SZYMON LISZKA
TOMASZ ZIELIŃSKI

Energooszczędne silniki elektryczne niskiego napięcia

„Energooszczędne silniki elektryczne niskiego napięcia”

- nowa klasyfikacja efektywności, analiza techniczno-ekonomiczna dla wymiany silników, finansowanie projektów”

PORTAL EFEKTYWNOŚCI ENERGETYCZNEJ W NAPĘDACH ELEKTRYCZNYCH

Publikację sfinansowano ze środków Narodowego Funduszu Ochrony Środowiska i Gospodarki Wodnej.

Autorzy:
Szymon Liszka – Prezes Fundacji na rzecz Efektywnego Wykorzystania Energii,
Tomasz Zieliński – Specjalista Fundacji na rzecz Efektywnego Wykorzystania Energii,
Kontakt e-mail: biuro@pemp.pl

Wydawca:

Fundacja na rzecz Efektywnego Wykorzystania Energii
ul. Rymera 3/4, 40-048 Katowice,
www.fewe.pl

© Copyright by Fundacja na rzecz Efektywnego Wykorzystania Energii – FEWE

Wydanie I, Katowice 2009

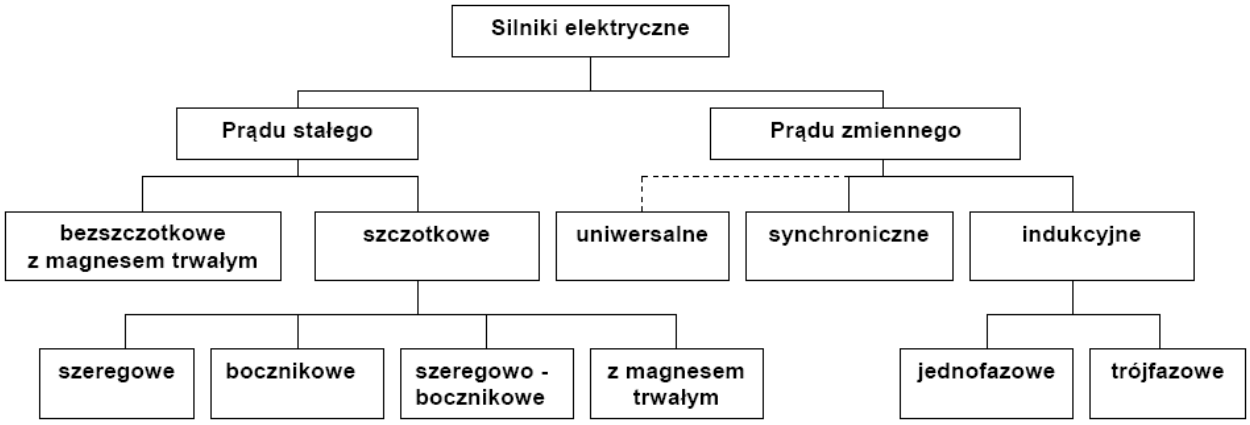
Projekt graficzny: Joanna Mazurczyk

Spis treści

1 Silniki niskiego napięcia – wprowadzenie 4
1.1 Rozwiązania techniczne poprawiające sprawność silnika 8
1.2 Co na rynku silników niskiego napięcia? 10
1.3 Wymagane poziomy sprawności silników niskiego napięcia 12
2 Ocena techniczno-ekonomiczna przedsięwzięć związanych z zastosowaniem silników energooszczędnych 19
2.1 Pozyskanie danych do analizy - identyfikacja stanu bazowego 22
2.2 Określenie spodziewanych oszczędności energii 24
2.2.1 Przykłady analizy techniczno-ekonomicznej z wykorzystaniem programu EFEmotor 25
3 Finansowanie zewnętrzne projektów poprawiających efektywność energetyczną w przedsiębiorstwach 30
3.1 Ustawa o efektywności energetycznej jako źródło wsparcia finansowego dla projektów 30
3.2 Środki z programów unijnych 31
3.3 Środki krajowych funduszy ochrony środowiska 31
3.3.1 Oferta NFOŚiGW 31
3.3.2 Oferta WFOŚiGW 32
3.3.3 Oferta kredytów proekologicznych Banku Ochrony Środowiska 36
4 Literatura 37

1 Silniki niskiego napięcia – wprowadzenie

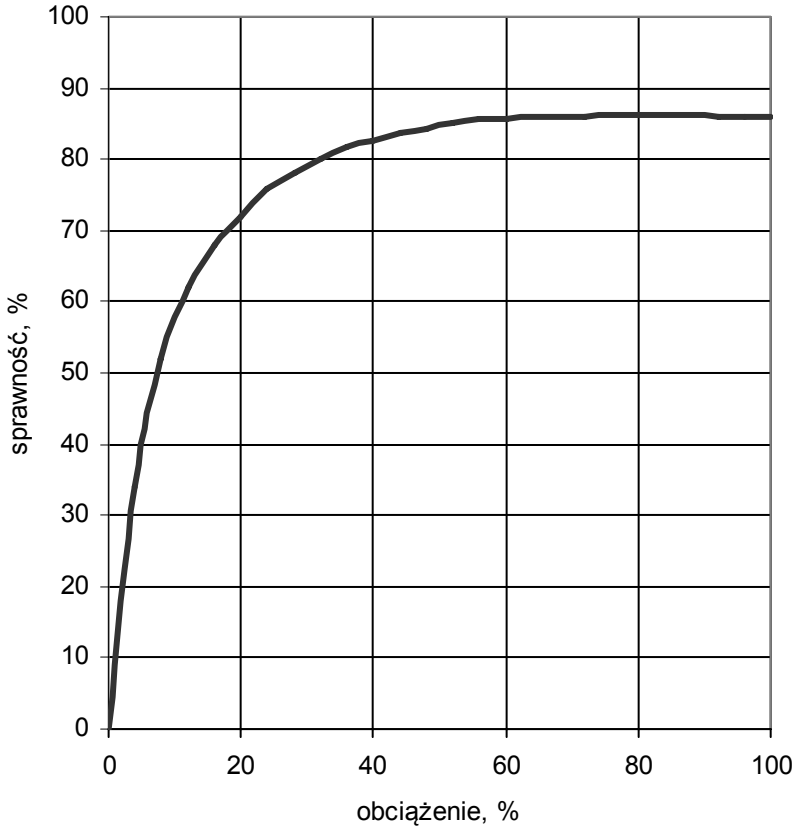
Silnik elektryczny możemy zdefiniować jako maszynę służącą do przetwarzania energii elektrycznej w energię mechaniczną. Podstawowy podział silników elektrycznych przedstawia poniższy schemat.



Rysunek 1 Schemat – podział silników elektrycznych [3]

Obecnie najbardziej rozpowszechnione są silniki prądu zmiennego, indukcyjne, trójfazowe, w mniejszym stopniu jednofazowe. Ze względu na rozwój elektronicznych układów sterujących w oparciu o tranzystory MOSFET lub IGBT, obniżenie kosztów materiałowych, następuje rozwój silników z magnesami trwałymi rozmieszczonymi na powierzchni wirnika. Wyróżnić tu można bezszczotkowe silniki prądu stałego (BLDC) oraz silniki prądu przemiennego (PMSM). Mają one podobną budowę, a o zakwalifikowaniu tych maszyn do grupy silników prądu stałego, czy przemiennego stanowi głównie sposób ich sterowania.

Silniki elektryczne są przedmiotem obrotu handlowego i jako takie posiadają szereg parametrów technicznych umożliwiających ich dokładny dobór i identyfikację. Podstawowym wskaźnikiem efektywności energetycznej silnika elektrycznego jest jego sprawność. Przykładową charakterystykę pokazującą sprawność silnika indukcyjnego, standardowego w funkcji jego obciążenia przedstawiono na poniższym rysunku.
Potoczne pojęcie „silnik energooszczędny" odnosi się do urządzenia charakteryzującego się podwyższoną sprawnością w stosunku do odpowiadającego mu silnika (standardowego) o tej samej mocy znamionowej, ilości biegunów, czy wzniosie wału. Silniki o podwyższonej sprawności, niskiego napięcia dostępne są głównie w grupie silników indukcyjnych ogólnego zastosowania 2 i 4-biegunowych.



Rysunek 2 Przykładowa charakterystyka sprawności dla silnika indukcyjnego, klatkowego o mocy 11 kW, 3-fazowy, 4-biegunowy

Silniki energooszczędne (silniki o podwyższonej sprawności), jako specjalna odmiana silników indukcyjnych różnią się pod pewnymi względami od silników standardowych. Dotyczy to takich zagadnień jak prędkość obrotowa, czy parametry rozruchowe. Ponieważ straty w wirniku są proporcjonalne do poślizgu, silniki energooszczędne są tak projektowane aby ich poślizgi były możliwie małe. W konsekwencji regułą jest, że znamionowe prędkości obrotowe silników energooszczędnych są większe niż znamionowe prędkości obrotowe silników standardowych o porównywalnych mocach znamionowych i liczbach biegunów. Jeżeli prędkość obrotowa silnika energooszczędnego jest większa niż prędkość obrotowa zastępowanego silnika standardowego, to zwiększa się wydajność technologiczna napędzanego urządzenia, co nie zawsze jest korzystne z punktu widzenia osiągnięcia pożądanego efektu energetycznego (zagadnienie to jest rozwinięte w rozdziale 2.2). Ponadto silniki energooszczędne charakteryzują się wyższymi prądami rozruchu.
W praktyce silniki energooszczędne znajdują zastosowanie do pracy ciągłej (praca ciągła nie oznacza tu nieprzerwanego działania przez kilkadziesiąt, czy kilkaset godzin, tylko czas, w którym silnik osiąga ustalony stan cieplny - możliwe są nawet 1 do 2 rozruchów na godzinę) do napędu takich urządzeń jak: wentylatory , pompy odśrodkowe, mieszadła.

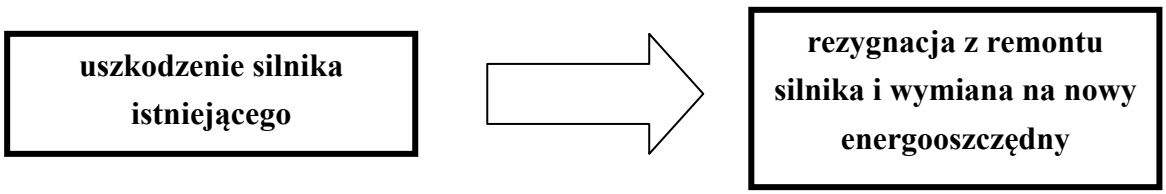
Zastosowanie silnika energooszczędnego w miejsce silnika standardowego jest uzasadnione wówczas, gdy czas pracy silnika w ciągu roku jest na tyle długi, że w wyniku takiego przedsięwzięcia uzyskuje się znaczące oszczędności energii pobieranej przez napęd elektryczny. Wartość tego efektu zależy od wzajemnej relacji wartości sprawności silników. Przy ocenie celowości zastosowania silnika energooszczędnego należy przyjmować rzeczywisty czas pracy i obciążenie napędu.

Przesłanki dla zastosowania silników energooszczędnych:

- wyposażana jest nowa instalacja o przewidywanej długiej żywotności,
- w przypadku znacznych modyfikacji warunków pracy napędu w obsługiwanym procesie,
- przy zastępowaniu silników przewymiarowanych lub niedociążonych,
- 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,
- gdy wymiana silnika jest częścią programu oszczędzania energii,
- zamiast przezwajania starych jednostek o standardowej konstrukcji.

