



EUROPEAN COMMISSION  
DIRECTORATE-GENERAL ENERGY AND TRANSPORT

New Energies & Demand Management  
Promotion of Renewable Energy Sources & Demand Management

Bruksela, 1 stycznia 2003

## THE EUROPEAN MOTOR CHALLENGE PROGRAMME

Dokument modułowy dotyczący napędów



### Spis treści

1.	Wprowadzenie do dokumentu modułowego dotyczącego napędów .....	1
2.	Inwentaryzacja elementów układów napędowych i ich działania .....	1
A.	Podstawowy opis sytemu .....	1
B.	Dokumentacja i pomiary parametrów roboczych układów .....	2
C.	Globalne wskaźniki działania systemu .....	2
3.	Ocena technicznych środków oszczędności energii .....	3
3.1	Silniki energooszczędne .....	4
3.2	Dobór właściwej wielkości silnika .....	5
3.3	Naprawa silnika .....	5
3.4	Napędy zmiennoprędkościowe .....	6
4.	Plan działań .....	6
5.	Raport roczny .....	8

## 1. Wprowadzenie do dokumentu modułowego dotyczącego napędów

Dokument ten należy do zbioru dokumentacji p.n „Wytyczne dla Partnerów”, w zakresie Programu „Motor Challenge” (MCP). W dokumencie określono zakres, jaki powinien obejmować plan działań, jeśli Partner przystępuje do realizacji projektu obejmującego układy napędowe. W szczególności w dokumencie tym wyjaśniono, jakie czynności należy przeprowadzić w zakresie każdego z poniższych etapów uczestnictwa w Programie „Motor Challenge”:

- **Inwentaryzacja** podzespołów układów napędowych i ich działania;
- **Ocena** przydatności możliwych sposobów oszczędzania energii;
- **Plan działań**, zaprezentowany Komisji, który to plan określa działania, które Partner postanowił zrealizować w celu ograniczenia kosztów eksploatacyjnych, poprzez poprawę efektywności energetycznej;
- **Raport roczny** z postępów w realizacji Planu działań.

Należy zaznaczyć, że dokumenty dotyczące inwentaryzacji i oceny są poufnymi dokumentami do użytku wewnętrznego, podczas gdy Plan działań i Raport roczny są przedstawiane Komisji.

## 2. Inwentaryzacja elementów układów napędowych i ich działania

Pierwszym krokiem w kierunku rozpoznania możliwych środków oszczędności energii jest przeprowadzenie przez Partnera projektu **Inwentaryzacji** podzespołów i układów napędów elektrycznych oraz najważniejszych parametrów pracy tych układów. Inwentaryzacja obejmuje trzy opisane niżej fazy.

### A. Podstawowy opis sytemu

Obejmuje zapis wyników pomiarów przeprowadzonych przez firmę konsultingową lub przeprowadzenie prostych pomiarów, mających na celu zgromadzenie następujących danych:

1. Ogólny opis układów napędowych, ich konstrukcja i rozmieszczenie.
2. Wiek i informacje z tabliczek znamionowych silników (wielkość, typ,...).
3. Typ urządzenia napędzanego (dla każdego silnika).
4. Typ regulatora prędkości (jeśli zastosowano), dla każdego silnika.
5. Sposób przeniesienia napędu, dla każdego silnika.
6. Rodzaj i częstość prac obsługowych (utrzymania urządzenia) silnika, przeniesienia napędu i urządzenia napędzanego.
7. Ile razy każdy silnik był naprawiany.
8. Liczba maszynogodzin (lat) pracy.

W wielu przedsiębiorstwach większość tych danych mogą na miejscu zgromadzić pracownicy zakładu.

W zakładach produkcyjnych, w których działa bardzo duża liczba silników, procedurę gromadzenia danych i pomiary można ograniczyć do największych silników, jeśli zużywają one znaczącą większość (na przykład 2/3) energii zużywanej ogółem przez napędy elektryczne.

