

Porównanie kosztów cyklu życia standardowych i energooszczędnych silników indukcyjnych niskiego napięcia

Maciej Bernat, Tomasz Zieliński

Silniki elektryczne indukcyjne stanowią podstawowe źródło napędu w układach przemysłowych. Cieszą się popularnością ze względu na swoje właściwości, takie jak: dopasowanie charakterystyki elektro-mechanicznej do potrzeb napędzanych maszyn, niezawodność, prostota konstrukcji, niskie koszty eksploatacyjne, wysoka sprawność przetwarzania energii. Powszechność ich zastosowań sprawia, że stanowią grupę urządzeń zużywających największą część wytwarzanej w elektrowniach energii. Sprawność silników indukcyjnych jest wysoka, jednak ze względu na ogromną ilość zainstalowanych maszyn ocenia się, że wielkość strat energii w silnikach sięga w naszym kraju 1,5 miliarda złotych rocznie [1].

W ostatnich dwudziestu latach na świecie podjęto szereg inicjatyw dla zmniejszenia zużycia energii. Jednym z kierunków działania jest zmniejszenie strat energii w silnikach elektrycznych. Akcja ta została zapoczątkowana w Stanach Zjednoczonych. W 1992 r. ukazała się tam ustawa EPACT określająca minimalny obligatoryjny poziom sprawności standardowych silników indukcyjnych mocy 1–200 HP. Od 1997 roku sprzedaż na rynku USA silników o sprawności niższej od określonej w EPACT jest prawnie zabroniona.

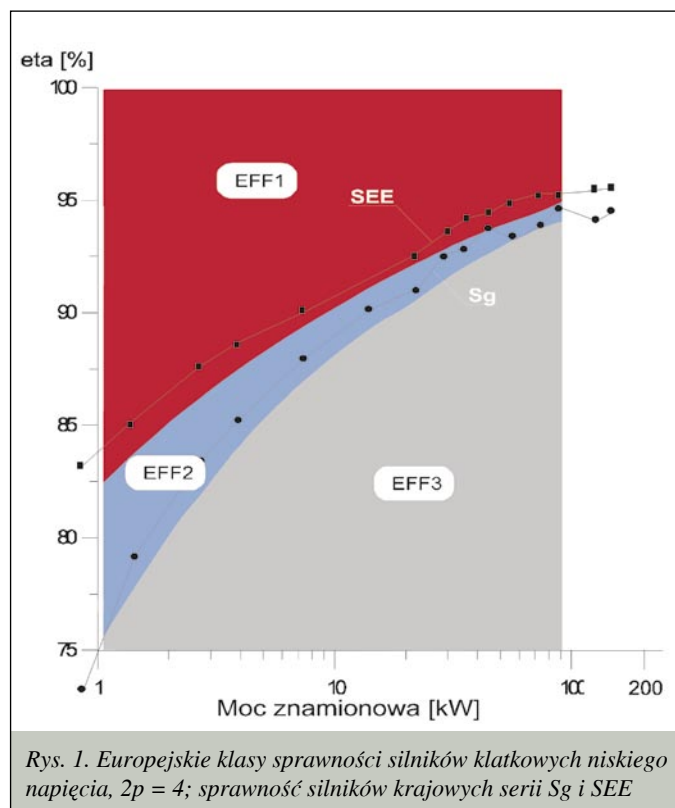
W Europie, w wyniku działań Komisji Europejskiej, w 1999 r. Stowarzyszenie Europejskich Producentów Maszyn Elektrycznych i Energoelektroniki CEMEP określiło trzy klasy sprawności silników indukcyjnych klatkowych z zakresu mocy 1,1–90 kW, oznaczone symbolami Eff1, Eff2, Eff3. Wprawdzie stosowanie silników o wyższej klasie sprawności (Eff1 lub Eff2) jak na razie nie jest w Unii Europejskiej obligatoryjne, lecz oczywiste jest, że w wyniku wprowadzenia tej klasyfikacji zakres stosowania silników o niskiej sprawności (Eff3) będzie się kurczyć.