Dla przedsiębiorstwa zainteresowanego prowadzeniem działań związanych z poprawą efektywności energetycznej w napędach elektrycznych korzystnym rozwiązaniem może być przyjęcie następującej polityki wdrażania napędów energooszczędnych w zakresie silników indukcyjnych:

Wymiana silnika po zaistnieniu awarii



Remontowanie i oddawanie do ponownej eksploatacji uszkodzonych silników niskiego napięcia można uznać za racjonalne tylko w przypadku silników większej mocy i to eksploatowanych niewielką ilość godzin w ciągu roku. Remontowanie silników o mocy poniżej 20 kW jest ekonomicznie nieuzasadnione. W przypadku awarii najbardziej racjonalnym jest złomowanie i zakup nowego silnika energooszczędnego.

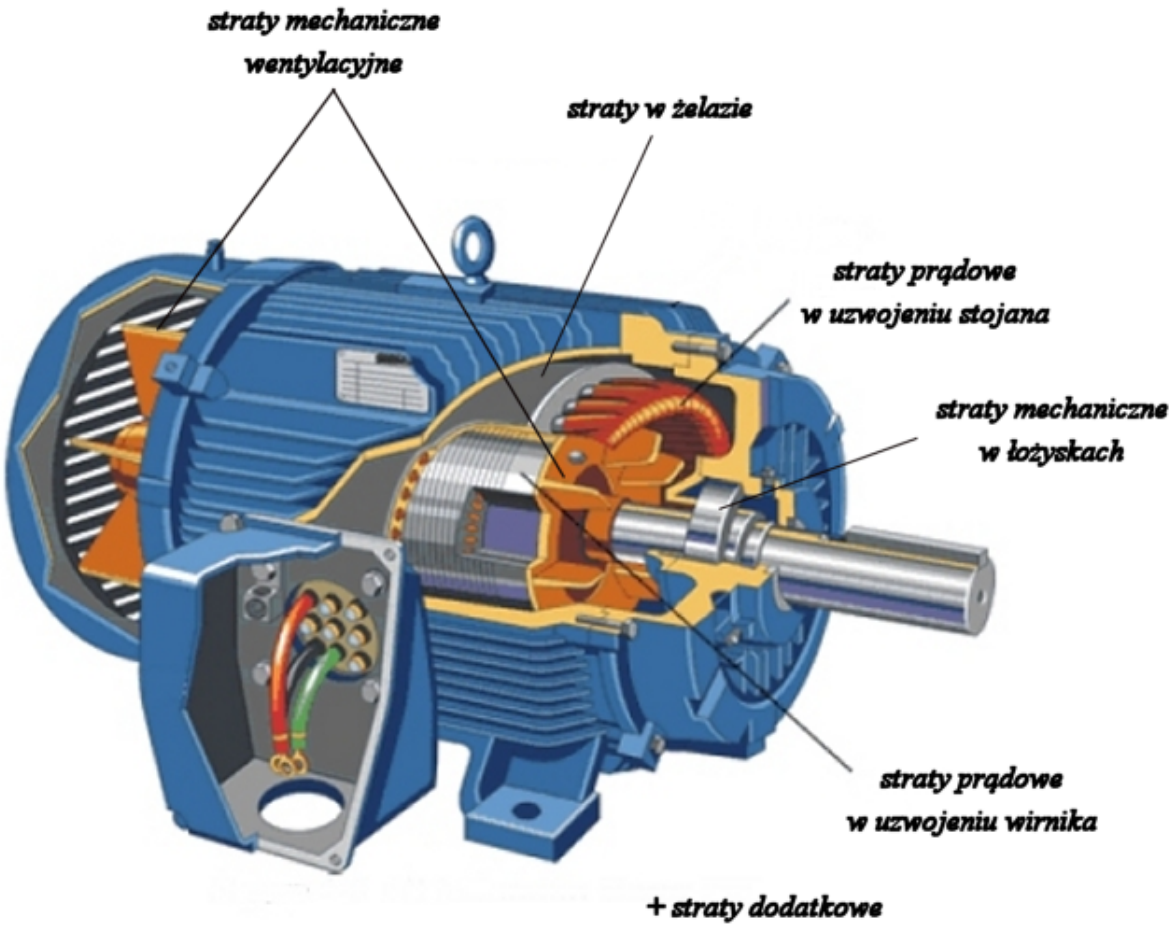
Ekonomiczne skutki niespodzianej awarii silnika mogą być bardzo dotkliwe, choć często są trudne do wyliczenia. Rutynową czynnością bywa zwykle oddanie silnika do remontu. Tymczasem dla silników mniejszych, koszt remontu jest niższy lub zbliżony do kosztu nabycia standardowego silnika nowego; dla silników o mocy powyżej 20 kW, stanowi nie mniej niż 40 – 60 % ich ceny. Często w trakcie procesu remontowego współczynnik sprawności silnika ulega obniżeniu, a więc koszt eksploatacji remontowanego silnika rośnie.

Decyzja o wymianie silnika standardowego na energooszczędny powinna być poprzedzona wstępną inwentaryzacją napędu z określeniem jego charakterystycznych danych eksploatacyjnych, w dalszej kolejności analizą techniczno-ekonomiczną z uwzględnieniem w uzasadnionych przypadkach takich czynników jak większa prędkość obrotowa silnika energooszczędnego, czy inne parametry rozruchowe silnika.
Należy również pamiętać o tym, że porównanie sprawności dwóch silników jest możliwe wówczas gdy sprawności te wyznaczone są ta samą metodą.

1.1 Rozwiązania techniczne poprawiające sprawność silnika

Wyższą sprawność silnika uzyskuje się zmniejszając w nim straty, przez powiększenie ilości materiałów czynnych tj. miedzi, blachy elektrotechnicznej. To powoduje, że silnik energooszczędny niskiego napięcia jest droższy od silnika standardowego. Warto jednak zwrócić uwagę, że w trakcie eksploatacji, silnik już w czasie pierwszych kilkuset godzin pobiera energię elektryczną o wartości równej cenie jego zakupu, w ciągu roku pobrana energia kosztuje kilka do kilkunastu razy więcej, niż silnik. W ciągu całego okresu pracy silnika koszt pobranej przezeń energii może przekroczyć stukrotnie jego cenę (dla przypadku ciągłej pracy pod pełnym obciążeniem). Stąd prawidłowe zastosowanie silnika o podwyższonej sprawności zwykle skutkuje oszczędnościami energii pozwalającymi na zniwelowanie poniesionych wyższych kosztów początkowych i osiągnięcie dodatkowych zysków.

Na poniższym rysunku przedstawiono miejsca powstawania strat energii podczas pracy silnika indukcyjnego. Dla poszczególnych rodzajów strat wymieniono działania prowadzone na etapie projektowania i produkcji pozwalające na ich zmniejszenie i uzyskanie wyższej sprawności w silniku.



Rysunek 3 Miejsca powstawania strat w silniku indukcyjnym [3]

Straty prądowe w uzwojeniu wirnika:

- zwiększenie ilości materiałów czynnych (aluminium, miedź) poprzez zwiększenie przekroju żłobków z zachowaniem rozkrojów blach, zwiększenie przekroju uzwojenia, stosowana jest również technologia polegająca na odlewaniu z miedzi klatki wirnika; wirnik z odlaną z miedzi klatką przedstawiono na poniższym zdjęciu.

Straty prądowe w uzwojeniu stojana:

- wzrost masy materiałów czynnych dzięki zwiększeniu przekroju przewodów w uzwojeniu stojana poprzez powiększenie przekroju żłobków blach stojana; skrócenie długości połączeń czołowych uzwojeń stojana; zmniejszenie liczby zwojów w uzwojeniu stojana.

Straty w żelazie:

- zastosowanie blach elektrotechnicznych o mniejszej stratności i grubości; wydłużenie pakietu blach stojana (wydłużenie obudowy silnika bez zmian wymiarów montażowych);

Straty mechaniczne w łożyskach:

- odpowiedni dobór łożysk (selekcja pod kątem średnic i luzu poprzecznego); poprawa smarowania łożysk;

Straty mechaniczne – układ wentylacji:

- zmniejszenie strat w stojanie i wirniku umożliwia zastosowanie wentylatora o mniejszej średnicy; dopasowanie konstrukcji stojana do lepszych warunków przepływu powietrza (mniejsze straty na tarcie aerodynamiczne); dobór mniejszych przewietrzników zewnętrznych;

Straty dodatkowe:

- optymalizacja wielkości szczeliny powietrznej pomiędzy wirnikiem a stojanem; poprawa kształtu zębów (profil zakończeń żłobków); zastosowanie klinów żłobkowych z materiału magnetycznego.

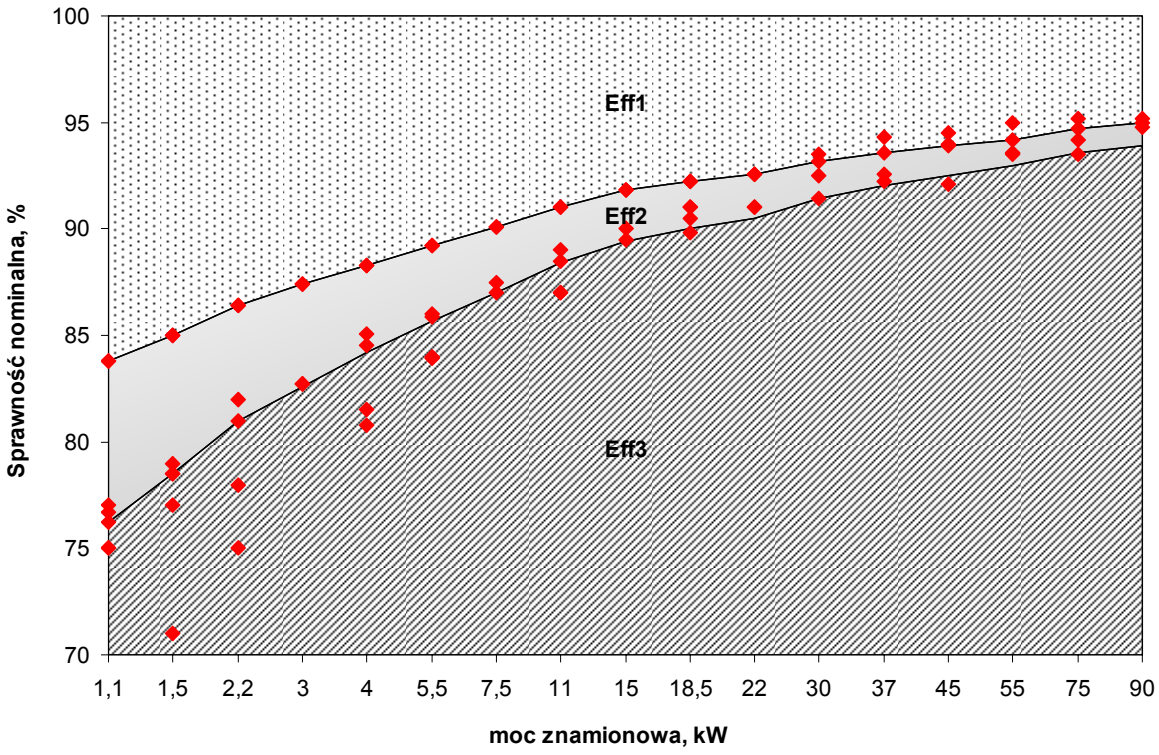
Inne zalety uzyskane w wyniku usprawnień technicznych to wspomniane już:

- niższe przyrosty temperatury uzwojenia, łożysk i obudowy (stąd większa odporność na przeciążenia),
- cichsza praca,
- obniżony poziom drgań,
- wyższa trwałość od silnika standardowego,
- niższe koszty eksploatacji.

