

STUDIA PODYPLOMOWE

Efektywne użytkowanie energii elektrycznej

„Silniki indukcyjne wysokosprawne i energooszczędne”

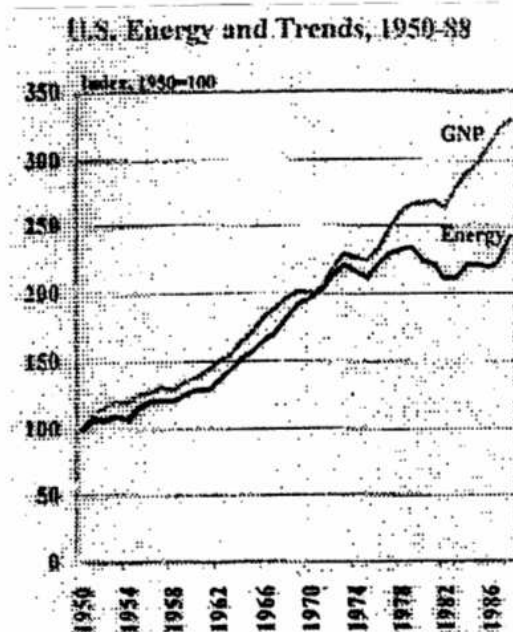
Prowadzący
dr hab. inż. Wiesław Jażdżyński, prof. n. AGH

Kraków, styczeń 2013

I. Energooszczędne napędy elektryczne

Geneza koncepcji energooszczędności

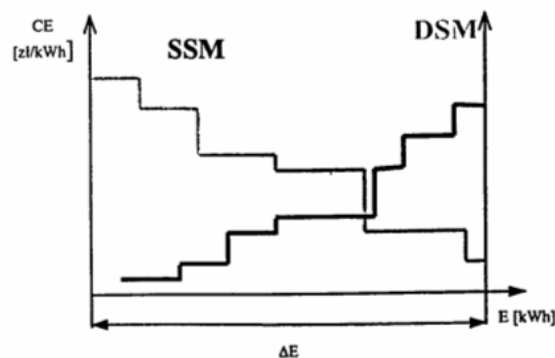
Początek działań – po kryzysie energetycznym na początku lat 70-tych ub. wieku w USA, po spostrzeżeniu, że przyrost PKB jest możliwy bez wzrostu produkcji energii elektrycznej



Wpływ kryzysu energetycznego na produkcję energii i dochód narodowy w USA na podstawie statystyki lat 1959-1990

Koncepcja planowania wg najmniejszych kosztów - (Least Cost Planning, LCP)

Efektem analizy podaży i popytu energii oraz związanego z nim Zintegrowanego Planowania Energetycznego (IRP) było powstanie koncepcji planowania LCP



Zależność ceny energii wytworzonej (strategia SSM) oraz zaoszczędzonej (strategia DSM) od zapotrzebowania na energię

Pojęcie Zintegrowanego Planowania Energetycznego (Integrated Resource Planning, - IRP)

a) zarządzanie podażą - Supply-Side Managemet (SSM)

zarządzanie produkcją i dystrybucją energii, głównie na drodze inwestycyjnej

c) zarządzanie popytem - Demand-Side Management (DSM)

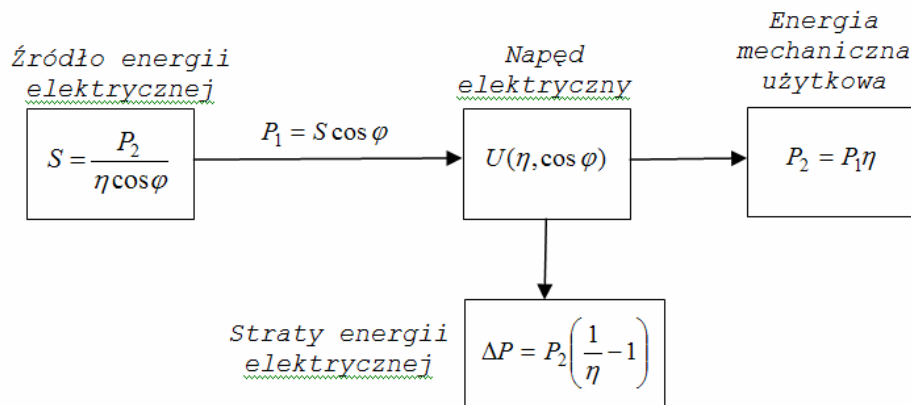
zarządzanie zasobami uwolnionymi po stronie popytu oraz procesem uwalniania zasobów; energooszczędność

efekt: uniknięcie, odsunięcie w czasie lub zminimalizowanie inwestycji po stronie podaży

Koncepcja urządzeń wysoko-sprawnych i energo-oszczędnych

w przypadku silników elektrycznych:

- a) wysokosprawne (High Efficiency Motors - HEM) - oszczędność poprzez redukcję strat energii czynnej
- b) energooszczędne (Energy Efficient Motors - EEM) - dodatkowa oszczędność energii biernej



S - moc pozorna źródła (zapotrzebowanie mocy źródła)

P_1 - dostarczona moc czynna (zapotrzebowanie mocy napędu)

P_2 - użytkowa moc mechaniczna

$\eta, \cos \varphi$ - sprawność i współczynnik mocy napędu

Koszt strat mocy czynnej $C_P = a_{cz} \left(\frac{1}{\eta} - 1 \right)$ (urządzenia wysokosprawne)

Koszt strat energii biernej $C_Q = a_b \frac{\tan \varphi}{\eta}$

Koszt eksploatacji: $C_o = C_P + C_Q$ (urządzenia energooszczędne)

Potencjał energooszczędnościowy (CSE)

- a) **techniczny** – wszystkie silniki i napędy są wymienione na energooszczędnościowe, niezależnie od względów ekonomicznych
b) **ekonomiczny** – wymiana tylko w przypadkach uzasadnionych ekonomicznie

$$CSE = \frac{(\text{koszt_implementacji}) * (\text{stopa_dyskonta})}{(\text{zaoszczędzona_energia}) * (1 - (1 + \text{stopa_dyskonta})^{-(\text{czas_zycia})})}$$

koszt implementacji = koszt sprzętu i jego instalacji

Jeżeli $CSE < (\text{koszt energii}) \Rightarrow$ wymiana jest opłacalna

Główne elementy działań:

- silniki energooszczędne, głównie indukcyjne (**HEM**)
zawsze mają potencjał ekonomiczny
- napędy ze sterowaną prędkością (**VSD**)
dla małych mocy mogą być ekonomicznie nieefektywne
- inne elementy (*dobrze projekty systemów zasilających, wysoko-sprawne urządzenia końcowe, efektywna transmisja energii, wysokiej jakości naprawy i konserwacja i.t.d.*)

Efektywne Użytkowanie Energii Elektrycznej Silniki indukcyjne wysokosprawne i energooszczędne

Prognozy zużycia energii elektrycznej w UE do 2015r

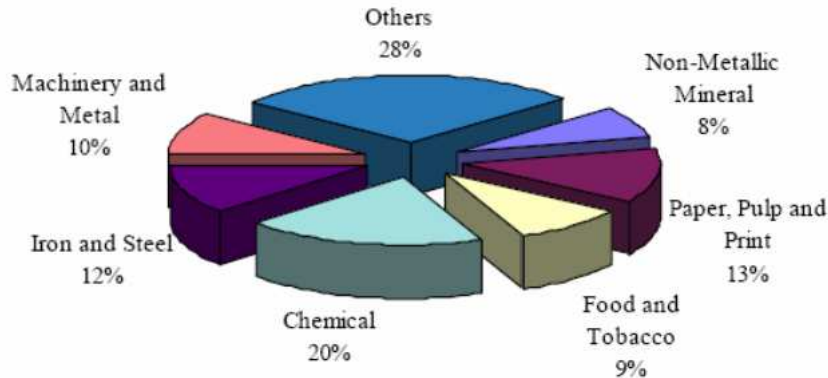
- w przemyśle (ang. Industry) – 721TWh
- w pozostałych sektorach (ang. Tertiary) – 242TWh

		EEMs	VSDs	EEMs+VSDs
Technical Potential	Industry	24.1	71.0	92.4
	Tertiary	11.5	24.6	34.7
	Total [TWh]	35.6	95.6	127.1
Economic Potential	Industry	24.1	44.9	67.3
	Tertiary	11.5	11.4	22.2
	Total [TWh]	35.6	56.3	89.5

Ogólny potencjał energooszczędnościowy w [TWh] silników HEM oraz napędów VSD w UE do 2015r.

		EEMs	VSDs	EEMs+VSDs
Technical Potential	Industry	12.0	35.5	46.2
	Tertiary	5.7	12.3	17.3
	Total [Mton]	17.8	47.8	63.5
Economic Potential	Industry	12.0	22.4	33.6
	Tertiary	5.7	5.7	11.1
	Total [Mton]	17.8	28.1	44.7

Ogólny końcowy potencjał redukcji emisji CO₂ w [MTPa] silników HEM oraz napędów VSD w UE do 2015r.

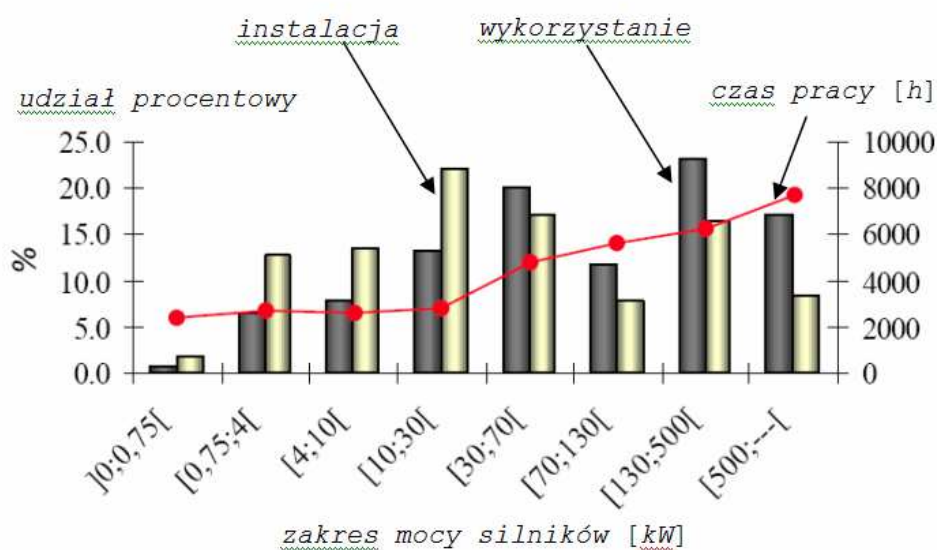


Procentowy udział sektorów przemysłowych w zużyciu energii elektrycznej w UE do 2015r

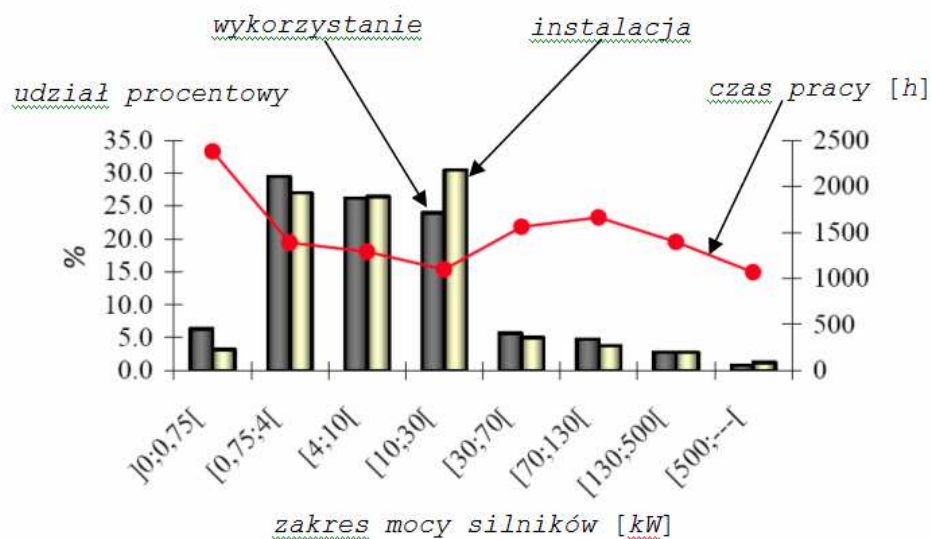


Udział silników elektrycznych w zużyciu energii elektrycznej w UE do 2015r.