W 2005 r. CEMEP obwieścił zakończenie realizacji porozumienia dobrowolnego w zakresie zwiększenia sprzedaży silników klasy Eff2 w miejsce Eff3. Ostatecznie uzyskane wyniki za 2004 r. to sprzedaż 8% silników w klasie Eff3, 85% klasy Eff2 i 7% w klasie Eff1. Należy pamiętać jednak, że dane te dotyczą tylko sprzedaży producentów zrzeszonych w CEMEP (ok. 80% rynku). Jako sukces programu pokazuje się zmniejszenie udziału w rynku silników klasy Eff3 z 68% w 1998 r. do 8% w 2004 r., należy jednak zwrócić uwagę, że silniki klasy Eff1 mają tylko 7% udziału w rynku, co w porównaniu z takimi krajami, jak: USA i Kanada (54%), Australia i NZ (32%), Brazylia (15%) nie wygląda nazbyt imponująco i wskazuje na konieczność prowadzenia dalszych zdecydowanych działań w tym zakresie.

W Polsce produkowane są aktualnie dwa rodzaje silników indukcyjnych klatkowych niskiego napięcia: silniki standardowe

serii Sg i jej pochodnych oraz silniki serii SEE. Sprawność tych maszyn na tle klasyfikacji CEMEP pokazano na rysunku 1. Silniki serii SEE spełniają wymogi klasy sprawności Eff1. Należy nadmienić, że silniki w klasie Eff1 dostępne w Polsce nie obejmują tylko serii SEE, ale również serie czołowych producentów światowych. Jednak sprzedaż silników energooszczędnych na rynku krajowym jest słabo rozwinięta ze względu na szereg barier. Podstawowym problemem jest tu wyższy koszt zakupu urządzenia o większej efektywności. Upowszechnienie stosowania silników energooszczędnych wśród krajowych użytkowników napędów stanowi jeden z głównych celów Polskiego Programu Efektywnego Wykorzystania Energii w Napędach Elektrycznych finansowanego przez Globalny Fundusz Środowiska (GEF). W ramach Programu PEMP stworzono mechanizm pozwalający producentom na sprzedaż silników energooszczędnych niskiego napięcia po obniżonych cenach, jest to tzw. Program Rabatowy. Lista producentów uczestniczących w Programie Rabatowym oraz inne szczegóły związane z tym mechanizmem są dostępne na stronie internetowej poświęconej Programowi PEMP – www.pemp.pl.

Cena silników energooszczędnych jest wyższa od ceny silników standardowych, ponieważ wynika to z większego zuży-



cia materiałów czynnych do ich produkcji oraz staranniejszego wykonawstwa. Dlatego silniki energooszczędne należy uważać za wyroby o wyższej jakości. Do użytkownika należy podjęcie decyzji, jaki typ silnika dla danego napędu jest najlepszy z ekonomicznego punktu widzenia, który silnik umożliwi pozyskanie niezbędnej energii mechanicznej przy najniższych kosztach. Pomocna może tu okazać się analiza *LCC*, tzn. szacowanie kosztów cyklu życia urządzenia (z ang. *Life Cycle Cost*).

Chociaż analizę kosztów *LCC* zaproponowano po raz pierwszy ponad 25 lat temu, była to do niedawna koncepcja teoretyczna rzadko stosowana w praktyce. Sytuacja ta zmieniła się wraz z przyjęciem pierwszych zaleceń ISO 14040, dotyczących oceny cyklu życiowego (*Life Cycle Assessment*) oraz publikacją normy dla norweskiego przemysłu naftowego – NORSOK, która stosuje *LCC* jako podstawę do podejmowania decyzji inwestycyjnych. Na podstawie wytycznych norweskich powstała w 2001 roku norma ISO 15663.

Ogólne wprowadzenie do koncepcji szacowania kosztu cyklu życia z nastawieniem na koszty związane z niezawodnością wyrobu przedstawiono w normie międzynarodowej obowiązującej również w Polsce PN – IEC 60300-3-3 „Zarządzanie niezawodnością. Przewodnik zastosowań. Szacowanie kosztu cyklu życia”. Norma jest przewidziana do ogólnego stosowania zarówno przez użytkowników, jak i dostawców wyrobów. Wyjaśniono w niej cele i znaczenie szacowania kosztu cyklu życia i nakreślono ogólne podejście do tego zagadnienia. Określono również typowe elementy kosztu cyklu życia. Autorzy niniejszego artykułu powołują się na ten dokument w swoim opracowaniu.