## B. Dokumentacja i pomiary parametrów roboczych układów

Dokumentacja poz. 1 do 4 jest wymagana dla całej instalacji. Dane wyszczególnione w poz. 5 do 7 również należy zgromadzić dla wszystkich napędów. Skompletowanie tych danych ma zasadnicze znaczenie dla układów dużych i średnich (powyżej 25 kW) i wymaga odpowiednio wysokiego poziomu doświadczenia technicznego, zarówno w odniesieniu do załogi zakładu jak i personelu trzeciej strony, takiej jak „Wprowadzający” w programie MCP („Endorser”).

1. Całkowite zużycie energii elektrycznej w napędach, w całej instalacji.
2. Asymetria napięcia elektrycznego w całej instalacji.
3. Całkowite zniekształcenia harmoniczne, dla całej instalacji.
4. Współczynnik mocy dla całej instalacji.
5. Współczynnik nadwymiarowości i współczynnik obciążenia dla każdego silnika.
6. Profil zapotrzebowania: oszacowanie wahań dobowych / tygodniowych, dla każdego silnika.
7. Dla dużych silników należy zastosować rejestratory danych i odpowiednie czujniki prądowe i napięciowe (prawdopodobnie zainstalowane tylko na czas pomiarów). W przypadku mniejszych silników można wykorzystać najlepsze dostępne dane.

## C. Globalne wskaźniki działania systemu

Na podstawie zebranych danych, można obliczyć poniższe globalne wskaźniki działania systemu.

Koszty roczne	Kapitał		Utrzymanie		Energia	
Roczne koszty eksploatacyjne			Średnia moc wszystkich systemów napędowych			
Zużycie energii elektrycznej przez napędy w stosunku do ilości wytworzonych produktów (kWh/Q-Prod <sup>(1)</sup> )						
Ogólny jednostkowy wskaźnik kosztów napędów (EUR/ mechaniczną kWh)						

(1) Q-Prod. Jest pewnym względnym wskaźnikiem ilości wytworzonych produktów w zakładzie wytwórczym, wyrażonym np. w tonach, metrach, sztukach itp.

Należy zauważyć, że w wielu układach napędowych (mniejszych, niż 25 kW) potencjalne oszczędności nie uzasadniają przeprowadzenia skomplikowanego i kosztownego procesu gromadzenia danych, koniecznego dla obliczenia dokładnych wartości. W takich sytuacjach oszacowanie powinno bazować na prawidłowo zastosowanej „regule kciuka”, na przykład:

- Koszty kapitałowe w stosunku rocznym można oszacować jako założenie, że wynoszą 10% kosztów wymiany całego systemu. Jeśli napędy są zintegrowane z urządzeniami, ich koszty należy oszacować na podstawie danych katalogowych;
- Koszty utrzymania można przyjąć jako wynoszące 3% do 4% bieżących kosztów wymiany;
- Koszty energii można oszacować w oparciu o moc znamionową, współczynnik obciążenia i liczbę maszynogodzin.

### 3. Ocena technicznych środków oszczędności energii

Na wielkość zużycia energii elektrycznej przez układy napędowe ma wpływ wiele czynników, takich jak:

- Sprawność silnika;
- Prawidłowy dobór jego wielkości;
- Urządzenia regulacyjne: układy rozruchu i zatrzymania, regulator prędkości;
- Jakość zasilania energią elektryczną;
- Mechaniczny układ przeniesienia napędu;
- Praktyka w zakresie konserwacji i utrzymania;
- Sprawność końcowego urządzenia napędzanego.

Aby w pełni skorzystać z dostępnego potencjału oszczędności, użytkownik powinien spróbować zoptymalizować cały układ silnika.

