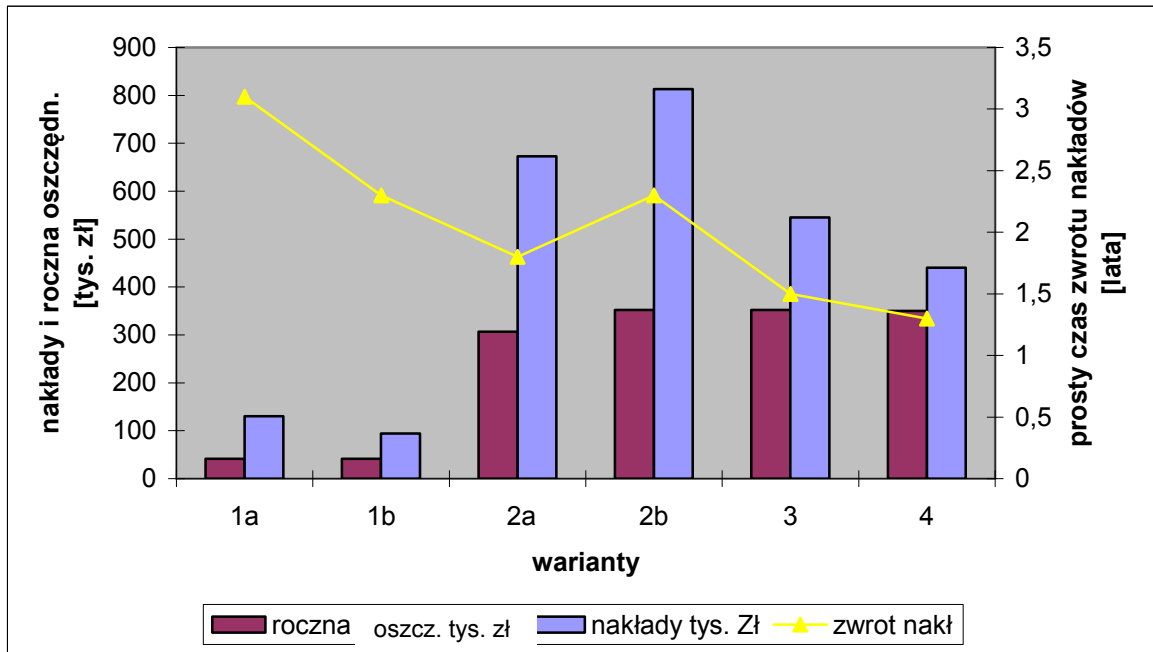
Ostatni z przedstawianych wariantów zakłada wymianę dotychczasowego wirnika klatkowego i zastąpienie go wirnikiem pierścieniowym. Takie rozwiązanie cechuje najniższy koszt inwestycyjny, jednakże jest to rozwiązanie bardziej uciążliwe w eksploatacji z uwagi na konieczność obsługi zestyku ślizgowego pierścieni i szczotek wirnika. W tym przypadku całkowity koszt inwestycyjny to 440.000 zł w tym:

- kaskada (łącznie z rozruchem)
– 350.000 zł
- wirnik pierścieniowy – 90.000 zł

Oszczędność energii jest zbliżona do oszczędności z wariantu 3, zatem okres zwrotu nakładów wynosi około 1.2 do 1.3 roku.

Na rysunku 2 zestawiono w formie graficznej niezbędne nakłady na modernizacje napędu

wentylatora w zależności od wybranego wariantu. Przedstawiono tam również uzyskiwane oszczędności ekonomiczne z tytułu zmniejszenia zużycia energii elektrycznej oraz czas zwrotu poniesionych nakładów inwestycyjnych.