Efektywne Użytkowanie Energii Elektrycznej Silniki indukcyjne wysokosprawne i energooszczędne



Moc silników zainstalowana i wykorzystana oraz ich średni czas pracy rocznej w przemyśle w UE do 2015r.



Moc silników zainstalowana i wykorzystana oraz ich średni czas pracy rocznej w pozostałych sektorach gospodarki w UE do 2015r.

Efektywne Użytkowanie Energii Elektrycznej

Silniki indukcyjne wysokosprawne i energooszczędne

Znaczenie silników indukcyjnych w przetwarzaniu energii

Tabela 1. Udział silników indukcyjnych w przetwarzaniu energii elektrycznej na mechaniczną

Źródła energii			Wykorzystanie	Udział
węgiel ropa gaz en. atomowa słońce wiatr pływy en. chemiczna	⇒	En. elektr. (E)	⇒	$\left. \begin{array}{l} \text{oświetlenie} \\ \text{grzejnictwo} \end{array} \right\} \left(\frac{1}{3}E \right)$ $\left. \begin{array}{l} \text{en.mechan.} \end{array} \right\} \left(\frac{2}{3}E \right)$ ⇒ $\left(\begin{array}{l} \text{silniki} \\ \text{elektryczne} \\ \dots \\ \text{silniki} \\ \text{indukcyjne} \\ > 50\% E \end{array} \right)$

Znaczenie koncepcji energooszczędności na przykładzie dwóch systemów pompowych, wyżej – klasycznego, sprawność 31%, oraz niżej – z napędem VSD i elementami energooszczędnymi, sprawność 72%



Silniki wysokosprawne (HEM)

uzyskanie efektu energooszczędnościowego - głównie poprzez zmniejszenie strat silnika

(silnik standardowy) => (silnik wysokosprawny)

zwiększenie sprawności (2-8)%
zwiększenie ceny (20-30)%

Efekt ekonomiczny (oszczędność w kWh) :

$$E = P_N \cdot k \cdot T \cdot \left(\frac{1}{\eta_s} - \frac{1}{\eta_E} \right) \quad [\text{kWh}]$$

P_N - moc znamionowa silnika [kW]

T - średni czas pracy silnika w roku [h]

k - średnie (w czasie T) względne obciążenie silnika w stosunku do jego mocy znamionowej

η_s - sprawność silnika standardowego

η_E - sprawność silnika energooszczędnego

Sprawność silników

Jeżeli:

P_{in} - moc czynna pobierana przez silnik

P_{out} - moc mechaniczna przekazana do urządzenia przez wał

$\Delta P = P_{in} - P_{out}$ - straty mocy czynnej całkowite w silniku

to:

albo
$$\eta = \frac{P_{out}}{P_{in}}$$

albo
$$\eta = \frac{P_{in} - \Delta P}{P_{in}}$$

albo
$$\eta = \frac{P_{out}}{P_{out} + \Delta P}$$

Do roku 2008 - brak ujednolicenia pojęcia sprawności na świecie, przykład dla 2 silników

norma	Wyznaczona sprawność [%]	
	silnik 5.5 kW	silnik 15 kW
amerykańska (IEEE - 112, metoda B)	80.3	86.9
kanadyjska (CSA C390)	80.3	86.9
międzynarodowa (IEC 34-2)	82.3	89.4
brytyjska (BS-269)	82.3	89.4
japońska (JEC-37)	85.0	90.4

Efektywne Użytkowanie Energii Elektrycznej

Silniki indukcyjne wysokosprawne i energooszczędne

Potencjał energooszczędnościowy silników wysokosprawnych (HEM)

wynika z porozumienia CEMEP – KE, w wyniku którego powstały trzy klasy silników wysokosprawnych: *eff3* (Class-III), *eff2* (Class-II), *eff1* (Class-I).
Do roku 2008

Power Level	Class-III	Class-II	Class-I
1.1	74.0	76.2	83.8
1.5	77.4	78.5	85.0
2.2	78.4	81.0	86.4
3	80.8	82.6	87.4
4	82.5	84.2	88.3
5.5	84.1	85.7	89.2
7.5	86.0	87.0	90.1
11	86.2	88.4	91.0
15	88.8	89.4	91.8
18.5	88.8	90.0	92.2
22	89.5	90.5	92.6
30	89.9	91.4	93.2
37	90.9	92.0	93.6
45	91.0	92.5	93.9
55	91.8	93.0	94.2
75	92.3	93.6	94.7
90		93.9	95.0

*minimalne wartości sprawności silników indukcyjnych
niskonapięciowych 2p=4 dla klas eff3, eff2 i eff1
w zależności od mocy znamionowej silnika [kW]*

Nowe normy

W roku 2008: IEC 60034 – 30. Edition 1.0 2008 – 10
"Rotating electrical machines – Part 30: Efficiency classes of single-speed, three-phase, cage-induction motors (IE-code)"

- IE1 – standard
- IE2 – high-efficiency
- IE3 – Premium

W roku 2010: IEC 60034-31 ed. 1 - DTS – FE

- IE4 – Super Premium

Aktualne relacje między klasami sprawności wprowadzonymi przez normy CEMEP, USA oraz IEC 60034

	CEMEP	USA	IEC 60034-30
<u>Super Premium Efficiency</u>			<u>IE4</u> <u>(IEC 60034-31)</u>
<u>Premium Efficiency</u>		<u>NEMA Premium</u>	<u>IE3</u>
<u>High Efficiency</u>	<u>Eff1</u>	<u>EPAct</u>	<u>IE2</u>
<u>Standard Efficiency</u>	<u>Eff2</u>		<u>IE1</u>
<u>Poniżej Standard Efficiency</u>	<u>Eff3</u>		

Efektywne Użytkowanie Energii Elektrycznej Silniki indukcyjne wysokosprawne i energooszczędne

Klasy *IE* sprawności Komisja Europejska wprowadziła w lipcu 2009 roku przy pomocy Rozporządzenia Nr 640/2009 w sprawie wdrażania Dyrektywy 2005/32/WE Parlamentu Europejskiego i Rady.