1.2 Co na rynku silników niskiego napięcia?

Obecnie najpowszechniej stosowanymi silnikami są maszyny prądu zmiennego, o czym mogą świadczyć dane dotyczące sprzedaży silników w Unii Europejskiej. W 2006 roku silniki prądu zmiennego stanowiły około 96% całkowitej sprzedaży tych urządzeń. 87 % sprzedanych silników na prąd zmienny to silniki trójfazowe indukcyjne, z czego silniki dwubiegunowe stanowiły od 15 do 35 %, a czterobiegunowe od 50 do 70 % tej sprzedaży. Można przyjąć, że tendencja ta jest cały czas na zbliżonym poziomie.

Silniki indukcyjne, trójfazowe o podwyższonej sprawności są oferowane praktycznie przez wszystkich liczących się producentów maszyn elektrycznych. Dostępne są wersje na niskie jak i średnie napięcie w zakresie mocy od 0,75 do 2000 kW. Silniki indukcyjne o podwyższonej sprawności na niskie napięcie dostępne są jako silniki ogólnego zastosowania głównie 2 i 4-biegunowe. Dlaczego zatem nie stosuje się tych maszyn powszechnie? Przypuszczać można, że różnice w sprawnościach rzędu kilku procent (Rysunek 5) dla dostępnych na rynku silników, prawdopodobnie nie przemawiają do kupujących. Jeśli ponadto uwzględni się wyższe ceny silników na niskie napięcie o podwyższonej sprawności, to w efekcie mamy znikomy udział silników energooszczędnych w rynku silników elektrycznych. W Polsce nie przekracza on 1% (oszacowanie z 2008 roku), a w przypadku całej UE wynosi około 10% dla silników klasy Eff1.



Rysunek 4 Zakresy sprawności silników oferowanych na polskim rynku w zakresie mocy od 1,1 do 90 kW

Mimo szerokiej oferty w zakresie silników o podwyższonej sprawności, oraz przemienników częstotliwości, krajowy rynek energooszczędnych rozwiązań w układach napędowych jest, w stosunku do szacowanych możliwości, ciągle zbyt mały. Przyczyną takiego stanu rzeczy są:

- wyższe koszty inwestycyjne dla technologii energooszczędnej;
- brak wiedzy użytkowników napędów o istniejących możliwościach technologicznych i finansowych wdrażania tego typu projektów;
- brak możliwości, potencjału dla przygotowania projektu od strony technicznej i finansowej;
- tradycjonalizm i przywiązanie użytkowników do bardziej znanej technologii.

Jednak w najbliższym czasie, za sprawą nowych regulacji prawnych spodziewany jest wzrost sprzedaży silników indukcyjnych niskiego napięcia o podwyższonej sprawności. Od połowy 2011 roku wchodzą w życie przepisy dotyczące efektywności energetycznej sprzedawanych na rynku unijnym silników indukcyjnych ogólnego przeznaczenia 2, 4 i 6-biegunowych w zakresie mocy od 0,75 do 375 kW. Wymagane będą poziomy sprawności odpowiadające obecnej klasie Eff1..

1.3 Wymagane poziomy sprawności silników niskiego napięcia

6 lipca 2005 roku Parlament i Rada Europejska przyjęła Dyrektywę 2005/32/WE ustanawiającą ogólne zasady ustalania wymogów dotyczących ekoprojektu[1] dla produktów wykorzystujących energię. Dyrektywa dotycząca ekoprojektu określa ogólne zasady i wymogi, jakie muszą spełniać produkty wykorzystujące energię objęte niniejszym dokumentem, w celu wprowadzania ich na rynek i do użytkowania.

Napędy elektryczne, należą do grupy urządzeń, które w pierwszej kolejności zostały objęte dyrektywą. W związku z tym, w ramach projektu finansowanego przez Komisję Europejską w latach 2006 – 2008, podjęto prace nad określeniem dokładnych zasad, metodyki, norm wspierających ekoprojektowanie w tej grupie urządzeń. Brane były tu pod uwagę 4 kategorie produktów :

- silniki elektryczne o mocach w zakresie od 1 do 150 kW;
- pompy wodne (stosowane w budynkach, pompy wody pitnej, stosowane w przemyśle spożywczym oraz rolnictwie);
- napędy w układach cyrkulacyjnych budynków;
- wentylatory w systemach wentylacji budynków niemieszkalnych.

Prace prowadzone były w grupach roboczych zajmujących się jedną z ww. kategorii dla napędu elektrycznego. Ostateczne wyniki prac opublikowano na stronie internetowej projektu www.ecomotors.org . Analizy techniczno ekonomiczne obejmowały:

- charakterystykę rynku dla danej kategorii napędów elektrycznych,
- aspekty związane z oddziaływaniem produktu na środowisko i ocena potencjału techniczno-ekonomicznego dla minimalizacji niekorzystnych oddziaływań;
- ocenę istniejących standardów, prawodawstwa w zakresie danej grupy napędów elektrycznych,
- regulacje i standardy obowiązujące w danym sektorze przemysłowym związanym z daną grupą napędów elektrycznych,
- identyfikację potrzeb w zakresie rozwijania istniejących standardów i norm.

Podstawowe wnioski i rekomendacje płynące z przygotowanego raportu dotyczącego silników elektrycznych są następujące:

- obligatoryjne normy dotyczące efektywności energetycznej sprzedawanych silników elektrycznych tzw . MEPS (minimal energy performance standards) są powszechne na

[1] Ekoprojektowanie stanowi nowe podejście do projektowania wyrobów i polega na identyfikowaniu aspektów środowiskowych związanych z produktem i włączaniu ich do procesu projektowania już na wczesnym etapie rozwoju produktu. Ekoprojektowanie (z ang. ecodesign, design for environment, environmental design, ecological design, sustanaible product design, green design) określa się także mianem projektowania dla środowiska, czy projektowania zgodnie z zasadami zrównoważonego rozwoju.

Świecie. Przykładem mogą być rozwiązania pochodzące ze Stanów Zjednoczonych, Kanady, Meksyku, Brazylii, Australii, Nowej Zelandii i Chin. Na tym tle Europa pozostaje w tyle. Na rynku UE dominują silniki Eff2 (silniki standardowe wg nomenklatury przyjętej na podstawie dobrowolnego porozumienia producentów zrzeszonych w Europejskim Komitecie Producentów Maszyn Elektrycznych i Urządzeń Elektronicznych CEMEP z 1999 roku wprowadzające europejską klasyfikację sprawności silników Eff3, Eff2, Eff1). Porozumienie CEMEP/EU zredukowało sprzedaż silników o klasie efektywności EFF3 (silniki o niskiej sprawności) o 50%. Tak więc należy uznać, że założony w porozumieniu cel został w pełni osiągnięty, gdyż w okresie od 1998 do 2005 roku nastąpił spadek sprzedanych silników tej klasy z 68% do 4%. Natomiast do tej pory udział w rynku silników klasy EFF1 (silniki o podwyższonej sprawności) jest niewielki w stosunku do silników o niższej klasie efektywności energetycznej i nie przekracza on 10%;

- silniki energooszczędne są powszechnie dostępne, znajdują się w ofercie wszystkich znaczących producentów tych urządzeń na rynku europejskim;
- poziom wymogów w zakresie efektywności energetycznej silników był określany na podstawie analizy najniższych kosztów w cyklu życia urządzenia (LCC). Analiza LCC pokazała, że stosowanie silników o podwyższonej sprawności i silników o jeszcze wyższym standardzie efektywności energetycznej tzw. Premium, jest w pełni uzasadnione. Przeprowadzona analiza wykazała, że istnieje wiele możliwości znacznego zmniejszenia wpływu na środowisko oraz zmniejszenia kosztów ponoszonych głównie na etapie eksploatacji urządzenia poprzez wymianę silników klasy efektywności EFF2 (silniki standardowe o przeciętnej sprawności). Oszczędności można uzyskać także dzięki zastosowaniu napędów o zmiennej prędkości przy zastosowaniu silników w pompach, wentylatorach i sprężarkach.

  Typowym przykładem analizy wpływu na środowisko Life Cycle Cost jest porównanie pomiędzy systemem, w którym stosuje się podejście konwencjonalne z zastosowaniem silnika standardowego o przeciętnej sprawności sprzężonego z zaworem dławiącym dla kontroli przepływu w systemach pompowych, a stosowanym napędem o zmiennej prędkości współpracującym z silnikiem w wyższej klasie efektywności.

Raport zaowocował stworzeniem obligatoryjnych norm dotyczących minimalnej efektywności energetycznej silników elektrycznych , które sprzedawane będą na terenie Unii. W lipcu bieżącego roku Komisja Europejska przyjęła Rozporządzenie Nr 640/2009 w sprawie wdrażania Dyrektywy 2005/32/WE Parlamentu Europejskiego i Rady dotyczącej wymogów ekoprojektu dla silników elektrycznych. Oznacza to, że na terenie Unii Europejskiej wprowadzone zostały usankcjonowane prawnie wymogi dotyczące efektywności energetycznej sprzedawanych na rynku unijnym silników indukcyjnych 2, 4 i 6-biegunowych.

Rozporządzenie wprowadza te wymogi zgodnie z nową klasyfikacją IE i następującym harmonogramem:

- **od dnia 16 czerwca 2011 r. silniki o mocy znamionowej w granicach 0,75–375 kW muszą odpowiadać co najmniej klasie sprawności IE2,**
- **od dnia 1 stycznia 2015 r. silniki o mocy znamionowej w granicach 7,5–375 kW muszą odpowiadać co najmniej klasie sprawności IE3, lub odpowiadać klasie sprawności IE2 oraz być wyposażone w układ płynnej regulacji prędkości obrotowej,**
- **od dnia 1 stycznia 2017 r. wszystkie silniki o mocy znamionowej w granicach 0,75–375 kW muszą odpowiadać co najmniej klasie sprawności IE3, lub odpowiadać klasie sprawności IE2 oraz być wyposażone w układ płynnej regulacji prędkości obrotowej.**

W dokumencie uzupełniającym rozporządzenie Komisji w sprawie wykonania dyrektywy 2005/32/WE Parlamentu Europejskiego i Rady w odniesieniu do wymogów dotyczących ekoprojektu dla silników elektrycznych podjęto ocenę skutków wdrożenia Rozporządzenia Komisji nr 640/2009. Zakłada się tu zmniejszenie rocznego zużycia energii elektrycznej do 2020 roku o 139 TWh w porównaniu ze scenariuszem zakładającym niepodejmowanie żadnych działań.

Klasyfikację i oznakowanie IE wprowadza nowa norma z serii IEC 60034-30 Rotating electrical machines – Part 30: Efficiency classes of single-speed, three-phase, cage-induction motors (IE-code) z 2008 roku. Nowy sposób klasyfikacji obowiązuje dla silników 2, 4 i 6-biegunowych o mocach od 0,75 do 375 kW i napięciu znamionowym do 1000 V. Dokument określa trzy poziomy sprawności dla silników:

- IE1 – silniki standardowe (standard),
- IE2 – silniki o podwyższonej sprawności (high efficiency),
- IE3 – najwyższy poziom sprawności (premium).

Sprawność silników na potrzeby porównania z wymaganiami IE powinna być wyznaczana zgodnie z normą IEC 60034-2-1 Rotating electrical machines – Part 2-1: Standard methods for determining losses and efficiency from tests (excluding for trction vehicles) z 2007 roku. Wymagań IE nie można wprost porównywać np.: z wymaganiami wg klasyfikacji EFF.

Poniższe tabele przedstawiają minimalne wymagane sprawności dla silników wg oznakowania IE zasilanych napięciem o częstotliwości 50 Hz i 60 Hz. Należy podkreślić, że określenie wymagań dla silników zasilanych napięciem o częstotliwości 60 Hz, może być uznane za element ujednolicający światowy rynek silników energooszczędnych.