Rys.2. Zestawienie kosztów modernizacji, efektów ekonomicznych i czasów zwrotu poniesionych nakładów przy modernizacjach napędu wentylatora 850 kW

1a – wymiana silnika,

1b- wymiana silnika zamiast remontu silnika uszkodzonego,

2- zastosowanie falownika WN,

2b- zastosowanie falownika WN + wymiana silnika,

3- zastosowanie falownika 690V + wymiana silnika,

4-zastosowanie kaskady tyrystorowej + wymiana wirnika

3.1. Modernizacja (wymiana) wszystkich silników bloku energetycznego o mocy 200 MW

Jak wspomniano omawiając wariant 1 możliwe jest uzyskanie znaczących oszczędności energii elektrycznej tylko na drodze wymiany eksploatowanych silników elektrycznych starych serii i zastąpienie ich nowoczesnymi o podwyższonej sprawności (np. serii Sh produkowanymi przez EMIT S.A w Żychlinie). Jako przykład takiej modernizacji wybrano blok 200 MW – typowy w polskiej energetyce. W tabeli 3 przedstawiono wykaz silników zainstalowanych w takim bloku wraz z propozycjami ich zastąpienia silnikami nowej generacji.

Na podstawie przytoczonych w tabeli 3 porównań zużycia energii silników obecnie eksploatowanych oraz nowoczesnych silników energooszczędnych wysokiego napięcia widać, iż technicznie możliwym jest uzyskanie rocznych

oszczędności na poziomie 2400 MWh (6000 godzin pracy w ciągu roku). Dla przyjętego kosztu 1 kWh=0.15 zł możliwym jest zaoszczędzenie rocznie około 362.000 zł.

Podany przykład dotyczy jednoczesnej wymiany wszystkich silników zainstalowanych w urządzeniach potrzeb własnych bloku 200 MW. Taka jednoczesna modernizacja bloku jest z oczywistych względów trudna do przeprowadzenia, natomiast może być realizowana przy remoncie odtworzeniowym bloku. Należy równocześnie brać pod uwagę stopniową wymianę silników, w szczególności tych o krótkim okresie zwrotu poniesionych nakładów. Taką wymianę należy prowadzić zamiast kierowania wyeksploatowanego silnika do remontu.

Tabela 3. NAPĘDY URZĄDZEŃ POTRZEB WŁASNYCH DUŻEJ MOCY O PRACY CIĄGŁEJ W BLOKU ENERGETYCZNYM 200MW

Możliwości oszczędności energii poprzez wymianę i zastosowanie silników energooszczędnych (średnie obciążenie silników przyjęto jako 90 % P_N)

Lp.	Nazwa urządzenia	OBECNIE STOSOWANE SILNIKI (STARE)				Ilość silników czynnych na 1 bloku	PROPOZYCJA ZASTOSOWANIA SILNIKA ENERGOOSZCZĘDNEGO				Oszczędność zapotrzebowania mocy kW	Roczna oszczędność energii przy 6000 godz. pracy bloku MWh
		Typ silnika	Moc	Prędk. obrot.	Sprawność		Typ silnika	Moc	Prędk. obrot.	Sprawność		
			kW	min ⁻¹	%			kW	min ⁻¹	%		
1	młyn węglowy	SZDr124r	650	1490	92,4	3	Sh450H4A	630	1494	96,6	81,3	ŁĄCZNIE
2	wentylator młynowy	SZJr134s	850	1490	92,6	3	Sh450H4C	800	1494	96,9	103,5	
3	wentylator podmuchu	SZJr1512	800	498	93,2	2	SF710Y12	800	498	95,2	32,4	
4	wentylator ciągu	SZJre158	1700	740	94,2	2	SF710Y8	1700	745	96,6	80,8	
5	pompa skroplin podstawowych	SZDVc174	200	1485	92,1	2	SVh355H4B	200	1488	95,7	14,4	
6	pompa wody zasilającej	SYJe142r	3150	2984	95,6	2	Sh710-2D	3150	2990	97,1	84,2	
7	pompa wody sieciowej (zima)	SZDc174t	250	1480	93,2	1	Sh355H4C	250	1490	96,0	7,0	
8	pompa wody sieciowej (lato)	SZDc154	160	1480	92,7	1	Sh355H4A	160	1488	95,9	5,2	
9	pompa główna wody chłodzącej	SBJVe1716t	3150	365	95,6	1	brak zamiennika krajowego				---	
ŁĄCZNIE											403,6 kW zima 401,8 kW lato	ok. 2415 MWh

(x) – parametry silników podane na podstawie obliczeń projektowych

4. Podsumowanie

Oczywistym jest fakt, iż regulację prędkości obrotowej powinno się wprowadzać tylko w tych napędach, które pracują przy zmiennym obciążeniu, natomiast wymiana starych silników na nowoczesne jest celowa dla wszystkich napędów, niezależnie od stopnia ich obciążenia. Obliczenia ekonomiczne wykonano dla założonej ceny energii elektrycznej 200 zł/MW dla przemysłu oraz 150 zł/MW dla bloku energetycznego. Obie ceny są niskie dlatego wyliczone okresy zwrotu mogą być krótsze.