Rozporządzenie 640/2009 ustaliło również harmonogram zmian dotyczących podwyższania sprawności energetycznej silników elektrycznych.

W dniu 16 czerwca 2011 rozpoczął się pierwszy etap wdrażania tego harmonogramu. Jedną ze zmian było wycofanie oznaczeń „*Eff*” klas sprawności i w to miejsce wprowadzono oznaczenia *IE1-IE4*.

Rozporządzenie jest wdrażane w następujących etapach:

- Od 16 czerwca 2011 wszystkie silniki wprowadzone na rynek muszą mieć klasę sprawności co najmniej *IE2*
- Od 1 stycznia 2015 wszystkie silniki o mocy 7.5-375kW muszą mieć klasę *IE3*, lub *IE2* z bezstopniową regulacją prędkości
- Od 1 stycznia 2017 wymagania powyższe będą dotyczyły silników w przedziale mocy 0.75 - -375kW.

Norma IEC/TS 60034-31 z roku 2010 uwzględnia dobór silników wysokosprawnych stosowanych w napędach regulowanych. Jest to bardzo ważne ze względu na rosnące znaczenia tych napędów.

Efektywne Użytkowanie Energii Elektrycznej

Silniki indukcyjne wysokosprawne i energooszczędne

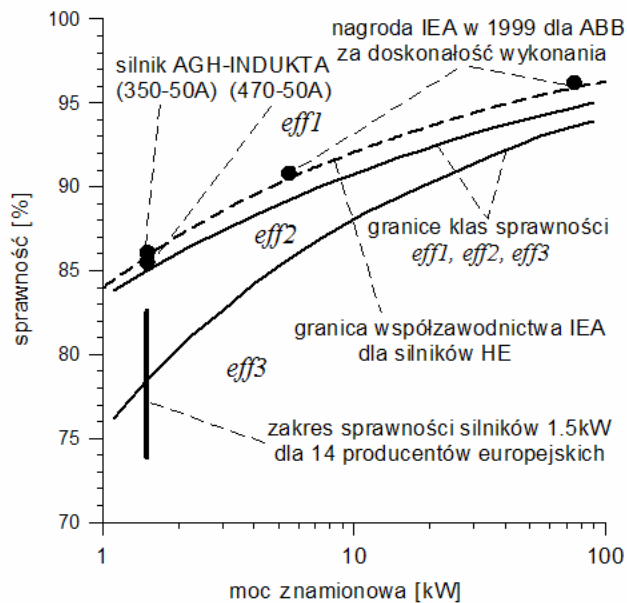
Zwiększenie sprawności w silnikach wysokosprawnych (HEM) – do roku 2008

Minimalizacja strat, np. poprzez:

a) projektowanie z wykorzystaniem metod optymalizacji

$$\min_{x \in X} C_{ma} \mid \eta_N \geq \eta_{dop}$$

C_{ma} , η_N – koszt materiałowy i sprawność znamionowa silnika, η_{dop} – z tabeli powyżej



Przykład skuteczności postępowania optymalizacyjnego dla silnika wysokosprawnego SEE90L-4 o danych: ($P_N=1.5kW$, $2p=4$, $f_N=50Hz$, $U_N=3 \times 400V$)

b) nowe materiały (odlewanie klatek wirnika z miedzi zamiast aluminium, magnesy trwałe zamiast uzwojeń, materiały amorficzne)

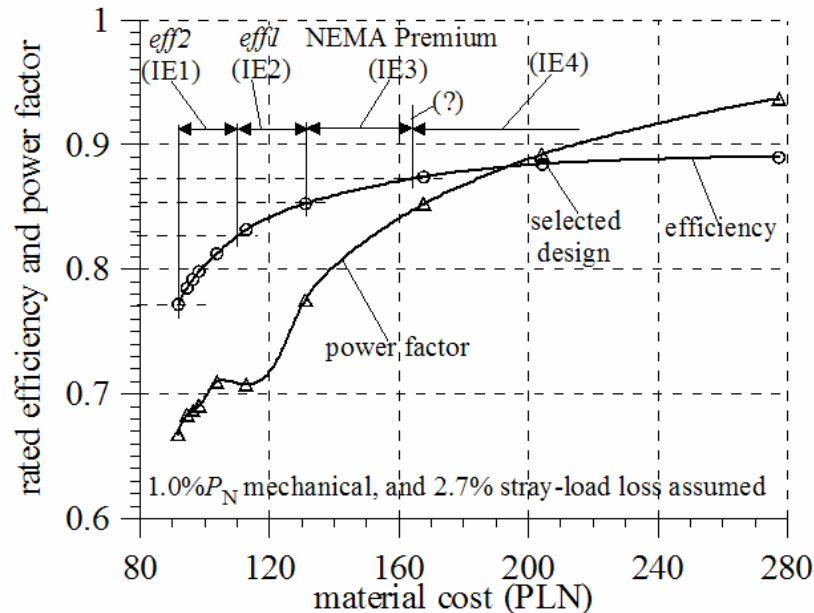


Figure 2. Cross-section (left) and complete cast copper rotor.