Tabela 1 Minimalne sprawności dla silników standardowych wg klasyfikacji IE (IE1) 50 Hz [1]

Moc nominalna	Ilość biegunów		
kW	2	4	6
0,75	72,1	72,1	70,0
1,1	75,0	75,0	72,9
1,5	77,2	77,2	75,2
2,2	79,7	79,7	77,7
3	81,5	81,5	79,7
4	83,1	83,1	81,4
5,5	84,7	84,7	83,1
7,5	86,0	86,0	84,7
11	87,6	87,6	86,4
15	88,7	88,7	87,7
18,5	89,3	89,3	88,6
22	89,9	89,9	89,2
30	90,7	90,7	90,2
37	91,2	91,2	90,8
45	91,7	91,7	91,4
55	92,1	92,1	91,9
75	92,7	92,7	92,6
90	93,0	93,0	92,9
110	93,3	93,3	93,3
132	93,5	93,5	93,5
160	93,8	93,8	93,8
200 do 375	94,0	94,0	94,0

Tabela 2 Minimalne sprawności dla silników o podwyższonej sprawności wg klasyfikacji IE (IE2) 50 Hz

Moc nominalna	Ilość biegunów		
kW	2	4	6
0,75	77,4	79,6	75,9
1,1	79,6	81,4	78,1
1,5	81,3	82,8	79,8
2,2	83,2	84,3	81,8
3	84,6	85,5	83,3
4	85,8	86,6	84,6
5,5	87,0	87,7	86,0
7,5	88,1	88,7	87,2
11	89,4	89,8	88,7
15	90,3	90,6	89,7
18,5	90,9	91,2	90,4
22	91,3	91,6	90,9
30	92,0	92,3	91,7
37	92,5	92,7	92,2
45	92,9	93,1	92,7
55	93,2	93,5	93,1
75	93,8	94,0	93,7
90	94,1	94,2	94,0
110	94,3	94,5	94,3
132	94,6	94,7	94,6
160	94,8	94,9	94,8
200 do 375	95,0	95,1	95,0

Tabela 3 Minimalne sprawności dla silników o sprawności premium wg klasyfikacji IE (IE3) 50 Hz

Moc nominalna	Ilość biegunów		
kW	2	4	6
0,75	80,7	82,5	78,9
1,1	82,7	84,1	81,0
1,5	84,2	85,3	82,5
2,2	85,9	86,7	84,3
3	87,1	87,7	85,6
4	88,1	88,6	86,8
5,5	89,2	89,6	88,0
7,5	90,1	90,4	89,1
11	91,2	91,4	90,3
15	91,9	92,1	91,2
18,5	92,4	92,6	91,7
22	92,7	93,0	92,2
30	93,3	93,6	92,9
37	93,7	93,9	93,3
45	94,0	94,2	93,7
55	94,3	94,6	94,1
75	94,7	95,0	94,6
90	95,0	95,2	94,9
110	95,2	95,4	95,1
132	95,4	95,6	95,4
160	95,6	95,8	95,6
200 do 375	95,8	96,0	95,8

Tabela 4 Minimalne sprawności dla silników standardowych wg klasyfikacji IE (IE1) 60 Hz [1]

Moc nominalna	Ilość biegunów		
kW	2	4	6
0,75	77,0	78,0	73,0
1,1	78,5	79,0	75,0
1,5	81,0	81,5	77,0
2,2	81,5	83,0	78,5
3,7	84,5	85,0	83,5
5,5	86,0	87,0	85,0
7,5	87,5	87,5	86,0
11	87,5	88,5	89,0
15	88,5	89,5	89,5
18,5	89,5	90,5	90,2
22	89,5	91,0	91,0
30	90,2	91,7	91,7
37	91,7	92,4	91,7
45	91,7	93,0	91,7
55	92,4	93,0	92,1
75	93,0	93,2	93,0
90	93,0	93,5	94,1
110	93,0	93,5	94,1
150	94,1	94,5	94,1
185 do 375	94,1	94,5	94,1

Tabela 5 Minimalne sprawności dla silników o podwyższonej sprawności wg klasyfikacji IE (IE2) 60 Hz

Moc nominalna	Ilość biegunów		
kW	2	4	6
0,75	75,5*	82,5	80,0
1,1	82,5	84,0	85,5
1,5	84,0	84,0	86,5
2,2	85,5	87,5	87,5
3,7	87,5	87,5	87,5
5,5	88,5	89,5	89,5
7,5	89,5	89,5	89,5
11	90,2	91,0	90,2
15	90,2	91,0	90,2
18,5	91,0	92,4	91,7
22	91,0	92,4	91,7
30	91,7	93,0	93,0
37	92,4	93,0	93,0
45	93,0	93,6	93,6
55	93,0	94,1	93,6
75	93,6	94,5	94,1
90	94,5	94,5	94,1
110	94,5	95,0	95,0
150	95,0	95,0	95,0
185 do 375	95,4	95,4	95,0

Tabela 6 Minimalne sprawności dla silników o sprawności premium wg klasyfikacji IE (IE3) 60 Hz

Moc nominalna	Ilość biegunów		
kW	2	4	6
0,75	77,0*	85,5	82,5
1,1	84,0	86,5	87,5
1,5	85,5	86,5	88,5
2,2	86,5	89,5	89,5
3,7	88,5	89,5	89,5
5,5	89,5	91,7	91,0
7,5	90,2	91,7	91,0
11	91,0	92,4	91,7
15	91,0	93,0	91,7
18,5	91,7	93,6	93,0
22	91,7	93,6	93,0
30	92,4	94,1	94,1
37	93,0	94,5	94,1
45	93,6	95,0	94,5
55	93,6	95,4	94,5
75	94,1	95,4	95,0
90	95,0	95,4	95,0
110	95,0	95,8	95,8
150	95,4	96,2	95,8
185 do 375	95,8	96,2	95,8

* autorzy normy podali wartości sprawności silników wg wymagań NEMA MG1 (Stany Zjednoczone)

Sprawność silników na potrzeby porównania z wymaganiami IE powinna być wyznaczana zgodnie z normą IEC 60034-2-1 Rotating electrical machines – Part 2-1: Standard methods for determining losses and efficiency from tests (excluding for traction vehicles) z 2007 roku. Zestawienie metod wyznaczania sprawności silników indukcyjnych przedstawionych w normie IEC 60034-2-1 pokazano w tabeli 7.
Na potrzeby wyznaczania sprawności silników poddanych klasyfikacji wg kodów IE preferowane są następujące metody opisane w normie IEC 60034-2-1 w zależności od klasy silnika i niepewności metody:

- dla silników klasy IE1 i silników o sprawności poniżej klasy IE1 akceptowane są metody z niepewnością „niską" i „średnią". Wybrana metoda powinna być wykazana w dokumentacji silnika;
- dla silników o klasach sprawności wyższych od IE1 akceptowane powinny być tylko metody o niepewności „niskiej".

Jako uzupełnienie standardu dotyczącego klas sprawności IEC opracowano również poradnik w zakresie wyboru i stosowania silników różnych klas – IEC 60034-31:2009 cześć 31: Guide for the selection and application of energy-efficient motors including variable-speed applications.
(Poradnik dla doboru i zastosowania silników energooszczędnych w aplikacjach w tym we współpracy z układami zmiennej regulacji prędkości obrotowej).
Dokument podaje wytyczne techniczne dla zastosowań silników energooszczędnych pracujących ze stałą prędkością obrotową i przy regulacji prędkości obrotowej. Szeroko omówiono tu aspekty związane ze sprawnością silników współpracujących z przemiennikami częstotliwości.

Tabela 7 Metody wyznaczania sprawności silników indukcyjnych wg normy IEC 60034-2-1 [2]

Metoda	*Podpunkt dokumentu*	*Zastosowanie*	*Wymagania, aparatura pomiarowa*	*Niepewność*
Bezpośredniego pomiaru				
Pomiar momentu obrotowego	8.1.1	Silniki jedno i wielofazowe o mocy ≤ 1 kW	Pomiary przy obciążeniu nominalnym	niska
Test maszyny wzorcowej	Załącznik D		Maszyna wzorcowa	przypis 5
Metoda przeciwsobna mechaniczna	8.1.2		Praca przy obciążeniu nominalnym; dwa identyczne urządzenia	niska
Strat całkowitych				
Metoda kalorymetryczna	Załącznik D		Dodatkowa osłona termiczna	przypis 5
Metoda przeciwsobna elektryczna	8.2.1		Dwa identyczne urządzenia (o takim samym uzwojeniu wirnika)	niska
Strat poszczególnych z i bez próby obciążenia				
Straty dodatkowe wyznaczane jako straty resztkowe	8.2.2.5.1	Silniki trójfazowe o mocy od 1 do 150 kW	Pomiar momentu w zakresie przekraczającym 125% momentu nominalnego	niska
Straty dodatkowe jako wartość przyjęta	8.2.2.5.3			średnia/wysoka
Straty dodatkowe wyznaczane poprzez test odwrotnej rotacji (wymontowanie wirnika)	8.2.2.5.2		Pomocniczy silnik o mocy ≤ 5 x wartość strat całkowitych	wysoka
Straty dodatkowe wyznaczane metodą Eh-star	8.2.2.5.4	przypis 3	Specjalny układ zasilania obwodów silnika	średnia
Strat poszczególnych bez próby obciążenia				
Prądy, moce i poślizg wyznaczone metodą układu zastępczego; Straty dodatkowe jako wartość przyjęta	8.2.2.4.3		Jeżeli sprzęt pomiarowy dla innych badań nie jest dostępny (nie możliwe zastosowanie przy obciążeniu nominalnym, brak drugiej maszyny)	średnia/wysoka

Przypis 1
Z powodu niedokładności pomiaru, wyznaczanie strat dodatkowych jako strat resztkowych jest ograniczone do wartości współczynnika korelacji większej niż 0,95 (pkt. 8.2.2.5.1.2) i może mieć niepewność przy określaniu sprawności przekraczającą ±0,5%.

Przypis 2
W kolumnie „Niepewność", „niska" wskazuje na procedurę wyznaczania wszystkich składników strat w badaniach; „średnia" wskazuje na procedurę, która opiera się na uproszczonym fizycznym modelu urządzenia.

Przypis 3
Metoda strat dodatkowych określana testem Eh-star jest właściwa dla silników o mocy w zakresie 1 do 150 kW; zastosowanie do większych zakresów mocy jest rozpatrywane. Metoda wymaga połączenia uzwojenia w gwiazdę.

Przypis 4
W kolumnie „Niepewność", „niska" wskazuje na procedurę wyznaczania wszystkich składników strat w badaniach; „średnia" wskazuje na procedurę, która opiera się na uproszczonym fizycznym modelu urządzenia; „wysoka" wskazuje na procedurę, w której wszystkie składniki strat nie wyznacza się poprzez badania.