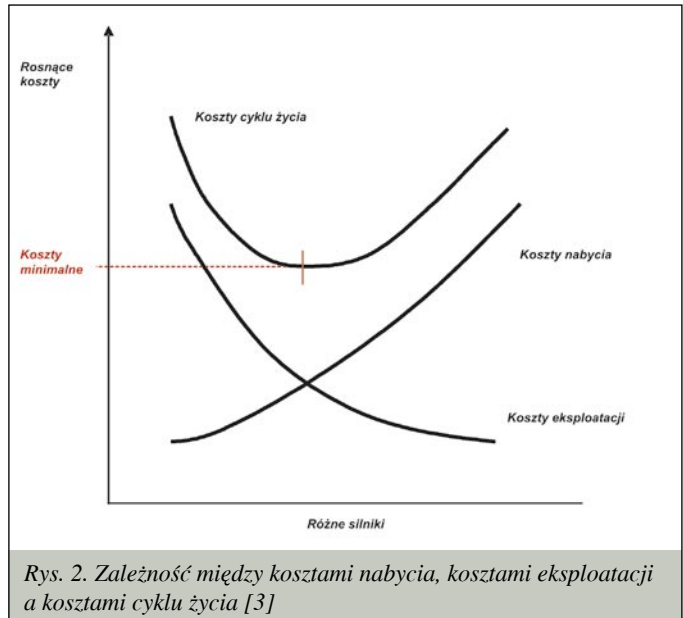
Cykl życia to przedział czasu od powstania wyrobu do jego likwidacji. Szacowanie *LCC* ma na celu dostarczenie ważnych danych wejściowych do podejmowania decyzji dotyczących projektowania, rozwoju i użytkowania wyrobu. Analiza *LCC* jest najefektywniejsza w fazie projektowania. Jej przydatność potwierdza się również w kolejnych etapach cyklu życia przy podejmowaniu innych decyzji inżynierskich i ułatwieniu efektywnej alokacji zasobów. Z punktu widzenia producenta czy dostawcy wiąże się to z możliwością optymalizacji projektów poprzez ocenę różnych wariantów rozwiązań i poszukiwanie kompromisów między nimi. Z punktu widzenia użytkownika, klienta analiza *LCC* umożliwia ocenę kosztów związanych z rezultatami różnych koncepcji, sposobów podejść do eksploatacji, obsługi urządzenia i powinna mieć decydujący wpływ na decyzję o zakupie. Wyróżnia się sześć głównych faz cyklu życia wyrobu:

- koncepcji i definiowania;
- projektowania i rozwoju;
- produkcji;
- instalowania;
- użytkowania i obsługiwania;
- likwidacji.

Dla silników elektrycznych najistotniejsze wydają się faza projektowania i rozwoju, faza produkcji oraz użytkowania. Łączne koszty ponoszone w wymienionych wyżej etapach można podzielić na koszty nabycia i koszty posiadania. O ile koszty nabycia są stosunkowo łatwe do zdefiniowania przed podjęciem decyzji o zakupie, to koszty posiadania, będące często głównym składnikiem *LCC*, są raczej trudne do przewidzenia. Istnieje zależność pomiędzy kosztami ponoszonymi w początkowych fazach życia wyrobu (koszty nabycia) i kosztami ponoszonymi w fazie posiadania [3].

W przypadku silnika energooszczędnego, ze względu na zmniejszone obciążenia części czynnej, dokładniejszy proces

wykonawstwa, staranną końcową kontrolę, a przez to lepsze parametry eksploatacyjne, wyższy koszt zakupu można powiązać z niezawodnością urządzenia i jego efektywnością. Większa niezawodność i lepsze wskaźniki efektywności niewątpliwie wpływają na obniżenie kosztów eksploatacji. Zależności pomiędzy poszczególnymi elementami kosztów a kosztami całkowitymi ponoszonymi w cyklu życia urządzenia przedstawiono w sposób poglądowy na rysunku 2.



Rys. 2. Zależność między kosztami nabycia, kosztami eksploatacji a kosztami cyklu życia [3]

Na potrzeby oceny *LCC* dla urządzeń i maszyn istotnymi elementami kosztów mogą być:

- koszty inwestycyjne;
- prognozowane koszty energii;
- koszty obsługi, konserwacji, planowanych remontów;
- koszty usuwania awarii, postojów produkcyjnych;
- koszty środowiskowe;
- koszty wycofania z eksploatacji.