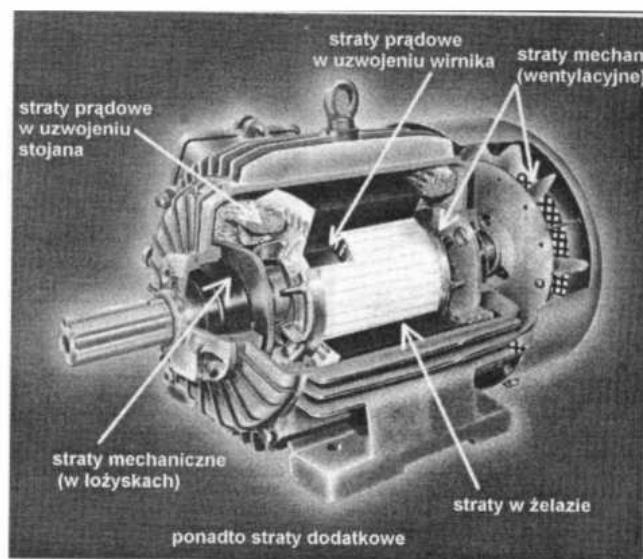
Efektywne Użytkowanie Energii Elektrycznej Silniki indukcyjne wysokosprawne i energooszczędne

- c) magnesy trwałe zamiast uzwojeń - przykład dla silnika synchronicznego z magnesami trwałymi do rozruchu bezpośredniego (ang. LSPMSM) - możliwość uzyskania silników klasy IE4.

Wynik optymalizacji wg norm po 2008r.



- d) ogólnie - redukcja źródeł strat:



$$\Delta P = \Delta P_{el,1} + \Delta P_{el,2} + \Delta P_{Fe} + \Delta P_{mech} + \Delta P_{dod}$$

1. $\Delta P_{el,1}$ - straty elektryczne w uzwojeniu stojana (nadprzewodzące ?)
2. $\Delta P_{el,2}$ - straty elektryczne w uzwojeniu wirnika (LSPMSM ?)
3. ΔP_{Fe} - straty w rdzeniu stojana i wirnika (mat. amorficzne ?)
4. ΔP_{mech} - straty mechaniczne (łożyska (magnetyczne?) + wentylacja)
5. ΔP_{dod} - straty dodatkowe (redukcja miejsc z dużą gęstością energii)

Fakultatywne i obligatoryjne programy oszczędzania energii w napędach elektrycznych

- fakultatywne - zachęcanie do zastosowania napędów energooszczędnych poprzez wykazanie korzyści finansowych
- obligatoryjne - nakaz administracyjny
- mała skuteczność programów fakultatywnych
 - tylko potencjał ekonomiczny
 - duży okres zwrotu nakładów inwestycyjnych
 - relatywnie wysoka cena przekształtników

Ameryka Północna

- programy obligatoryjne - potencjał ekonomiczny & techniczny
- USA - od 24 października 1997r. nakaz administracyjny bazujący na Energy Policy Act (EPAct'92) z 1992r. (wszystkie silniki trójfazowe ogólnego przeznaczenia muszą być energooszczędne - sprawność i sposób jej wyznaczenia w normach)
- Kanada - podobnie jak w USA

Unia Europejska

- 1999 - porozumienie KE-CEMEP
 - o KE - Komisja Europejska
 - o CEMEP - (Europejskie Stowarzyszenie Producentów Maszyn Elektrycznych i Energoelektroniki)
 - o Grupa WG2
- Trzy klasy sprawności dla silników (1.1-90) kW
 - o USA - Premium NEMA (sprawność wyższa od eff1)
 - o eff1 - silniki o bardzo dużej sprawności (premium high-efficiency)
 - o eff2 - silniki o wysokiej sprawności (high-efficiency)
 - o eff3 - silniki standardowe
- System fakultatywno/obligatoryjny
Uczestnicy porozumienia byli zobowiązani do zmniejszenia produkcji silników klasy eff3 o 30% do 2001, oraz o 50% do 2003r.

Polska

- program PEMP przy wsparciu Unii Europejskiej : Polski Program Efektywnego Wykorzystania Energii w Napędach Elektrycznych (PEMP - Polish Energy Efficient Motor Programme)
- istnienie warunków technicznych i legislacyjnych
- Napędy proste (bez regulacji prędkości)
 - o produkcja tzw. europejskiej serii silników o wysokiej sprawności typu SEE (fabryki Grupy Elektrim Motor,)(zgodne z ustaleniami EPAct'92 oraz KE-CEMEP)
 - o Polska Norma PN-E-06741: 1998, Maszyny elektryczne wirujące: silniki indukcyjne o wysokiej sprawności. Wymagania i badania.
 - o Ustawa „Prawo Energetyczne” Dz. Ust. RP z dnia 4 czerwca 1997 + rozporządzenie Ministra Gospodarki dotyczące wymaganej efektywności energetycznej (sprawności) wybranych wyrobów wprowadzanych do obrotu
 - o (aktualne wydanie - do silników standardowych, ale nie ma przeszkód formalno-prawnych do nowelizacji)
- Napędy regulowane VSD - nie przewiduje się uruchomienia ogólnych programów oszczędzania energii - decyzje indywidualne

Efektywne Użytkowanie Energii Elektrycznej

Silniki indukcyjne wysokosprawne i energooszczędne

Fakultatywne i obligatoryjne metody promowania rozwiązań energooszczędnych, np. w Polsce program dopłat PEMP sponsorowany przez UE