Przypis 5
Niepewności zostaną określone

2 Ocena techniczno-ekonomiczna przedsięwzięć związanych z zastosowaniem silników energooszczędnych

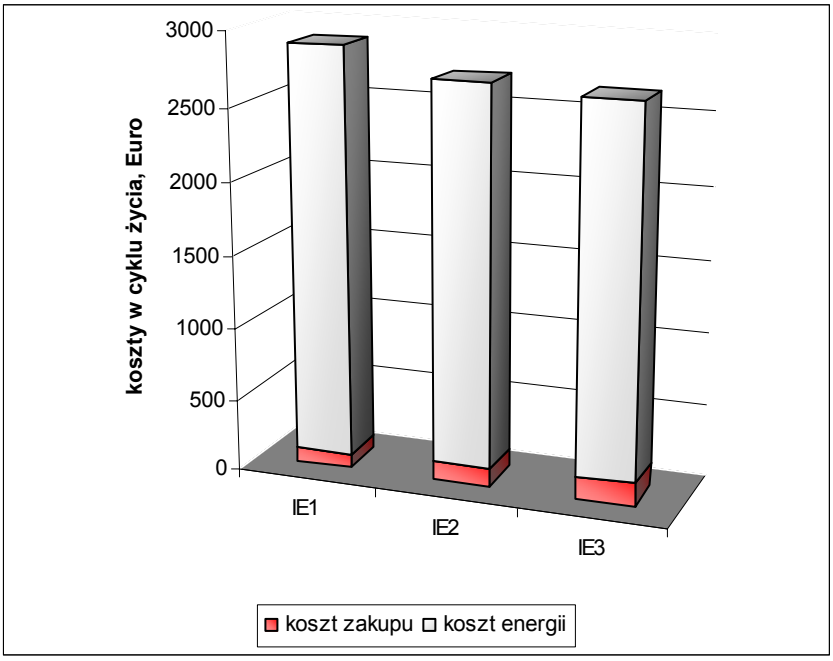
Cena urządzeń energooszczędnych jest zazwyczaj wyższa od ceny standardowych odpowiedników (sytuacja taka występuje w przypadku silników indukcyjnych niskiego napięcia). Wynika to z zastosowania bardziej nowoczesnej technologii przy ich produkcji, staranniejszego wykonawstwa etc. Dlatego sprzęt tego typu należy uważać za wyrób o wyższej jakości.
Opłacalność stosowania silników energooszczędnych mierzona czasem zwrotu nakładów inwestycyjnych poniesionych dodatkowo na zakup takiego silnika zamiast standardowego, bądź poprzez porównanie kosztów ponoszonych w cyklu życia silnika (LCC) standardowego i energooszczędnego zależy od wielu czynników, w tym od:

- różnicy cen silnika energooszczędnego i standardowego,
- ceny energii elektrycznej,
- różnicy sprawności przy różnych obciążeniach silnika standardowego i energooszczędnego,
- stopnia obciążenia silnika,
- rocznego czasu pracy.

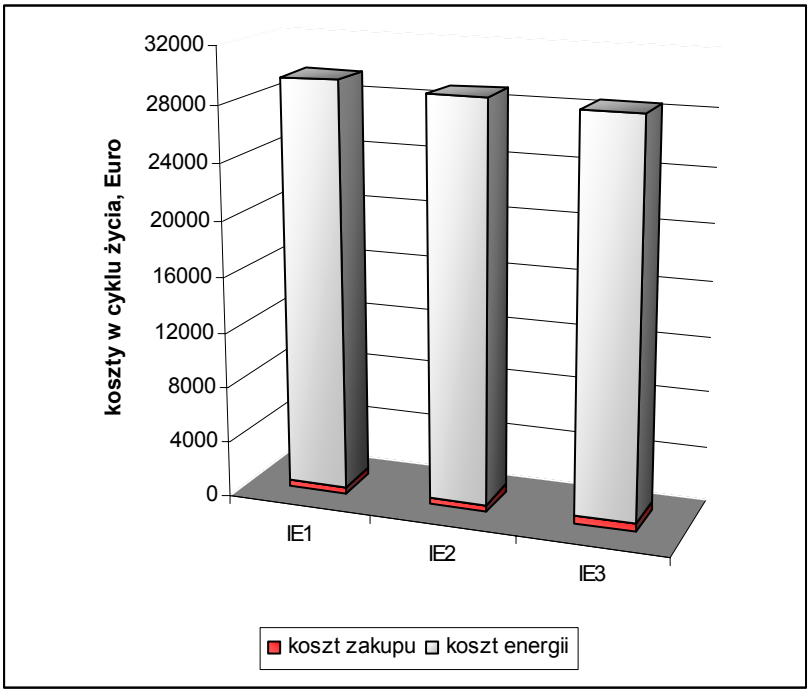
Zazwyczaj podejmujemy decyzję o zakupie w oparciu o kryterium kosztu inwestycyjnego dla danego urządzenia, czyli głównie ceny produktu, kosztów jego instalacji. Użytkownik bierze wtedy pod uwagę tylko nakłady początkowe, natomiast nie zauważa albo nie docenia reszty kosztów, które ponoszone są w pełnym cyklu życia urządzenia. Żywotność niektórych urządzeń sięga kilkunastu a nawet kilkudziesięciu lat, a więc koszty związane m.in. ze zużyciem energii będą ponoszone przez cały ten czas.

W związku z tym, czy zakup produktu tańszego jest zawsze opłacalną inwestycją?

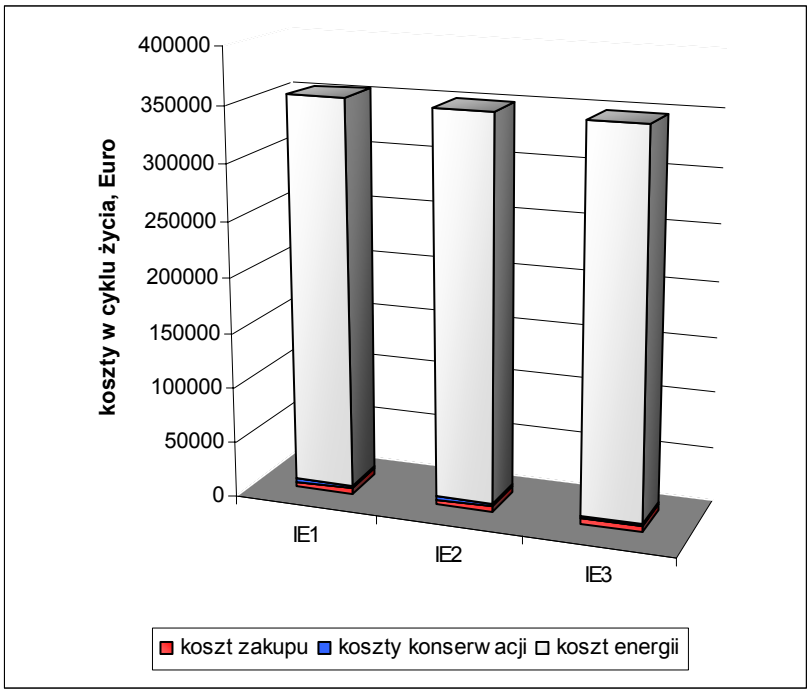
Na pytanie to odpowiedź daje analiza kosztów cyklu żywotności (LCC – ang. life cycle costs), czyli kosztów ponoszonych od momentu zakupu do utylizacji urządzenia, która umożliwia ocenę i porównanie tych kosztów dla dwóch lub więcej różnych produktów. Może to prowadzić do wyboru urządzenia o wyższej cenie zakupu, ale w perspektywie np.: 10 lat użytkowania na tyle tańszego w eksploatacji, że pozwala nam to zniwelować większe koszty początkowe i nie rzadko dodatkowo zaoszczędzić pewną kwotę pieniędzy. Analiza taka powinna zawsze być oparta na porównaniu kosztów co najmniej dwóch rozwiązań i mieć decydujący wpływ na decyzję o zakupie.
Wyniki analizy LCC dla silnika indukcyjnego standardowego i o podwyższonej sprawności (wg nowej klasyfikacji silników IE) pokazano na poniższych rysunkach. Dla silników o mocy 1,1 oraz 11 kW nie uwzględniono kosztów związanych z konserwacją, utrzymaniem.



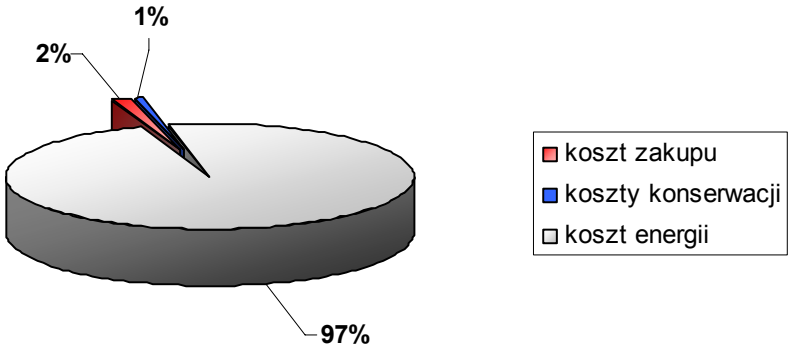
Rysunek 5 Koszty w cyklu życia silnika indukcyjnego, trójfazowego o mocy 1,1 kW (długość cyklu życia 12 lat, czas pracy 4000 h/rok)



Rysunek 6 Koszty w cyklu życia silnika indukcyjnego, trójfazowego o mocy 11 kW (długość cyklu życia 15 lat, czas pracy 4000 h/rok)



Rysunek 7 Koszty w cyklu życia silnika indukcyjnego, trójfazowego o mocy 110 kW (długość cyklu życia 20 lat, czas pracy 4000 h/rok)



Rysunek 8 Udział poszczególnych kosztów w 20-letnim cyklu życia silnika indukcyjnego, trójfazowego o mocy 110 kW klasy IE2 (EFF1), czas pracy 4000 h/rok

2.1 Pozyskanie danych do analizy - identyfikacja stanu bazowego

Inwentaryzacja elektrycznych układów napędowych to ważny element audytu energetycznego tych systemów pozwalający na ocenę aktualnego stanu użytkowania energii elektrycznej w przedsiębiorstwie, a w dalszej kolejności na oszacowanie potencjału w zakresie oszczędności energii związanego z ulepszeniami układów napędowych. Inwentaryzacja powinna służyć określeniu obszarów, w których modyfikacja istniejącej infrastruktury, stosowanych praktyk mogłaby skutkować oszczędnościami. Ogólnie czynności prowadzone podczas inwentaryzacji mogą obejmować:

- określenie granic projektu:
  - układ technologiczny,
  - układ napędowy,
  - pojedyncze urządzenia,
- zebranie podstawowych technologicznych i technicznych informacji identyfikujących wybrany układ, urządzenie,
- ocenę stosowanych praktyk w zakresie obsługi, konserwacji, naprawy,
- identyfikację ponoszonych kosztów eksploatacyjnych, w tym kosztów energii,
- poznanie sposobów i reżimów użytkowania,
- ewentualne pomiary niektórych parametrów roboczych układu.

Dla podstawowego opisu układu napędowego konieczne jest zgromadzenie następujących danych:

- ogólny opis układu napędowego: funkcja, konstrukcja, rozmieszczenie, schemat technologiczny itp.,
- wiek i informacje z tabliczek znamionowych silników,
- typ urządzenia napędzanego,
- typ regulatora prędkości (jeśli zastosowano),
- sposób przeniesienia napędu,
- rodzaj i częstość prac obsługowych (utrzymania urządzenia) silnika, przeniesienia napędu i urządzenia napędzanego,
- ile razy w trakcie dotychczasowego okresu eksploatacji dany silnik był naprawiany,
- określenie czasu pracy napędu: godziny/rok.

Skompletowanie bardziej szczegółowych danych oraz pomiary parametrów eksploatacyjnych wiążą się z poniesieniem większego nakładu pracy i kosztów. W związku z tym zasadne wydaje się pozyskiwanie bardziej szczegółowych danych dla napędów o mocy od kilkunastu kilowatów. Dla silników mniejszych proponuje się prowadzenie tego typu analiz dla większej populacji urządzeń np. pełniących podobną funkcję, pracujących w podobnym reżimie (czas

pracy, obciążenie). W tym przypadku pomiary mogą objąć kilka napędów a ich wyniki zostaną przeniesione na całą grupę . Działania te mogą obejmować:

- identyfikację (pomiar lub szacowanie) zużycia energii elektrycznej w rozpatrywanym układzie,
- określenie średniego współczynnika obciążenia dla silnika np.: w ciągu roku,
- określenie profilu zmienności, oszacowanie wahań dobowych / tygodniowych dla mocy pobieranej przez napęd lub dla efektu użytecznego wydawanego przez napęd – ma to duże znaczenie przy rozpatrywaniu zasadności zastosowania układu regulacji częstotliwościowej,
- pomiaru współczynnika mocy.