Z powodu trudności w precyzyjnym prognozowaniu inflacji zaleca się prowadzenie analizy *LCC* w oparciu o ceny stałe.

Na potrzeby przedstawionej poniżej analizy szacowania kosztów cyklu życia przeprowadzonej dla silników indukcyjnych niskiego napięcia, produkcji krajowej (serie Sg i SEE) ograniczono się do określenia kosztów zakupu (K_i) i kosztów użytkowania, jako kosztu energii (K_e) elektrycznej pobranej z sieci w okresie eksploatacji.

Metodyka obliczania *LCC* dla silników indukcyjnych

Koszty nabycia silników określono w oparciu o dane producentów krajowych z 2005 r. Koszt energii w jednym roku (K_{ea} , zł/rok) oszacowano, przyjmując ilość godzin pracy silnika (h , godz./rok), współczynnik (p) obciążenia – moc na wale w stosunku do mocy znamionowej (P_n , kW), sprawność silnika przy danym obciążeniu (η_p) oraz średnią cenę energii elektrycznej (c_e , zł/kWh).

$$K_{ea} = \frac{p \cdot P_n \cdot h \cdot c_e}{\eta_p} \quad (1)$$

Aktualną wartość kosztu energii elektrycznej w różnych latach (K_{en}) określono jako:

$$K_{en} = \frac{K_{ea}}{(1+s)^n} \quad (2)$$

Łączny sprowadzony koszt zużytej energii elektrycznej (K_e) za cały okres n lat eksploatacji wynosi:

$$K_e = \sum_{n=1}^{15} K_{e_n} \quad (3)$$

Dyskontowaniu podlegają wszystkie koszty ponoszone w cyklu życia urządzenia. LCC dla silnika indukcyjnego asynchronicznego wyznaczono wg równania 4:

$$LCC = \sum_{n=0}^{15} \frac{K}{(1+s)^n} \quad (4)$$

gdzie:

- K – ponoszone koszty;
- s – stopa dyskonta;
- n – lata eksploatacji.

Ponieważ koszty inwestycyjne (K_i) ponoszone są w roku bazowym ($n = 0$), zależność 4 można zapisać następująco:

$$LCC = K_{i_0} + K_e = K_{i_0} + \sum_{n=1}^{15} \frac{K_{e_n}}{(1+s)^n} \quad (5)$$

Porównanie opłacalności stosowania silnika standardowego i energooszczędnego pokazano w oparciu o różnice w koszcie cyklu życia ΔLCC (równanie 6). Wartość ujemna ΔLCC świadczy o mniejszych kosztach poniesionych w cyklu życia inwestycji związanej z zastosowaniem silnika energooszczędnego niż silnika standardowego.

$$\Delta LCC = LCC_{ee} - LCC_{st} \quad (6)$$

gdzie:

- LCC_{ee} – koszt cyklu życia silnika energooszczędnego,
- LCC_{st} – koszt cyklu życia silnika standardowego.

Ponadto na potrzeby analizy przyjęto następujące założenia:

1. Do analizy porównawczej wybrano silniki standardowe i energooszczędne o 2 parach biegunów i mocach znamionowych z zakresu 0,75 do 160 kW.

2. Czas eksploatacji silników określono na 15 lat (jednakowy dla silników standardowych i energooszczędnych).
3. Czas pracy w ciągu roku w przedziale 200 do 6000 h.
4. Założono, że silnik pracuje przy obciążeniu 50%; 75% i 100% mocy nominalnej (P_n).
5. Sprawność silników przyjęto na podstawie danych katalogowych.
6. Przyjęto stałą w czasie eksploatacji, średnią cenę energii elektrycznej (c_e) na poziomie 0,28 zł/kWh.
7. Stopa dyskonta (s) 6%.

Wyniki obliczeń

W tabelach od 1 do 4 podano wyniki przykładowych obliczeń dotyczących zużycia energii, rocznych kosztów energii oraz łącznych (całkowitych) kosztów cyklu życia (użytkowania) silników niskiego napięcia. Obliczenia przeprowadzono, zakładając, że silnik pracuje przy obciążeniu 75% (wariant najczęściej spotykany w praktyce).