TABELA WYSOKOŚCI DOPŁAT DO SILNIKÓW WYSOKOSPRAWNYCH OBJĘTYCH PROGRAMEM PEMP

Moc silnika (Pn)	Minimalna sprawność przy 2p=2	Minimalna sprawność przy 2p=4	Wysokość Dopłaty	Liczba silników objętych programem
kW	η_e / % /	η_e / % /	USD	szt.
0.75	80.00	81.00	16	
1.10	82.80	83.80	17	
1.50	84.10	85.00	18	
2.20	85.60	86.40	20	
3.00	86.70	87.40	25	
4.00	87.60	88.30	35	
5.50	88.50	89.20	47	
7.50	89.50	90.10	52	
Ilość silników w przedziale mocy od 0,75 do 7,5 kW				39 518
11.00	90.50	91.00	71	
15.00	91.30	91.80	82	
18.50	91.80	92.20	90	
22.00	92.20	92.60	120	
30.00	92.90	93.20	248	
37.00	93.30	93.60	275	
Ilość silników w przedziale mocy od 11 do 37 kW				2 629
45.00	93.70	93.90	330	
55.00	94.00	94.20	360	
75.00	94.60	94.70	400	
90.00	95.00	95.00	420	
110.00	95.20	95.20	440	
132.00	95.40	95.40	450	
160.00	95.60	95.80	490	
Ilość silników w przedziale mocy od 45 do 160 kW				455
Łączna ilość silników objęta programem PEMP			42 602	

CENY SILNIKÓW STANDARDOWYCH (*eff2*)– LUTY 2006:

Sq112M-4	4,0	"	467	565
Sq132S-4	5,5	"	562	681
Sq132M-4	7,5	"	659	798
Sq160M-4	11,0	"	1150 (1120)	1303 (1270)
Sq160L-4	15,0	"	1319 (1220)	1493 (1380)
Sq180M-4	18,5	"	2033 (1865)	2300 (2110)

Efektywne Użytkowanie Energii Elektrycznej

Silniki indukcyjne wysokosprawne i energooszczędne

Przykład wyznaczenia okresu zwrotu kosztu dodatkowego dla silnika wysokosprawnego Sg132M-4 o mocy 7.5kW (planowanie nowej inwestycji) z wykorzystaniem systemu dopłat

a) bez dopłaty

$\eta_s=0.870$	- sprawność silnika standardowego eff2
$\eta_E=0.901$	- sprawność silnika wysokosprawnego eff1
$T=8600$ h/rok	- praca ciągła (np. pompa)
$k=0.75$	- stopień obciążenia
$P_N = 7.5$ kW	- moc znamionowa
$C_{en.cz.}=0.2$ zł/kWh	- cena 1 kWh energii czynnej
$C_S=659$ zł	- cena silnika standardowego
$C_E=1.3C_S$	- cena silnika energooszczędnego

$$n[\text{mies}] = 12 \cdot \frac{C_E - C_S}{C_{en.cz.} \cdot P_N \cdot k \cdot T \cdot \left(\frac{1}{\eta_s} - \frac{1}{\eta_E} \right)} =$$
$$= 12 \cdot \frac{0.3 \cdot 659}{0.2 \cdot 7.5 \cdot 0.75 \cdot 8600 \cdot \left(\frac{1}{0.870} - \frac{1}{0.901} \right)} = 6.2 \text{ mies}$$

b) z rabatem wg PEMP - 52USD $\approx$ 150zł $\Rightarrow$

$$n[\text{mies}] = 12 \cdot \frac{0.3 \cdot 659 - 150}{0.2 \cdot 7.5 \cdot 0.75 \cdot 8600 \cdot \left(\frac{1}{0.870} - \frac{1}{0.901} \right)} \approx 1.5 \text{ mies}$$

Elementy napędu ze sterowaną prędkością (ang. Variable Speed Drive, VSD)

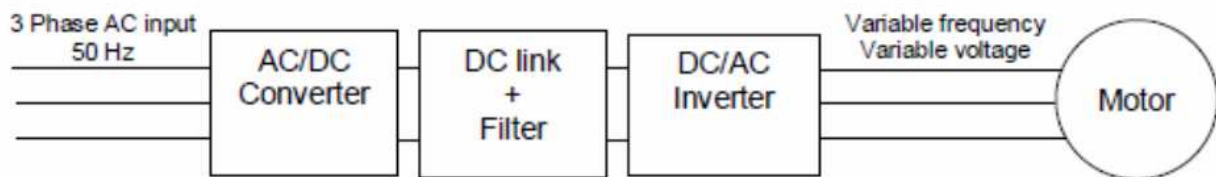
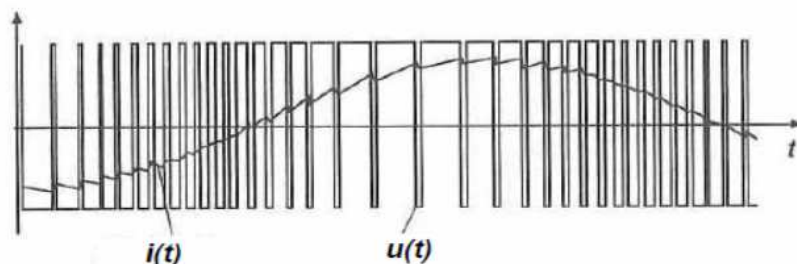


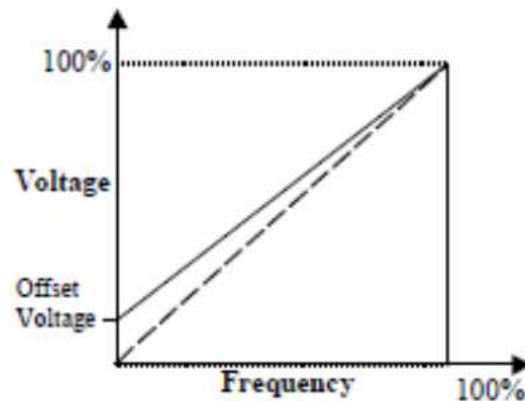
Figure 1.6 - General Configuration of Inverter Based VSDs.