Oczywiście praktyczne możliwości zastosowania dostępnych środków oraz skuteczność, z jaką mogą one przynieść oszczędności finansowe, zależą od rozmiaru i konkretnego rodzaju realizowanej operacji. Tylko w drodze oceny systemu oraz potrzeb przedsiębiorstwa można określić, które środki są równocześnie możliwe do zastosowania i są opłacalne. Taką ocenę może wykonać wykwalifikowany usługodawca w zakresie obsługi elektrycznych układów napędowych, (który może być „Wprowadzającym” [„Endorser”] w programie MCP) lub wykwalifikowany inżynierski personel własny.

Wnioski z przeprowadzonej oceny pozwolą określić środki oszczędnościowe, które mają zastosowanie w przypadku danego układu, przy czym można będzie oszacować te oszczędności, koszty konieczne do poniesienia w związku z tymi środkami oraz okres zwrotu nakładów. Rezultaty oceny są poufnymi danymi do użytku własnego i nie podlegają raportowaniu do Komisji.

Przedstawiona niżej tabela prezentuje potencjalnie znaczące środki oszczędzania energii, które mogą znaleźć zastosowanie w odniesieniu do danego układu. Choć wartości w tabeli są typowe, to możliwość zastosowania poszczególnych środków zależy od indywidualnych charakterystyk instalacji.

**Tabela 1: Środki oszczędności energii w układach napędowych**

Środek oszczędności energii w układach napędowych	Typowy zakres oszczędności
<b>Instalacja lub pełna modernizacja układu</b>	
Elektryczne silniki energooszczędne	2-8%
Prawidłowy dobór wielkości	1-3%
Naprawa silnika energooszczędnego	0,5-2%
Napędy zmiennoprędkościowe (VSD)	10-50%
Wysokosprawny układ przeniesienia napędu / reduktor	2-10%
Automatyka jakości zasilania	0,5-3%
<b>Eksploatacja i obsługa / utrzymanie układu</b>	
Smarowanie, nastawy, regulacja	1-5%

Dla każdego ze środków wyszczególnionych w Tabeli 1, powinno się ocenić możliwość jego zastosowania i opłacalność. Można to uczynić w formie podobnej do zaproponowanej w Tabeli 2.

**Tabela 2: Rezultaty oceny**

Środki oszczędności energii	Konkretne proponowane działanie	Oszacowanie rocznych oszczędności kosztów energii (1)	Zmiana w rocznych kosztach eksploatacji i obsługi	Dodatkowe nakłady inwestycyjne (2)	Szacowany okres zwrotu (miesiące)
<b>Instalacja lub pełna modernizacja układu</b>					
Elektryczne silniki energooszczędne					
Prawidłowy dobór wielkości					
Naprawa silnika energooszczędnego					
Napędy zmiennoprędkościowe					
Wysokosprawny układ przeniesienia napędu / reduktor					
Automatyka jakości zasilania					
<b>Eksploatacja i obsługa / utrzymanie układu</b>					
Smarowanie, nastawy, regulacja					

(1) Jeśli oszczędności energii nie da się precyzyjnie zmierzyć (co się często zdarza) należy je oszacować na podstawie wyników oceny i ogólnie przyjętych współczynników technicznych.

(2) Nakłady inwestycyjne oraz koszty eksploatacji i utrzymania stanowią oszacowanie zmian w kosztach, z uwzględnieniem tych kosztów, które należałoby ponieść bez uczestnictwa Partnera w programie MCP. Mogą to być, na przykład: dodatkowa inwestycja w lepiej działające urządzenia, spadek / wzrost kosztów utrzymania, oszczędności wynikające z lepszej jakości lub niezawodności itp.

### 3.1 Silniki energooszczędne

W zamian za dodatkowe 20% - 30% nakładów, silniki energooszczędne, zwane również silnikami wysokosprawnymi, oferują 2% – 6% lepszą sprawność, przekładającą się na znaczne oszczędności energii.