Zawarte w poniższych tabelach dane wykazują, że koszt energii elektrycznej jest dominującą pozycją w kosztach użytkowania silników. Generalnie zwiększony koszt inwestycyjny nabycia droższych silników energooszczędnych o podwyższonej sprawności dla większości przypadków skompensowany zostaje przy czasie ich eksploatacji powyżej 1000 godzin w roku. Przy pracy ciągłej trójmianowej (6000 godz. rocznie) łączny sprowadzony koszt użytkowania dostępnych na krajowym rynku silników energooszczędnych może być niższy o około 10% w stosunku do kosztu użytkowania silników standardowych.

Dla silników standardowych i energooszczędnych o mocy 2,2; 18,5 oraz 75 kW przeprowadzono dodatkowo analizę LCC przy pracy z obciążeniem 50% i 100%. Wyznaczono najmniejszą liczbę godzin pracy napędu energooszczędnego, przy której wyższe koszty inwestycyjne w porównaniu do silnika standardowego są równoważone. Wyniki obrazują poniższe wykresy (rysunki 3 do 5).

Tabela 1. Zużycie energii elektrycznej przez silniki standardowe i energooszczędne niskiego napięcia, czterobiegunowe w zależności od czasu pracy

Moc znamionowa (P_n), kW	Sprawność $\eta_{0,75}$ [%]		Zużycie energii, kWh/rok przy ilości godzin pracy w roku:							
			200		1200		4000		6000	
	st	ee	st	ee	st	ee	st	ee	st	ee
0,75	73	83,2	154	135	925	811	3082	2704	4623	4056
1,5	80	84,9	281	265	1688	1590	5625	5300	8438	7951
2,2	82,3	86,1	401	383	2406	2300	8019	7666	12029	11498
3	83,1	85,7	542	525	3249	3151	10830	10502	16245	15753
7,5	87,8	90,7	1281	1240	7688	7442	25626	24807	38440	37211
18,5	90,9	92,6	3053	2997	18317	17981	61056	59935	91584	89903
22	91,3	92,7	3614	3560	21687	21359	72289	71197	108434	106796
30	92,5	93,5	4865	4813	29189	28877	97297	96257	145946	144385
45	94,3	94,4	7158	7150	42948	42903	143160	143008	214740	214513
75	93,5	95,1	12032	11830	72193	70978	240642	236593	360963	354890
90	94,3	95,1	14316	14196	85896	85174	286320	283912	429480	425868
132	94,4	95,5	20975	20733	125847	124398	419492	414660	629237	621990
160	95,5	96	25131	25000	150785	150000	502618	500000	753927	750000

st – silnik standardowy;

ee – silnik energooszczędny

Tabela 2. Roczny koszt energii elektrycznej zużytej przez silniki standardowe i energooszczędne niskiego napięcia, czterobiegunowe w zależności od czasu pracy

Moc znamionowa (P _n), kW	Cena silnika K _p , zł *		Koszt energii, K _e w zł/rok przy ilości godzin pracy w roku:							
	st	ee	200		1200		4000		6000	
			st	ee	st	ee	st	ee	st	ee
0,75	196	266	43	38	259	227	863	757	1294	1136
1,5	236	307	79	74	473	445	1575	1484	2363	2226
2,2	299	389	112	107	674	644	2245	2146	3368	3219
3	338	439	152	147	910	882	3032	2941	4549	4411
7,5	576	749	359	347	2153	2084	7175	6946	10763	10419
18,5	1867	2334	855	839	5129	5035	17096	16782	25644	25173
22	1998	2498	1012	997	6072	5981	20241	19935	30362	29903
30	4587	5413	1362	1348	8173	8086	27243	26952	40865	40428
45	6291	7432	2004	2002	12025	12013	40085	40042	60127	60064
75	9600	11328	3369	3312	20214	19874	67380	66246	101070	99369
90	10803	12748	4008	3975	24051	23849	80170	79495	120254	119243
132	11646	13742	5873	5805	35237	34831	117458	116105	176186	174157
160	12589	14855	7037	7000	42220	42000	140733	140000	211100	210000