Idea falownikowego sterowania silnikiem indukcyjnym (układ otwarty):

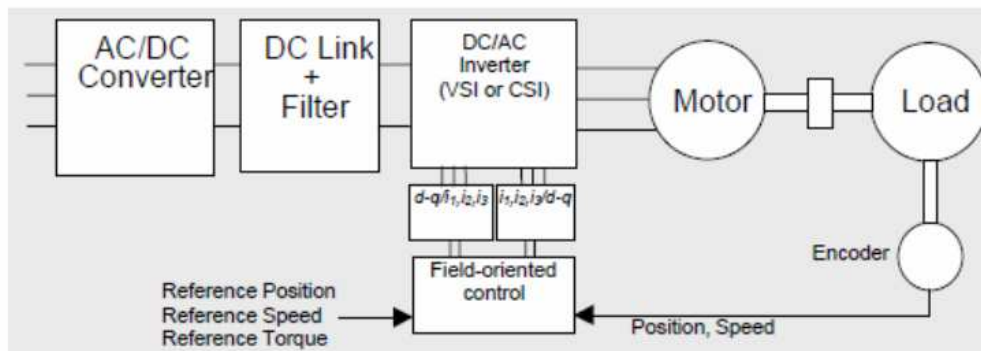


Najczęściej stosowany sposób generowania fali sinusoidalnej: sterowanie szerokością impulsu (ang. Pulse Width Modulation (PWM) technique)

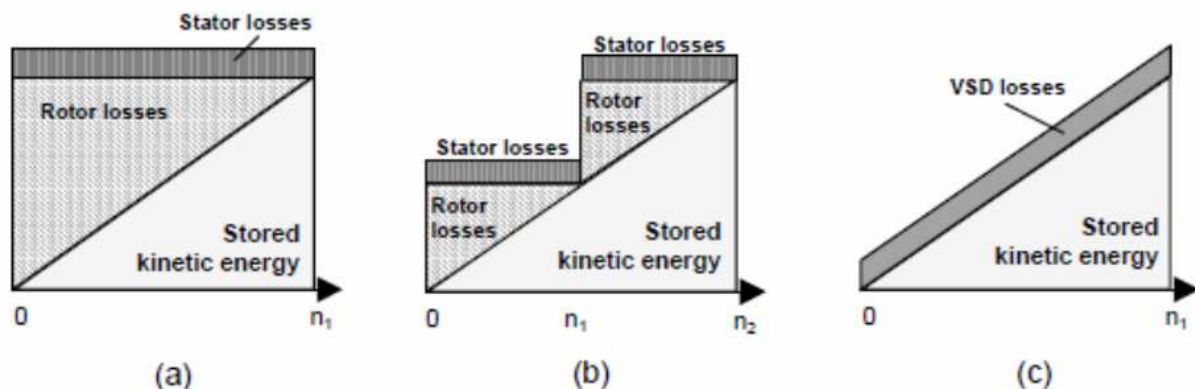
Efektywne Użytkowanie Energii Elektrycznej Silniki indukcyjne wysokosprawne i energooszczędne



Idea sterowania prędkością obrotową w zakresie zmian $[0 - n_N]$:
 prędkość obrotowa = $c \cdot \text{Frequency}$
 Voltage – napięcie skuteczne zasilające silnik



Układ zamknięty wektorowego sterowania silnikiem indukcyjnym:



Oszczędność energii (redukcja strat, „losses”) w VSD w czasie rozruchu (również układy soft-startu):

- zwykły silnik
- silnik ze zmianą liczby biegunów
- silnik w napędzie VSD

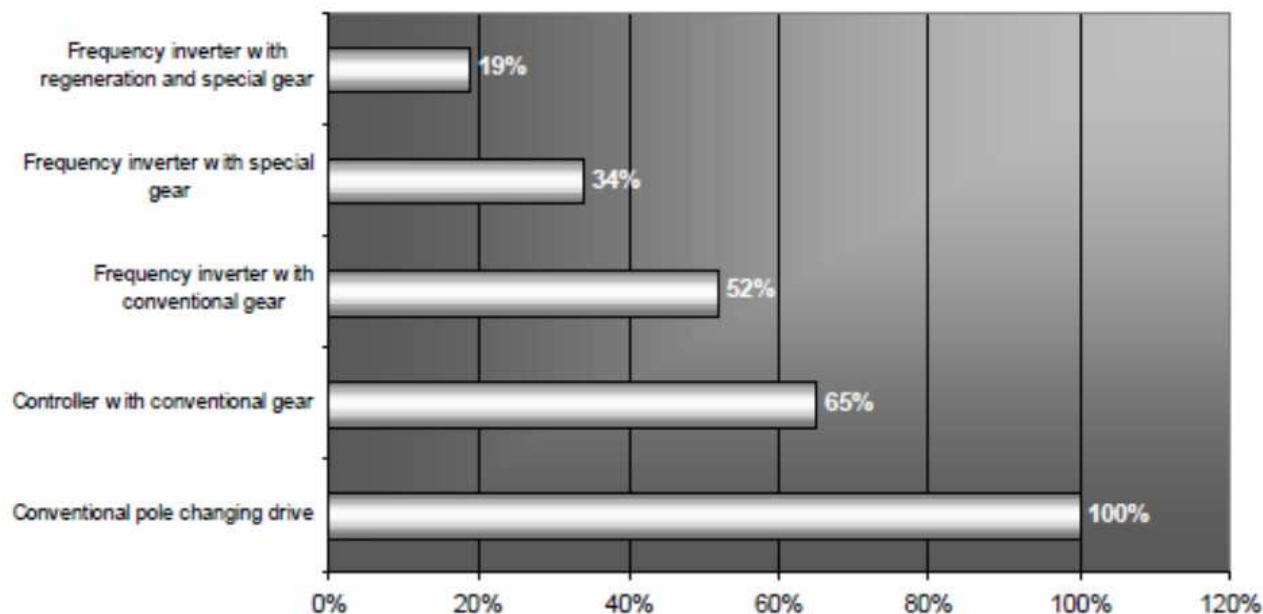
(“Stored kinetic energy” = $J(d\omega/dt)$ (energia kinetyczna wirujących części napędu)

Stator losses, Rotor losses – starty w stojanie i wirniku

VSD losses – straty napędu VSD

Efektywne Użytkowanie Energii Elektrycznej Silniki indukcyjne wysokosprawne i energooszczędne

Przykład możliwości oszczędności energii w napędzie windy:



Potencjał energooszczędnościowy napędów ze sterowaną prędkością (VSD)

Możliwości oszczędności energii są większe niż w przypadku samych silników, ale zależą od rodzaju obciążenia. Z tego względu czasem nie można stosować.