Ponieważ zmniejszenie strat energii daje w efekcie mniejszy wzrost temperatury silnika, wzrasta trwałość izolacji uzwojenia i trwałość łożysk. Dlatego, w wielu sytuacjach:

- Wzrasta niezawodność;
- Okresy przestojów są krótsze, a koszty utrzymania niższe;
- Wzrasta odporność na naprężenia termiczne;
- Wzrastają możliwości pracy w warunkach przeciążenia;
- Poprawia się odporność na odbiegające od normy warunki pracy – zbyt wysokie lub zbyt niskie napięcie, asymetria faz, gorsze przebiegi napięcia i prądu (np. harmoniczne) itp.;
- Poprawia się współczynnik wykorzystania mocy;
- Następuje redukcja emisji hałasu.

Wdrożone niedawno ogólnoeuropejskie porozumienie ma na celu zapewnienie tego, aby poziom efektywności (sprawności) silników wysokosprawnych EFFI, EFFII oraz EFFIII – czyli większości silników wytwarzanych w Europie, był wyraźnie oznaczony. W zasadzie ustalono trzy klasy sprawności energetycznej, zachęcając w ten sposób producentów silników do wprowadzania modeli o wyższych sprawnościach. Te poziomy sprawności dotyczą dwu- i czterobiegunowych trójfazowych indukcyjnych silników klatkowych, o parametrach znamionowych 400 V, 50 Hz klasy S1, o mocy 1,1 do 90 kW. Silniki tego rodzaju stanowią największą grupę sprzedawaną obecnie na rynku.

Właściwe rozwiązania konstrukcyjne silników można wybrać korzystając z bazy danych EURODEEM<sup>1</sup>. W bazie tej zgromadzono dane o wartościach sprawności ponad 3500 typów silników, produkowanych przez 24 producentów. Aktualną wersję EURODEEM można bezpłatnie zainstalować z internetu, wykorzystując adres:

<http://iamest.jrc.it/projects/eem/eurodeem.htm>

Właściwy dobór silnika może być bardzo ułatwiony poprzez wykorzystanie odpowiedniego oprogramowania komputerowego, takiego jak **Motor Master Plus**<sup>2</sup>, i **EURODEEM**<sup>3</sup>.

### 3.2 Dobór właściwej wielkości silnika

Rzadko kiedy zdarza się, aby silniki pracowały przy maksymalnym obciążeniu. Przeprowadzone w Unii Europejskiej badania eksploatacyjne w warunkach rzeczywistych wykazały, że średnio silniki pracują przy obciążeniu wynoszącym około 60% ich mocy znamionowej [1]. Sprawność silników indukcyjnych zazwyczaj osiąga wartość maksymalną mniej więcej przy 75% maksymalnego obciążenia i jej charakterystyka jest względnie płaska od 50% mocy znamionowej wzwyż. Silniki o większej mocy mogą pracować z wysoką sprawnością przy obciążeniach od 30% mocy znamionowej wzwyż.

Prawidłowy dobór wielkości silnika:

- Poprawia sprawność energetyczną, ponieważ silniki mogą pracować z maksymalną sprawnością;
- Może zmniejszyć straty energii elektrycznej dzięki niskiemu współczynnikowi mocy;
- Może nieznacznie zmniejszyć roboczą prędkość obrotową, a przez to zużycie energii, w przypadku wentylatorów i pomp.

### 3.3 Naprawa silnika

Często zdarza się, że jeśli silnik o mocy powyżej 5 kW ulega awariom, to w okresie jego eksploatacji bywa kilkakrotnie naprawiany. Badania laboratoryjne potwierdzają opinię, że niskiej jakości praktyki związane z naprawą silnika, pogarszają jego

<sup>1</sup> Opublikowane przez Komisję Europejską

<sup>2</sup> Sponsorowane przez US Department of Energy

<sup>3</sup> Promowane przez Komisję Europejską - DG TREN

sprawność, zazwyczaj o wartość pomiędzy 0,5 i 1%, a w przypadku starych silników, niekiedy o ponad 4% i więcej.