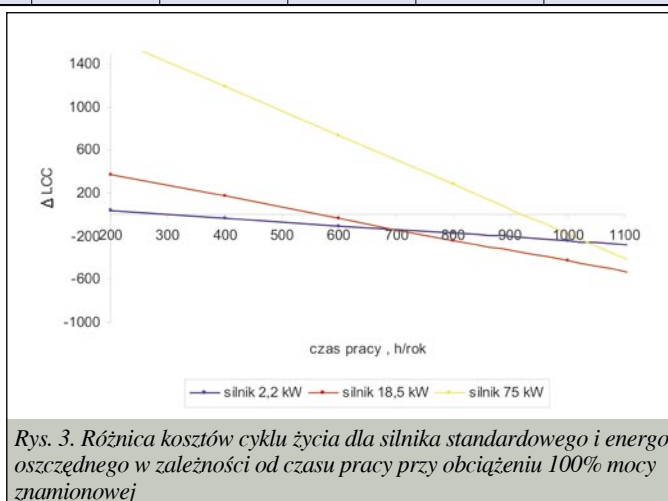
* ceny netto

Tabela 3. Łączny koszt użytkowania silników standardowych i energooszczędnych niskiego napięcia w zależności od czasu pracy

Moc znamionowa (P _n), kW	Łączny koszt cyklu użytkowania, LCC w zł przy ilości godzin pracy w roku:							
	200		1200		4000		6000	
	st	ee	st	ee	st	ee	st	ee
0,75	613	635	2711	2471	8579	7620	12765	11300
1,5	1005	1026	4829	4629	15532	14720	23187	21927
2,2	1389	1427	6845	6644	22106	21230	33011	31653
3	1813	1866	9176	9007	29785	29003	44519	43282
7,5	4061	4119	21485	20992	70263	68210	105109	101941
18,5	10171	10482	51683	51234	167907	165325	250926	246820
22	11827	12181	60973	60587	198583	196111	296880	292924
30	17816	18505	83966	83945	269179	267177	401480	398059
45	25756	26876	123082	124104	395606	396330	590259	590788
75	42322	43496	205923	204349	664011	654726	991216	976422
90	49729	51355	244394	244374	789435	784805	1178740	1170867
132	68687	70121	353849	352028	1152426	1141382	1722807	1705199
160	80932	82842	422639	422770	1379423	1374569	2062846	2054428

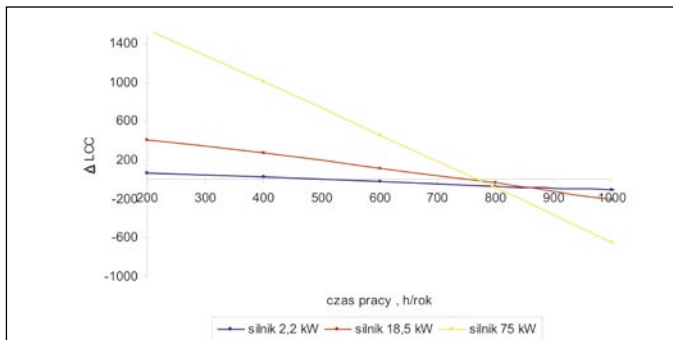
Tabela 4. Różnice w koszcie cyklu użytkowania silników energooszczędnych i standardowych niskiego napięcia czterobiegunowych

Moc znamionowa (P _n), kW	ΔLCC w zł przy ilości godzin pracy w roku:			
	200	1200	4000	6000
0,75	22	-240	-959	-1465
1,5	21	-200	-812	-1260
2,2	38	-201	-876	-1358
3	53	-169	-782	-1237
7,5	58	-493	-2053	-3168
18,5	311	-449	-2582	-4106
22	354	-386	-2472	-3956
30	689	-21	-2002	-3421
45	1120	1022	724	529
75	1174	-1574	-9285	-14794
90	1626	-20	-4630	-7873
132	1434	-1821	-11044	-17608
160	1910	131	-4854	-8418

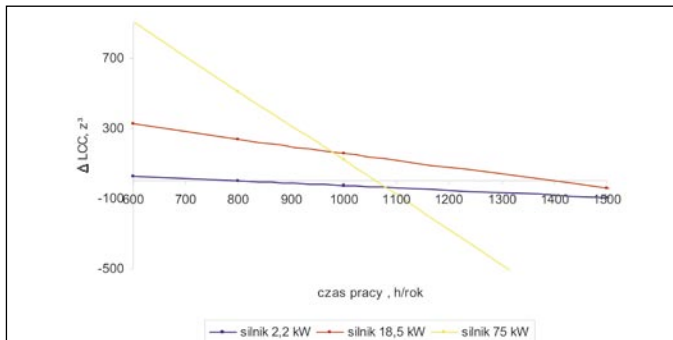


Rys. 3. Różnica kosztów cyklu życia dla silnika standardowego i energooszczędnego w zależności od czasu pracy przy obciążeniu 100% mocy znamionowej