Dla oceny zjawisk wpływających niekorzystnie na pracę silnika od strony układu zasilania można prowadzić:

- pomiar asymetrii napięcia elektrycznego,
- pomiar całkowitego zniekształcenia harmonicznego.

Źródłem informacji na temat inwentaryzowanych silników mogą być również katalogi producentów, bazy danych ogólnodostępnego oprogramowania EuroDEEM i EFEMotor (np. możliwość uzyskania danych dotyczących sprawności i współczynnika mocy przy obciążeniu innym niż nominalne).

Wyznaczanie współczynnika obciążenia silnika bez regulacji częstotliwościowej w oparciu o pomiary elektryczne

Współczynnik obciążenia można wyznaczyć na podstawie danych nominalnych silnika typu moc znamionowa i sprawność nominalna oraz zmierzonych wartości napięcia, prądu i cos φ. Wtedy współczynnik ten obliczony może być jako:

$$p = \frac{\sqrt{3} \cdot \cos\varphi \cdot U \cdot I}{\frac{P_n}{\eta_n}}$$

gdzie:

cos φ - zmierzona wartość współczynnika cosinus,

U - zmierzona wartość napięcia zasilającego,

I - zmierzona wartość prądu pobieranego,

P_n - moc znamionowa silnika,

η_n - sprawność znamionowa silnika.

Przybliżony sposób na określenie obciążenia silników to pomiar prądu pobieranego za pomocą miernika cęgowego i obliczenie współczynnika obciążenia (p), jak podano poniżej:

$$p = \frac{I_p}{I_n}$$

gdzie:
I_p – prąd pobierany przez silnik (na podstawie pomiarów);
I_n – prąd nominalny pobierany przy pełnym obciążeniu.

2.2 Określenie spodziewanych oszczędności energii

Efekt energetyczny dla przedsięwzięcia polegającego na zastosowaniu silnika o podwyższonej sprawności (energooszczędnego), którego znamionowa prędkość obrotowa jest taka sama jak prędkość silnika istniejącego można wyznaczyć z następującej zależności:

$$\Delta E = p \cdot P_n \cdot t \cdot \left(\frac{1}{\eta_S} - \frac{1}{\eta_E} \right)$$

gdzie:
p – współczynnik obciążenia silnika;
P_n – moc nominalna silnika, kW;
t – czas pracy silnika, h/rok;
$\eta_{S,E}$ – sprawność silnika standardowego, energooszczędnego przy danym obciążeniu.

Jeżeli prędkość obrotowa silnika energooszczędnego jest większa niż prędkość obrotowa zastępowanego silnika standardowego o takiej samej mocy i takiej samej liczbie biegunów to prawie zawsze silnik energooszczędny wydaje na wale większą moc niż silnik standardowy. Ta większa moc skutkuje większą wydajnością technologiczną napędzanego urządzenia np.: w przypadku wentylatora większym wydatkiem powietrza (ilością tłoczonego powietrza), ale po pierwsze nie jest to celem stosowania silnika energooszczędnego a po drugie może radykalnie zmniejszyć a nawet całkowicie zniwelować korzyści energetyczne na jakie liczono z zastosowania takiego silnika. Ponieważ straty w wirniku są proporcjonalne do poślizgu, silniki energooszczędne są tak projektowane aby ich poślizgi były możliwie małe. W konsekwencji regułą jest, że znamionowe prędkości obrotowe silników energooszczędnych są większe niż znamionowe prędkości obrotowe silników standardowych o porównywalnych mocach znamionowych i liczbach biegunów.
Różnice tych prędkości obrotowych nie są duże ale ich skutki jeżeli chodzi o efekt oszczędności energii nie może być nie brany pod uwagę. Wtedy efekt energooszczędnościowy powinien być obliczany wzorem z uwzględnieniem współczynnika

ω_n. Współczynnik ten jest zależny od stosunku prędkości obrotowych silnika energooszczędnego i silnika standardowego oraz rodzaju charakterystyki momentu obciążającego i wynosi:

$\omega_n = (n_E/n_S)^3$ wentylatory, pompy odśrodkowe, mieszadła, sprężarki;

$\omega_n = (n_E/n_S)^2$ kalandery, gładziarki;

$\omega_n = n_E/n_S$ windy, podnośniki, obrabiarki skrawające;

$\omega_n = 1$ nawijarki.

Do obliczeń ωn jako wartości nE i nS można przyjąć znamionowe prędkości obrotowe jednego i drugiego silnika.

Zatem, jeżeli $n_E \neq n_S$ gdzie:

n_E – prędkość obrotowa silnika energooszczędnego,

n_S – prędkość obrotowa silnika standardowego,

to efekt energooszczędnościowy powinien być obliczany wzorem:

$$\Delta E = p \cdot P_n \cdot t \cdot \left(\frac{1}{\eta_S} - \omega_n \frac{1}{\eta_E} \right)$$

Istnieją sytuacje, że zasadne jest przy ocenie efektu energetycznego, branie pod uwagę powiększonej wydajności technologicznej urządzenia napędzanego silnikiem energooszczędnym. Jeżeli np.: napędzanym urządzeniem jest pompa napełniająca zbiornik, to pompa napędzana przez silnik energooszczędny z większą prędkością obrotową niż silnik standardowy napełni ten zbiornik w krótszym czasie.

2.2.1 Przykłady analizy techniczno-ekonomicznej z wykorzystaniem programu EFEmotor

Analizę taką wykonano w programie EFEmotor z wykorzystaniem modułu programu „Porównanie silników". Pokazano ją na przykładzie zestawienia silnika standardowego z silnikiem o podwyższonej sprawności dla trzech wariantów. Porównano dwa silniki o mocy 75 kW, 4-biegunowe, standardowy serii 2 Sg 280 S4 oraz energooszczędny serii SEE 280 S4.

Warianty analizy ekonomicznej były następujące:

1. Zakup nowego silnika – wariant porównania, gdy decyzja o zakupie nowego urządzenia jest podjęta, a jedynie musimy dokonać wyboru konkretnego modelu napędu (np.: kupić silnik standardowy, czy energooszczędny).
2. Wymiana silnika pracującego – wariant porównania, gdy chcemy sprawdzić, czy opłaca się dokonać wymiany silnika obecnie pracującego na danym stanowisku na energooszczędny.

3. Wymiana silnika uszkodzonego – wariant porównania oceniający czy bardziej opłaca się remontować silnik uszkodzony po zaistnieniu awarii, czy też może lepiej w jego miejsce zamontować nowy, energooszczędny.

Założenia do analizy podano w poniższej tabeli. Moc silnika oraz dane eksploatacyjne takie jak czas pracy, taryfa zaczerpnięto z inwentaryzacji w rzeczywistym zakładzie produkcyjnym.

Tabela 8 Podstawowe założenia do analizy techniczno-ekonomicznej

Wyszczególnienie	***jednostka***	***Urządzenie standardowe***	***Urządzenie energooszczędne***
Cena urządzenia	PLN	9 600	11 328
Czas życia	lata	15	15
Moc nominalna (P_n)	kW	75	75
Synchroniczna prędkość obrotowa	n/min	1500	1500
Czas pracy (t)	h/rok	6350	6350
Współczynnik średniego obciążenie w stosunku do mocy nominalnej (p)	-	0,75	0,75
Sprawność przy obciążeniu 0,75 P_n (η_p) *	-	0,935	0,949

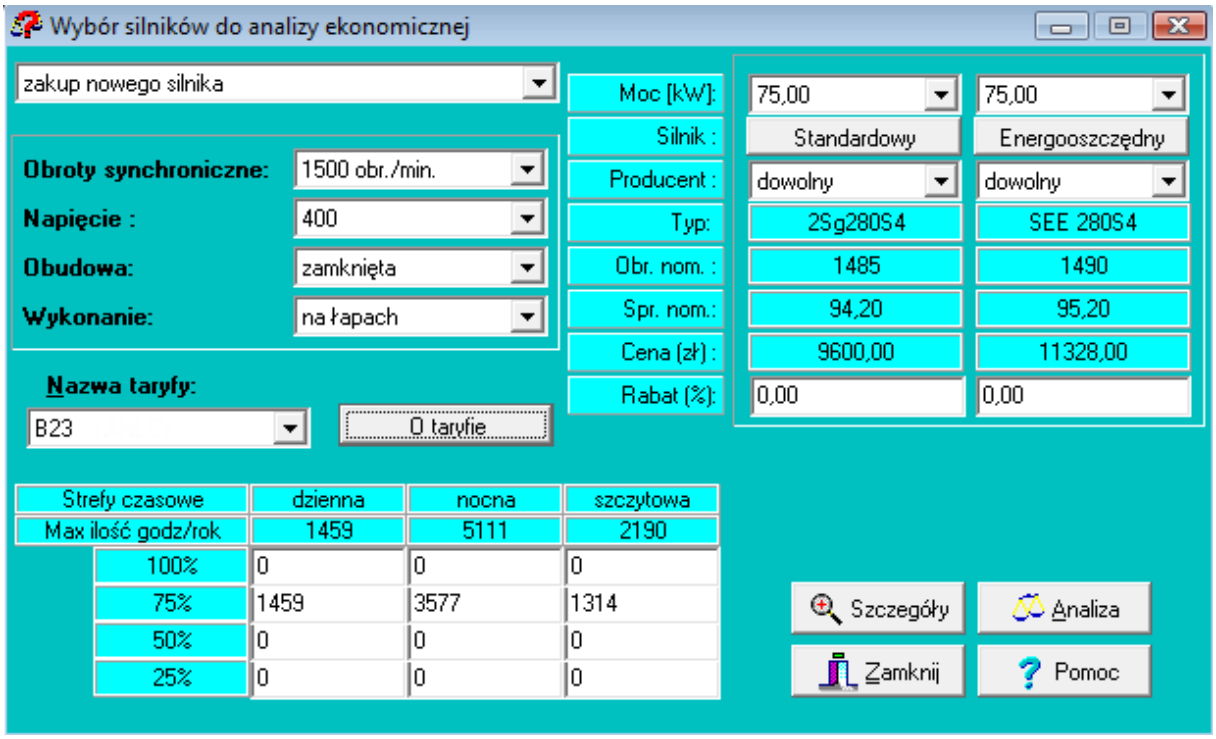
* wg danych producenta

W tabeli 9 przedstawiono opłaty jednostkowe dotyczące energii i jej dostawy. Jest to poziom cen z 2009 roku (ceny netto). Ponadto podano podział czasu pracy silnika na poszczególne strefy taryfy. Należy zauważyć, że możliwości obniżenia kosztów energii wynikające z pracy urządzenia w strefach czasowych taryfy o niższej cenie energii zostały wykorzystane optymalnie.

Tabela 9 Opłaty jednostkowe za energię i dystrybucję energii oraz czas pracy w odpowiedniej strefie taryfowej

Taryfa B 23	Jednostka	Szczyt przedpołudniowy	Szczyt popołudniowy	Pozostałe godziny doby
Opłaty za energię i dystrybucję	zł/kWh	0,24	0,33	0,19
Opłaty dystrybucjne	zł/kW/rok	111,84		
Czas pracy w danej strefie	h/rok	1459	1314	3577

Do wyznaczenia dynamicznych wskaźników ekonomicznych dla przedsięwzięcia, typu dyskontowany okres zwrotu (DPBT), wewnętrzna stopa zwrotu (IRR) przyjęto stopę dyskonta na poziomie 6%. Ponadto dla wariantu 2 założono, że wartość silnika obecnie eksploatowanego wynosi 10% wartości urządzenia nowego. W wariancie 3 analizy, w którym silnik standardowy, eksploatowany ulega awarii założono, że koszty jego remontu wynoszą 50% kosztów zakupu urządzenia nowego oraz w wyniku remontu polegającego na przezwojeniu, sprawność silnika zmniejsza się o 0,5%. Okno programu EFEmotor z danymi wejściowymi do analizy pokazano na rysunku 9.