Aby wybrać pomiędzy naprawą i wymianą, należy uwzględnić koszt energii elektrycznej (zł/kWh), moc silnika, średni współczynnik obciążenia i liczbę maszynogodzin w roku.

Zazwyczaj dobrą opcją jest wymiana uszkodzonego silnika poprzez zakup nowego silnika energooszczędnego, jeśli liczba godzin pracy w ciągu roku jest duża. Na przykład w przypadku urządzenia pracującego 4000 godzin na rok, przy koszcie energii elektrycznej 0,06 EUR/kWh, dla silników o mocy pomiędzy 20 kW a 130 kW, wymiana na silnik energooszczędny wiąże się z okresem zwrotu poniżej trzech lat.

### 3.4 Napędy zmiennoprędkościowe

Dostosowanie prędkości obrotowej silnika za pomocą napędu zmiennoprędkościowego (VSD) pozwala na lepszą regulację procesu technologicznego, ogranicza zużycie urządzeń mechanicznych, pozwala zmniejszyć hałas i uzyskać znaczne oszczędności energii. Jeśli obciążenia ulegają zmianom, to VSD może zmniejszyć zużycie energii elektrycznej, w szczególności w pompach odśrodkowych, sprężarkach i wentylatorach – zwykle w zakresie od 20 do 50%. Urządzenia do obróbki materiałów, takie jak maszyny odśrodkowe, młyny i elektronarzędzia mechaniczne, a także w zastosowaniach w maszynach budowlanych, takich jak zwijarki, przenośniki i podnośniki. Dzięki zastosowaniu układów VSD, w przypadku tych zastosowań silników elektrycznych, można osiągnąć korzyści w zakresie zużycia energii i ogólnej jakości działania urządzenia.

Zastosowanie układów VSD pozwala również na osiągnięcie dalszych korzyści:

- Rozszerzenie użytecznego zakresu warunków roboczych urządzenia napędzanego;
- Oddzielenie silnika od linii zasilających, co pozwala zmniejszyć napięcia i nieefektywność;
- Dokładne zsynchronizowanie silników pracujących w układach wielokrotnych;
- Poprawę szybkości i niezawodności odpowiedzi układu na zmieniające się warunki pracy.

## 4. Plan działań

Plan działań przedsiębiorstwa, w formie zaproponowanej niżej, powinien wyszczególniać:

- Opis środków, które postanowiono zastosować oraz horyzont czasowy ich wdrożenia;
- Uzasadnienie niezastosowania innych środków.

Plan działań przedstawia się Komisji. Po zatwierdzeniu planu, przedstawiające go przedsiębiorstwo zostaje uznane za Partnera Programu MCP.

Środki oszczędności energii	Wykonalność (1)	Konkretne działania (2)	% Pokrycia (3)	Harmonogram	Oczekiwane oszczędności
<b>Instalacja lub pełna modernizacja układu</b>					
Elektryczne silniki energooszczędne					
Prawidłowy dobór wielkości					
Naprawa silnika energooszczędnego					
Napędy zmiennoprędkościowe					
Wysokosprawny układ przeniesienia napędu / reduktor					
Automatyka jakości zasilania					
<b>Eksploatacja i obsługa / utrzymanie układu</b>					
Smarowanie, nastawy, regulacja					

Legenda:

(1) **Wykonalność.** Przedstawić bariery utrudniające, stosując jeden lub więcej spośród poniższych symboli:

NA Nie da się zastosować z przyczyn technicznych

NP Nieopłacalne

NC Nie brane pod uwagę, ponieważ oszacowanie jest zbyt kosztowne

Jeśli to pole pozostaje nie wypełnione, środek uznaje się za możliwy do zastosowania i opłacalny.