Dodatkowym „bonusem” nieuwzględnionym w przytoczonych przykładach jest możliwość uzyskania wsparcia finansowego (dotacji) na wprowadzenie przedsięwzięć energooszczędnościowych, nawet do wysokości 25% poniesionych nakładów inwestycyjnych. W przypadku uzyskania takiego wsparcia przytoczone okresy zwrotu ulegną dalszemu, radykalnemu skróceniu. Ponadto uwzględnić należy również przychody z tytułu utylizacji starych silników (oddanie na złom, lub do producenta nowego silnika w celu uzyskania dodatkowego rabatu cenowego). Innym wymiernym efektem przeprowadzonej modernizacji jest zastąpienie, starego, wyeksploatowanego napędu urządzeniem nowoczesnym o małej awaryjności i o z reguły znacznie mniejszej uciążliwości dla otoczenia – niższe drgania i hałas.

Jednym z nowoczesnych narzędzi finansowania różnego typu inwestycji jest metoda TPF - Third Party Financing, co oznacza finansowanie przez stronę trzecią. W największym skrócie polega ona na tym, że "strona trzecia", czyli tzw. firma ESCO wykłada określony kapitał na realizację projektu modernizacyjnego, a następnie przez pewien - z reguły kilkuletni - okres cała różnica w ponoszonym przez użytkownika koszcie, wynikająca np. z oszczędności energii, traktowana jest jako spłata tego swoistego zobowiązania. Metoda ta łączy w sobie dwa elementy, niezbędne do przeprowadzenia moder-

nizacji - zagwarantowanie niezbędnych środków finansowych oraz fachową pomoc techniczną.

W przypadku zainteresowania którąś z omówionych form finansowania lub uzyskania dotacji autor gotowy jest udzielić wyjaśnień lub wskazać podmiot udzielający takiego wsparcia.

Przedstawione obliczenia należy traktować raczej jako przykład, zachęcający do wnikliwej analizy możliwości technicznych i ekonomicznych modernizacji układów napędowych. Należy jednak zwrócić uwagę na stosunkowo niską sprawność wentylatorów, która według wiedzy autora jest znacznie niższa nawet od sprawności najstarszych silników

Literatura

- [1]. Potencjał techniczny i ekonomiczny zmniejszenia zużycia energii w Polsce z tytułu wymiany i modernizacji dużych układów napędowych (w zakresie mocy 200 – 3150 kW). Opracowanie BOBRME „Komel” CS4-054065, 2000r, praca nie publikowana
- [2]. Walters D. G.: Minimising Efficiency Loss Caused by Motor Rewinds. Energy Efficiency Improvements in Electric Motors and Drives. Springer. Berlin, Heidelberg, New York 2000.
- [3]. Bernatt M., Bernatt J.: Napędy i silniki energooszczędne. Materiały V Konferencji Modernizacja i Oszczędność w energetyce. Solina – Jawor 1999.
- [4]. Bernatt M., Bernatt J.: Energy Saving High Voltage Motors in Poland – From the Project to the Implementation. Proceedings of International Scientific Conference „Energy Savings in Electrical Engineering” Warszawa 2001.
- [5]. Bernatt J., Bernatt M.: Energy Efficient High Voltage Induction Motors. International Conference Energy Efficiency of Motor Driven Systems (EEMODS), Treviso, Italy 2002
- [6]. Bernatt M., Szczucki F.: Zastosowanie regulowanych napędów do maszyn przepływowych oraz możliwości adaptacji silników synchronicznych i asynchronicznych klatkowych na silniki asynchroniczne pierścieniowe. Zeszyty Problemowe Maszyny Elektryczne BOBRME Komel, Nr 53, 1996r.