Rysunek 9 Okno wyboru silników do analizy w programie EFEmotor – przykład dla wariantu 1

Wyniki analizy

Wariant 1 Użytkownik zdecydował się na zakup silnika i ocenia, czy kupić tańszy silnik standardowy, czy może droższy o podwyższonej sprawności. W wyniku analizy otrzymujemy odpowiedź w jakim czasie, poprzez osiągniecie oszczędności energii, zwróci się różnica w koszcie silnika standardowego i energooszczędnego – 1 728 zł.

Oszczędność energii, kWh/rok	5635,7
Zmniejszenie emisji CO2, Mg,rok	5,5
Wartość zaoszczędzonej energii, zł/rok	1298,8
Zmniejszenie zapotrzebowania mocy, kW	0,89
Wartość zmniejszenia zapotrzebowania mocy, zł/rok	99,3
Całkowita wartość oszczędności, zł/rok	1398,0
Prosty okres zwrotu nakładów, lata	1,24
Dyskontowany okres zwrotu nakładów, lata	1,33
Wewnętrzna stopa zwrotu, %	80,9

Wariant 2 Użytkownik zdecydował się na zakup silnika o podwyższonej sprawności w celu wymiany silnika, który obecnie jest eksploatowany. W wyniku analizy otrzymujemy odpowiedź w jakim czasie, poprzez osiągniecie oszczędności energii, zwrócą się koszty silnika energooszczędnego, pomniejszone o wartość silnika pracujacego, który podlega wymianie – 10 368 zł. Jest to przypadek najmniej korzystny z ekonomicznego punktu widzenia.

Oszczędność energii, kWh/rok	5635,7
Zmniejszenie emisji CO2, Mg,rok	5,5
Wartość zaoszczędzonej energii, zł/rok	1298,8
Zmniejszenie zapotrzebowania mocy, kW	0,89
Wartość zmniejszenia zapotrzebowania mocy, zł/rok	99,3
Całkowita wartość oszczędności, zł/rok	1398,0
Prosty okres zwrotu nakładów, lata	7,42
Dyskontowany okres zwrotu nakładów, lata	10,11
Wewnętrzna stopa zwrotu, %	10,45

Wariant 3 Po zaistnieniu awarii silnika użytkownik ocenia, czy poddać remontowi silnik uszkodzony, czy może kupić nowy, o podwyższonej sprawności. W wyniku analizy otrzymujemy odpowiedź w jakim czasie, poprzez osiągniecie oszczędności energii, zwróci się różnica kosztów remontu silnika uszkodzonego i nowego energooszczędnego – 6 528 zł.

Oszczędność energii, kWh/rok	7689,5
Zmniejszenie emisji CO2, Mg,rok	7,5
Wartość zaoszczędzonej energii, zł/rok	1772,1
Zmniejszenie zapotrzebowania mocy, kW	1,21
Wartość zmniejszenia zapotrzebowania mocy, zł/rok	135,4
Całkowita wartość oszczędności, zł/rok	1907,5
Prosty okres zwrotu nakładów, lata	3,42
Dyskontowany okres zwrotu nakładów, lata	3,95
Wewnętrzna stopa zwrotu, %	28,54

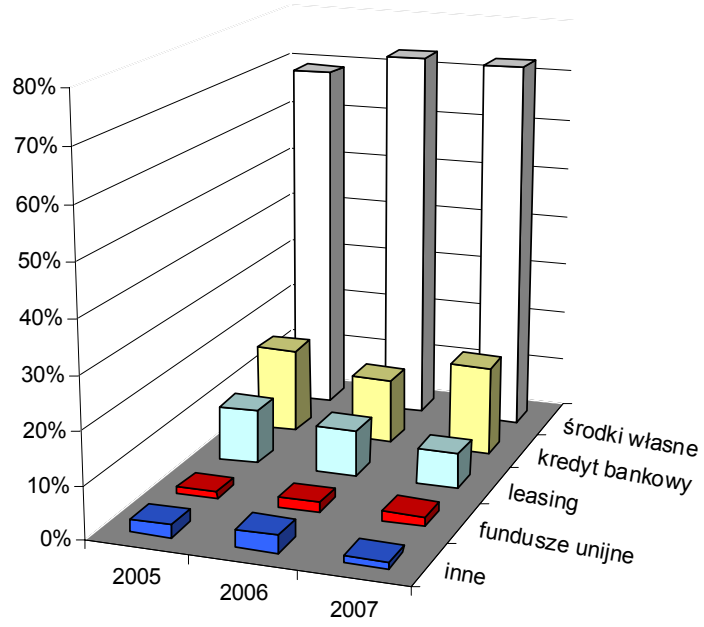
W tabeli 10 pokazano jak zmienia się wartość oszczędności energii (stan wyjściowy jak w wariancie 1 i 2) w zależności od zmiany ceny energii oraz czasu pracy silnika – prosta analiza wrażliwości.

Tabela 10 Analiza wrażliwości – wielkość oszczędności w zł, w zależności od czasu pracy i zmiany cen energii

Zmiana cen energii / Czas pracy, h/rok	-40%	-20%	**0%**	20%	40%	60%
1000	222,0	262,9	**303,8**	344,7	385,6	426,5
2000	344,7	426,5	**508,3**	590,1	672,0	753,8
4000	590,1	753,8	**917,4**	1081,0	1244,6	1408,3
6350	**878,5**	**1138,3**	**1398,0**	**1657,8**	**1917,6**	**2177,3**
8000	1081,0	1408,3	**1735,5**	2062,8	2390,0	2717,3

3 Finansowanie zewnętrzne projektów poprawiających efektywność energetyczną w przedsiębiorstwach

Wyniki przeprowadzanych w przemyśle analiz pokazują, że istnieje wiele efektywnych ekonomicznie inwestycji prowadzących do zmniejszenia energochłonności. Warunkami opłacalności ekonomicznej są: prawidłowa identyfikacja źródeł oszczędności i sposobu ich osiągnięcia oraz dysponowanie środkami inwestycyjnymi i racjonalne ich wykorzystanie.
Wciąż jedną z najpoważniejszych barier dla ich rozwoju stanowi brak środków finansowych na ich modernizację i rozwój. Wśród małych i średnich przedsiębiorstw utrzymuje się tendencja do finansowania rozwoju przede wszystkim w oparciu o środki własne, a w dalszej kolejności kredyt bankowy, czy leasing.
Sposób finansowania inwestycji w przedsiębiorstwach z sektora MSP wg danych z Raportu o stanie sektora małych i średnich przedsiębiorstw w Polsce w latach 2007–2008 – PARP przedstawiono na poniższym rysunku.



Rysunek 10 Sposób finansowania inwestycji w przedsiębiorstwach [4]

3.1 Ustawa o efektywności energetycznej jako źródło wsparcia finansowego dla projektów

Nowe możliwości finansowania przedsięwzięć energooszczędnościowych może dać planowany do wdrożenia w ramach Ustawy o efektywności energetycznej system „białych certyfikatów". Mechanizm ten ma stymulować do podejmowania działań poprawiających efektywność energetyczną głównie u odbiorców końcowych energii i paliw.

Projekt ustawy przewiduje w tym zakresie, dla podmiotów planujących wdrożyć przedsięwzięcie skutkujące uzyskaniem oszczędności energii na określonym poziomie, możliwość uzyskania w drodze przetargu tzw. świadectwa efektywności energetycznej (potocznie – biały certyfikat). Prawa majątkowe z tytułu posiadania świadectwa będą zbywalne i stanowić będą towar giełdowy. Sprzedaż uzyskanych świadectw przez podmiot realizujący projekt związany z osiągnięciem oszczędności energii wzmocni efekt ekonomiczny inwestycji. Oszczędności energii dla planowanego przedsięwzięcia będą musiały być potwierdzone audytem energetycznym. Ustawa powinna wejść w życie w 2010 roku.

3.2 Środki z programów unijnych

Po akcesji do UE wzrosły możliwości pozyskania przez przedsiębiorstwa polskie bardziej preferencyjnych środków na przedsięwzięcia inwestycyjne. Środki unijne trafiają tu do przedsiębiorców w formie dotacji. Należy, jednak pamiętać, że finansowanie tego typu przekazywane jest najczęściej jako refundacja poniesionych wcześniej nakładów, co pociąga za sobą często konieczność wspierania się kredytem pomostowym. Oczywiście wymagane jest tu również wykazanie wkładu w postaci środków własnych.

3.3 Środki krajowych funduszy ochrony środowiska

W ramach realizacji przedsięwzięć z zakresu ochrony środowiska, w tym podnoszenia efektywności energetycznej ofertę wsparcia dla przedsiębiorców oferują również fundusze krajowe takie, jak Narodowy Fundusz Ochrony Środowiska i Gospodarki Wodnej oraz Wojewódzkie Fundusze Ochrony Środowiska i Gospodarki Wodnej. Wsparcie ze środków krajowych dla przedsiębiorstw proponowane jest tu zazwyczaj w postaci preferencyjnych pożyczek. Na ewentualne dotacje można liczyć przy próbie pozyskania środków na przedsięwzięcia związane z odnawialnymi źródłami energii.

3.3.1 Oferta NFOŚiGW

Obok koordynacji we wdrażaniu projektów finansowanych ze środków unijnych Narodowy Fundusz Ochrony Środowiska i Gospodarki Wodnej posiada ofertę dla przedsiębiorców w ramach finansowania przedsięwzięć ze środków krajowych. Przedsiębiorcy mogą pozyskiwać wsparcie finansowe głównie w postaci preferencyjnych pożyczek z możliwością częściowego ich umorzenia. Preferowane są projekty duże o skali krajowej. Finansowane mogą być zadania mieszczące się w programach ogłaszanych przez NFOŚiGW. W zakresie efektywności energetycznej są to:

- Program dla przedsięwzięć w zakresie odnawialnych źródeł energii i obiektów wysokosprawnej kogeneracji.

- Program dla przedsięwzięć służących wdrażaniu technologii zapewniających czystszą i energooszczędną produkcję oraz oszczędność surowców naturalnych i energii pierwotnej.
- Program dla przedsięwzięć w zakresie oszczędzania energii.
- Program dla przedsięwzięć w zakresie ograniczenia emisji z procesów energetycznego spalania paliw.

Finansowanie w danym programie jest realizowane po ogłoszeniu naboru wniosków. W 2010 roku planowane jest uruchomienie kolejnych programów skierowanych na przemysłowych użytkowników energii.

Więcej informacji pod adresem: http://www.nfosigw.gov.pl/

3.3.2 Oferta WFOŚiGW

Oferta Wojewódzkich Funduszy Ochrony Środowiska i Gospodarki Wodnej dotyczy projektów w skali województwa. Jest ona zróżnicowana ze względu na dany oddział Funduszu. Przedsiębiorcy mogą pozyskiwać wsparcie finansowe głównie w postaci preferencyjnych pożyczek z możliwością częściowego ich umorzenia. Wysokość dofinansowania do 80% kosztów kwalifikowanych zadania. Wnioski na ogół przyjmowane są na bieżąco.

Zestawienie tabelaryczne z informacją o stronie internetowej danego Funduszu i finansowanych zadaniach przedstawiono poniżej. W tabeli wyróżniono przedsięwzięcia dedykowane dla przedsiębiorstw, związane wdrażaniem programów oszczędzania energii, poprawy efektywności energetycznej.