(2) **Konkretne działania.** Można dostosować kilka konkretnych działań tak, aby wdrożyć jeden środek oszczędzania energii. Np. prawidłowy dobór wielkości silnika można zrealizować instalując prawidłowo dobrany silnik energooszczędny.

(3) **% Pokrycia.** Jeśli zobowiązanie podjęte przez Partnera dotyczy kilku systemów napędowych, to w tej kolumnie należy wykazać udział proporcjonalny tych systemów, dla których wdrożone będą konkretne działania. Można to oszacować używając najdogodniejszego wskaźnika: liczba systemów, moc, zużycie energii. Wyszczególnić zastosowany wskaźnik, jako: „%”, „%kW”, „%kWh”.

(4) **Harmonogram.** Horyzont czasowy dla wdrażania działań. Może to być okres lub data lub może on zależeć od innych działań, np. „po wymianie silnika”.

(5) **Oczekiwane oszczędności** wyrażone w MWh/rok. Często będzie to tylko oszacowanie, wykonane na bazie ogólnie przyjętej praktyki postępowania.

## 5. Raport roczny

Raport roczny przedstawiany Komisji zawiera opis postępu pracy w związku z realizacją Planu działań i zawiera komentarz dotyczący wszelkich nowopodjętych lub zaniechanych inicjatyw. Należy zastosować przedstawioną niżej formę raportu, przy czym należy ją aktualizować (narastająco) co roku. Dwie kolumny z lewej strony są skopiowane z Planu działań przyjętego przez Partnera, w formie zatwierdzonej przez Komisję.

Zatwierdzony Plan działań		Raport roczny za rok 20xx
Działania, które zdecydowano wdrożyć dla oszczędności energii	Zatwierdzony harmonogram	Postęp działań, jako osiągnięty udział procentowy i niezbędny komentarz (1)
<i>Instalacja lub modernizacja systemu napędowego</i>		
Działanie 1		
Działanie 2		
...		
<i>Eksploatacja i utrzymanie systemu napędowego</i>		
...		
...		

(1) Osiągnięty udział procentowy można odnieść do wskaźnika, jak np. udział procentowy tych systemów objętych Planem działań, dla których konkretne działania zostały ukończone.

Partnerzy mogą uznać za przydatne opracowanie części niżej zaprezentowanej syntezy rezultatów zobowiązania w ramach Motor Challenge. Partnerów zachęca się (choć nie jest to wymóg) do przedstawiania Komisji takiej syntezy.

Synteza raportu rocznego		
	Od daty zobowiązania	W bieżącym roku
Udział procentowy działań ukończonych w ramach Planu działań		
Oszacowany nakład inwestycyjny ogółem (000 EUR) <sup>(1)</sup>		
Oszacowane zmiany w kosztach eksploatacji i utrzymania (000 EUR) <sup>(1)</sup>		
Oszacowanie oszczędności energii (MWh) <sup>(2)</sup>		
Zużycie energii na napędy w odniesieniu do wytworzonego produktu (kWh/Q-Prod.) <sup>(3)</sup>		
Wskaźnik ogólnych kosztów jednostkowych energii mechanicznej (EUR/kWh)		

(1) Nakłady inwestycyjne oraz koszty eksploatacji i utrzymania, które są dodatkowe (lub prawdopodobnie niższe) w stosunku do kosztów, jakie byłyby poniesione bez zobowiązania Partnera do udziału w Motor Challenge.

(2) Oszczędności energii na ogół trudno jest precyzyjnie zmierzyć. Będą zwykle wyliczone poprzez zastosowanie oszacowań w oparciu o wyniki realizacji założeń i ogólnie przyjęte w przemyśle współczynniki techniczne.

(3) Wskaźnik "Q-Prod" jest względnym wskaźnikiem ilości wytworzonego produktu w przedsiębiorstwie produkcyjnym, wyrażonym np. w tonach, metrach, sztukach,...