Ponadto dla silników o mocy 2,2 ; 18,5 ; 75 kW i warunków pracy z obciążeniem 50, 75, 100% mocy znamionowej oszacowano koszty cyklu życia, zakładając, że silniki te pracują w ukła-



Rys. 4. Różnica kosztów cyklu życia dla silnika standardowego i energooszczędnego w zależności od czasu pracy przy obciążeniu 75% mocy znamionowej



Rys. 5. Różnica kosztów cyklu życia dla silnika standardowego i energooszczędnego w zależności od czasu pracy przy obciążeniu 50% mocy znamionowej

Tabela 5. Różnice w koszcie cyklu użytkowania silników energooszczędnych i standardowych o mocy 2,2 ; 18,5 ; 75 kW przy czasie eksploatacji silnika energooszczędnego 5 lat dłuższym od czasu eksploatacji silnika standardowego

Moc znamionowa (P _n), kW	ΔLCC w zł przy ilości godzin pracy w roku:			
	200	1200	4000	6000
Obciążenie 100% P _n				
2,2	-118	-561	-1789	-2660
18,5	-553	-1757	-5150	-7583
75	-2817	-5488	-13029	-18395
Obciążenie 75% P _n				
2,2	-97	-377	-1176	-1745
18,5	-489	-1393	-3913	-5714
75	-2930	-6178	-15285	-21790
Obciążenie 50% P _n				
2,2	-71	-227	-668	-988
18,5	-411	-871	-2195	-3136
75	-2747	-5101	-11676	-16375

dzie napędowym eksploatowanym przez 20 lat. Natomiast różny jest czas użytkowania silnika standardowego i energooszczędnego. Czas eksploatacji dla silnika energooszczędnego jest zbliżony z okresem eksploatacji całego układu. Silnik standardowy pracuje 15 lat i dodatkowym kosztem w cyklu życia jest tu koszt związany z zakupem silnika nowego po tym czasie. Koszty cyklu życia dla silnika standardowego przy tych założeniach obliczono wg równania 7:

$$LCC_{st} = K_{i_0} + \frac{K_{i_0}}{(1+s)^5} + \sum_{n=1}^{20} \frac{K_{e_a}}{(1+s)^n} \quad (7)$$

LCC dla silnika energooszczędnego obliczono wg zależności 8. Różnicę kosztów w cyklu użytkowania określono na podstawie równania 8.

$$LCC_{ee} = K_{i_0} + \sum_{n=1}^{20} \frac{K_{e_a}}{(1+s)^n} \quad (8)$$

Wyniki obliczeń zestawiono w tabeli 5. Większe zużycie energii elektrycznej, jak i dodatkowy koszt inwestycyjny po 15 latach eksploatacji przy zastosowaniu silnika standardowego wpływają na to, że różnica kosztów w 20-letnim cyklu życia (ΔLCC) wykazuje opłacalność stosowania silnika energooszczędnego już przy rocznym czasie pracy na poziomie 200 godzin.

Remontować czy wymieniać?

Ekonomiczne skutki niespodzianej awarii silnika mogą być bardzo dotkliwe, choć często są trudne do wyliczenia. Rutynową czynnością bywa zwykle oddanie silnika do remontu. Tymczasem dla silników mniejszych, do mocy około 22 kW, koszt remontu jest praktycznie taki sam, jak koszt nabycia standardowego silnika nowego; dla silników większych stanowi nie mniej niż 40–60% ich ceny. Podejmując decyzję o remoncie, traci się szansę na zainstalowanie nowoczesnego i tańszego w eksploatacji silnika energooszczędnego, który jednocześnie jest wyrobem o większej niezawodności eksploatacyjnej (mniejsze obciążenia części czynnej, niższy przyrost temperatury uzwojenia). W trakcie procesu remontowego współczynnik sprawności silnika ulega zwykle obniżeniu [2], a więc koszt eksploatacji remontowanego silnika rośnie. W tabeli 6 podano porównanie kosztów użytkowania dla opcji „remont” i opcji „wymiana” (na silnik energooszczędny SEE) typowych silników niskiego napięcia (2p = 4) serii Sg, mocy 22, 75, 160 kW.