Tabela 11 Oferta Wojewódzkich Funduszy Ochrony Środowiska

Lp	*Nazwa instytucji*	*Strona internetowa*	*Linia finansowa/finansowane zadania (listy przedsięwzięć priorytetowych 2010)*
1	Wojewódzki Fundusz Ochrony Środowiska we Wrocławiu	http://www.fos.wroc.pl	– Zmniejszanie emisji pyłów i gazów z energetycznego spalania paliw i procesów technologicznych. – **Racjonalizacja gospodarki energią.** – Wykorzystanie źródeł energii odnawialnej, w tym biopaliw. – **Wdrażanie programów czystszej produkcji i systemów zarządzania środowiskowego.** – **Wprowadzanie programów oszczędzania surowców i energii.**
2	Wojewódzki Fundusz Ochrony Środowiska w Toruniu	http://www.wfosigw.torun.pl	– Wspieranie działań dotyczących wykorzystania odnawialnych źródeł energii w systemach grzewczych. – **Działania związane ze zwiększeniem efektywności energetycznej w tym, termomodernizacja budynków.**
3	Wojewódzki Fundusz Ochrony Środowiska w Lublinie	http://www.wfos.lublin.pl	– Rozwój energetyki odnawialnej opartej o wykorzystanie w procesie wytwarzania energii promieniowania słonecznego, wiatru i wody, zasobów geotermalnych oraz biomasy. – Zmiana paliwa stałego na paliwo bardziej ekologiczne w źródłach produkcji energii. – Skojarzone wytwarzanie energii elektrycznej i cieplnej. – Modernizacja instalacji stanowiących źródła emisji gazów i pyłów. – **Zmiana technologii produkcji na energooszczędne i mniej uciążliwe dla środowiska.** – Wykorzystanie odnawialnych źródeł energii. – Modernizacja kotłowni opalanych paliwem stałym na zasilane paliwem bardziej ekologicznym. – Likwidacja lokalnych kotłowni opalanych paliwem stałym i przyłączanie obiektów do miejskiej sieci ciepłowniczej. – **Podniesienie efektywności gospodarowania energią m.in. poprzez modernizację systemów przesyłu i dystrybucji energii oraz termomodernizację i termorenowację budynków ze szczególnym uwzględnieniem obiektów użyteczności publicznej.**
4	Wojewódzki Fundusz Ochrony Środowiska w Zielonej Górze	http://www.wfosigw.zgora.pl	– Gospodarka ściekowa w przedsiębiorstwach - inwestycje mające na celu zmniejszenie zużycia wody oraz ilości substancji niebezpiecznych odprowadzanych ze ściekami. – Wykorzystywanie odnawialnych źródeł energii. – Zmniejszenie emisji zanieczyszczeń powstających w procesach energetycznych. – **Podniesienie efektywności gospodarowania energią m.in. poprzez ograniczanie strat w procesie przesyłania i dystrybucji energii, w tym przebudowa systemów ciepłowniczych oraz obniżenie energochłonności sektora publicznego.**
5	Wojewódzki Fundusz Ochrony Środowiska w Łodzi	http://www.wfosigw.lodz.pl	– Wykorzystanie odnawialnych źródeł energii. – **Redukcja zanieczyszczeń gazowych i pyłowych w energetyce i przemyśle.** – **Ograniczenie niskiej emisji oraz racjonalizacja zużycia energii.** – Modernizacja układów technologicznych z wprowadzaniem nowoczesnych technik spalania paliw.

Lp	*Nazwa instytucji*	*Strona internetowa*	*Linia finansowa/finansowane zadania (listy przedsięwzięć priorytetowych 2010)*
6	Wojewódzki Fundusz Ochrony Środowiska w Krakowie	http://www.wfos.krakow.pl	– Ochrona powietrza - ograniczanie emisji. – Termomodernizacja.
7	Wojewódzki Fundusz Ochrony Środowiska we Warszawie	http://www.wfosigw.pl	– Zadania i programy dotyczące wykorzystania odnawialnych źródeł energii. – Modernizacja systemów cieplnych w połączeniu z likwidacją lokalnych kotłowni o niskiej sprawności i złym stanie technicznym. – Ograniczenie emisji pyłów i gazów powstających w procesach energetycznych oraz emisji substancji toksycznych zagrażających zdrowiu i życiu ludności. – **Wprowadzanie nowych technologii w zakładach przemysłowych mających na celu ograniczanie emisji zanieczyszczeń do powietrza.** – **Podniesienie efektywności gospodarowania energią, poprzez ograniczenie strat przesyłowych, ograniczenie jej zużycia, w tym termorenowacja obiektów.**
8	Wojewódzki Fundusz Ochrony Środowiska w Opolu	http://www.wfosigw.opole.pl	– Termomodernizaja budynków. – Wykorzystanie odnawialnych źródeł energii. – Modernizacja sieci ciepłowniczych. – Modernizacja instalacji przemysłowych spalania paliw.
9	Wojewódzki Fundusz Ochrony Środowiska w Rzeszowie	http://www.wfosigw.rzeszow.pl	– Likwidacja tzw. „niskich” źródeł emisji na terenach miast. – Realizacja przedsięwzięć dotyczących odnawialnych źródeł energii.
10	Wojewódzki Fundusz Ochrony Środowiska w Białymstoku	http://www.wfosigw.bialystok.pl	– Ograniczenie niskiej emisji w szczególności na terenach miejskich, uzdrowiskowych, parków narodowych i krajobrazowych. – Energetyczne wykorzystanie odnawialnych źródeł energii, w tym produkcji biopaliw. – Instalowanie urządzeń ograniczających emisję pyłów i gazów. – **Zmniejszenie zużycia energii cieplnej i elektrycznej, w tym zadania związane z termomodernizacją budynków użyteczności publicznej i modernizacją oświetlenia ulic.**
11	Wojewódzki Fundusz Ochrony Środowiska w Gdańsku	http://www.wfosigw-gda.pl	– Ograniczenie niskiej emisji, w szczególności na terenach miejskich, uzdrowiskowych, parków krajobrazowych i leśnych kompleksów promocyjnych. – Ograniczanie emisji gazów cieplarnianych i zanieczyszczeń do powietrza poprzez modernizację technologii spalania paliw oraz zmianę rodzaju i jakości paliw. – Wspieranie wykorzystania odnawialnych źródeł energii. – **Wdrażanie nowoczesnych technologii w przemyśle, energetyce i gospodarce komunalnej.**

Lp	*Nazwa instytucji*	*Strona internetowa*	*Linia finansowa/finansowane zadania (listy przedsięwzięć priorytetowych 2010)*
12	Wojewódzki Fundusz Ochrony Środowiska w Katowicach	http://www.wfosigw.katowice.pl	– Wdrażanie projektów wysokosprawnych i efektywnych układów lub systemów ciepłowniczych. – Budowa lub zmiana systemu ogrzewania na bardziej efektywny ekologicznie i energetycznie. – Modernizacja układów technologicznych z wprowadzaniem nowoczesnych technik spalania paliw. – **Poprawa efektywności energetycznej źródeł, przesyłu i wykorzystania ciepła.** – Wykorzystanie metanu z kopalń węgla kamiennego. – Wdrażanie projektów z zastosowaniem odnawialnych i alternatywnych źródeł energii. – Budowa i modernizacja systemów redukcji zanieczyszczeń pyłowo – gazowych. – **Wdrażanie projektów nowoczesnych, efektywnych i przyjaznych środowisku układów technologicznych, przesyłu i użytkowania energii.** – Termoizolacja budynków w zakresie wynikającym z audytu energetycznego. – **Wdrażanie programów ograniczenia zużycia energii ze źródeł konwencjonalnych.**
13	Wojewódzki Fundusz Ochrony Środowiska w Kielcach	http://www.wfos.com.pl	– **Przedsięwzięcia zmierzające do ograniczenia emisji zanieczyszczeń gazowych i pyłowych do atmosfery poprzez przebudowę i unowocześnianie technologii produkcji, technologii spalania paliw.** – Przebudowa lub wykonanie nowych instalacji do ograniczenia emisji zanieczyszczeń gazowych i pyłowych do atmosfery. – Przebudowa systemów ciepłowniczych. – Przedsięwzięcia termomodernizacyjne. – Przedsięwzięcia wykorzystujące niekonwencjonalne, odnawialne źródła energii.
14	Wojewódzki Fundusz Ochrony Środowiska w Olsztynie	http://www.wfosigw.olsztyn.pl	– Energetyczne wykorzystanie odnawialnych źródeł energii. – Produkcja energii w kogeneracji z wykorzystaniem odnawialnych źródeł energii.
15	Wojewódzki Fundusz Ochrony Środowiska w Poznaniu	http://www.wfosgw.poznan.pl	– Ograniczenie niskiej emisji. – Ograniczenie emisji zanieczyszczeń z instalacji mogących znacząco oddziaływać na środowisko. – Zwiększenie wykorzystania energii z odnawialnych źródeł. – **Wdrażanie kompleksowych programów w zakresie oszczędności energii.**
16	Wojewódzki Fundusz Ochrony Środowiska w Szczecinie	http://www.wfos.szczecin.pl	– Wspieranie przedsięwzięć zmierzających do ograniczenia emisji substancji toksycznych (SO2, NOx i innych), pyłów, gazów cieplarnianych i innych zanieczyszczeń do atmosfery. – Wspieranie zadań w zakresie likwidacji źródeł niskiej emisji poprzez racjonalizację systemów grzewczych z wykorzystaniem istniejących źródeł ciepła oraz modernizacji kotłowni i systemów grzewczych. – **Wdrażanie nowoczesnych technologii i przedsięwzięć ograniczających zużycie energii w przemyśle, energetyce i gospodarce komunalnej.** – Wspieranie wykorzystania odnawialnych źródeł energii. – Wspieranie kompleksowych działań związanych z termomodernizacją budynków, ze szczególnym uwzględnieniem obiektów użyteczności publicznej.

3.3.3 Oferta kredytów proekologicznych Banku Ochrony Środowiska

Ofertę kredytową skierowaną do przedsiębiorców na działania proekologiczne posiada również Bank Ochrony Środowiska SA.

BOS SA oferuje dla przedsiębiorców następujące preferencyjne linie kredytowe:

- kredyty preferencyjne w BOŚ S.A. z dopłatami do oprocentowania wnoszonymi przez NFOŚiGW,
- kredyty we współpracy z WFOŚiGW,
- kredyty na zakup lub montaż urządzeń i wyrobów służących ochronie środowiska,
- kredyty dla firm realizujących inwestycje w formule "Trzeciej strony",
- kredyty z 5 linii KfW na długoterminowe inwestycje - linia jest dofinansowana przez Council of Europe Development Bank (CEB), a także wspierana przez Komisję Europejską.

Więcej informacji pod adresem: http://www.bosbank.pl w zakładce EKOLOGIA.

Innym podejściem do finansowania przedsięwzięć oszczędzających energię jest tzw. finansowanie przez stronę trzecią (Third Party Financing - TPF). Oznacza ono, że wyspecjalizowane przedsiębiorstwo usług energetycznych (energy service company - ESCO), jako jeden podmiot realizuje inwestycję dostarczając rozwiązania techniczne i organizacyjne, a również w zakresie jej finansowania.

4 Literatura

[1] Norma IEC 60034-30 Rotating electrical machines – Part 30: Efficiency classes of single-speed, three-phase, cage-induction motors (IE-code) z 2008 roku

[2] Norma IEC 60034-2-1 Rotating electrical machines – Part 2-1: Standard methods for determining losses and efficiency from tests (excluding for traction vehicles) z 2007

[3] Raport EUP Lot 11 Motors – Final. Praca zbiorowa. – www.ecomotors.org

[4] Efektywne wykorzystanie energii w firmie – poradnik. Praca zbiorowa. – publikacja PARP.

Więcej publikacji na:
www.pemp.pl