Tabela 6. Porównanie kosztów remontu silników standardowych i wymiany silnika na energooszczędny

Moc znamionowa (P _n), kW	Opcja	Koszt remontu lub zakupu, zł	Szacowany spadek sprawności Δη _{0,75}	Sprawność η _{0,75}	Odzysk z utylizacji	Łączny koszt cyklu użytkowania, LCC w zł dla 15 lat eksploatacji przy ilości godzin pracy w roku:			
						%	%	zł	200
22	R	2000	0,9	90,4	–	11926	61566	200547	299816
	W	2498	–	92,7	175	12006	60412	195936	292749
75	R	4700	0,5	93	–	37595	202083	662626	991590
	W	11328	–	95,1	575	42921	203774	654151	975847
160	R	8120	0,4	95,1	–	76746	419900	1380703	2066990
	W	14855	–	96	750	82092	422020	1374819	2053678

Opcje: **R** – remont silnika Sg (wymiana uzwojenia, wymiana łożysk, wyważanie, malowanie);
W – złomowanie silnika Sg, (odzysk), wymiana na silnik energooszczędny

Wnioski końcowe

Biorąc pod uwagę koszty ponoszone w cyklu życia, stosowanie silników energooszczędnych jest inwestycją opłacalną. Głównym składnikiem kosztu użytkowania silnika elektrycznego jest koszt energii elektrycznej pobranej z sieci. Wzrost kosztów w cyklu życia spowodowany wyższą ceną silnika energooszczędnego równoważony jest unikniętym kosztem energii elektrycznej:

a. w silniku o mocy 2,2 kW w zależności od obciążenia:

- po około 800 godzinach pracy przy obciążeniu 50%;
- po około 500 godzinach pracy przy obciążeniu 75%;
- po około 300 godzinach pracy przy obciążeniu 100%;

b. w silniku o mocy 18,5 kW w zależności od obciążenia:

- po około 1400 godzinach pracy przy obciążeniu 50%;
- po około 750 godzinach pracy przy obciążeniu 75%;
- po około 570 godzinach pracy przy obciążeniu 100%;

c. w silniku o mocy 75 kW w zależności od obciążenia:

- po około 1070 godzinach pracy przy obciążeniu 50%;
- po około 770 godzinach pracy przy obciążeniu 75%;
- po około 930 godzinach przy obciążeniu 100%.

Silniki energooszczędne mają obniżone obciążenia elektromagnetyczne oraz mniejsze przyrosty temperatury uzwojeń. Dlatego dobrze znoszą przeciążenia, mogą być trwale obciążane mocą wyższą od znamionowej. Są urządzeniami o większej trwałości i niezawodności eksploatacyjnej.

Przy założeniu, że silnik energooszczędny, jako wyrób trwalszy, może być eksploatowany dłużej od silnika w wykonaniu standardowym (silnik energooszczędny – eksploatacja 20 lat, standardowy – 15 lat) oszacowane koszty cyklu życia jednoznacznie potwierdzają opłacalność stosowania silników energooszczędnych nawet przy małej liczbie godzin pracy urządzenia w ciągu roku (patrz tabela 5).

Remontowanie i oddawanie do ponownej eksploatacji uszkodzonych silników niskiego napięcia można uznać za racjonalne tylko w przypadku silników większej mocy i to eksploatowanych niewielką ilością godzin w ciągu roku. Remontowanie silników o mocy do 22 kW jest ekonomicznie nieuzasadnione. W przypadku awarii najbardziej racjonalnym jest złomowanie i zakup nowego silnika energooszczędnego.

Literatura

- [1] ŚLIWIŃSKI T.: *Koszt przetwarzania energii przez silniki indukcyjne*. Zeszyty Problemowe Komel nr 63/2001, str. 21–26.
- [2] KELLUM Z.: *The effect of rewinding on induction motors losses and efficiency*. Springer, Berlin – Heidelberg 2003.
- [3] Polska Norma PN-IEC 60300-3-3 Zarządzanie niezawodnością. Przewodnik zastosowań. *Szacowanie kosztu cyklu życia*, PKN kwiecień 2001.

Maciej Bernat – BOBRME Komel, Katowice
Tomasz Zieliński – Fundacja na rzecz Efektywnego Wykorzystania Energii, Katowice