Analizy syntetyczne na zlecenie UE wykonano przy założeniach:

VSDs	Average Savings %	Applicability %	Already Applied %	Technical Potential %
Pumps	35	60	9	51
Fans	35	60	7	53
Air Compressors	15	30	5	25
Cool Compressors	15	40	4	36
Conveyors	15	60	8	52
Other Motors	15	60	5	55

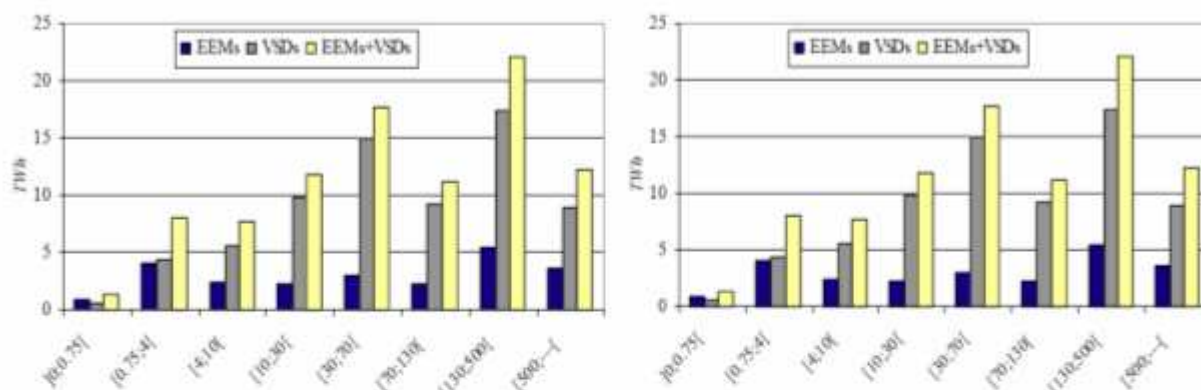
| przyjęte założenia do określenia oszczędności w przemyśle

VSDs	Non-Metallic Minerals	Paper and Cardboard	Food, Beverage and Tobacco	Basic Chemistry	Machinery and Metal	Iron and Steel
Pumps	36	38	26	37	27	32
Fans	39	35	34	40	28	38
Air Comp	19	18	15	19	13	18
Cool Comp	0	27	18	27	0	27
Conveyors	15	33	0	18	0	13
Other Motors	36	41	25	40	0	39

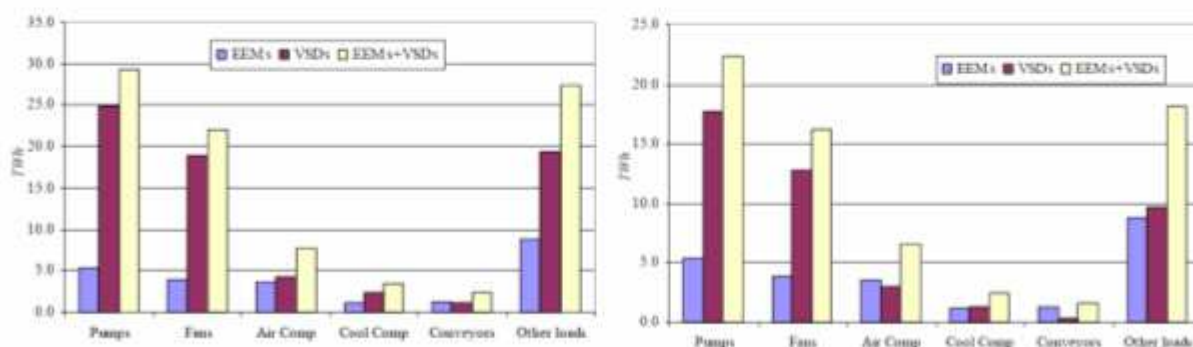
procentowa ilość silników w sektorach gospodarki, w których zastosowanie VSD jest uzasadnione ekonomicznie

Efektywne Użytkowanie Energii Elektrycznej Silniki indukcyjne wysokosprawne i energooszczędne

Potencjał energooszczędnościowy silników wysokosprawnych oraz napędów VSD w przemyśle



techniczny
ekonomiczny
 potencjał energooszczędnościowy w przemyśle w UE w 2015r
w zależności od mocy zainstalowanych silników



techniczny
ekonomiczny
 potencjał energooszczędnościowy w przemyśle w UE w 2015r
w zależności od rodzaju napędu

Efektywne Użytkowanie Energii Elektrycznej Silniki indukcyjne wysokosprawne i energooszczędne

-
5. W. Jazdzyński . „**Ocena efektów ekonomicznych stosowania optymalizacji w konstrukcji silników indukcyjnych powszechnego użytku i energooszczędnych**”. Wiadomości Elektrotechniczne, 1999, nr.6, str. 294-300
 6. W. Jazdzynski. „**Some economic aspects of designing optimal energy-efficient and high-efficiency induction motors**”. Proceedings of the International Conference on Electrical Machines ICEM 2002, vol. 3, Brugge, Belgium, 25-28 August 2002, p.472 in Abstracts, CD-ROM issue.
 7. W. Jazdzynski, M. Bajek: Modeling and Bi-Criterial Optimization of a Line Start Permanent Magnet Synchronous Machine to Find an IE4 Class High-Efficiency Motor. Proceedings of the International Conference on Electrical Machines, ICEM 2010, Rome, Italy, September 6-8, 2010, paper RF-002232, pp.1-6, CD-ROM issue.
 8. Jazdzyński, W. „**Multicriterial optimisation of squirrel-cage induction motor design**”. Proc.IEE, Pt.B, 1989, 136, s.299-307
 9. W. Jazdzyński. **Energooszczędne silniki i napędy elektryczne**”. W zeszycie nr 40 p.t. „Zasady audytu efektywności energetycznej budynków”, wrzesień 2012, dodatek do miesięcznika „INPE” SEP, COSiW SEP Zakład Wydawniczy „INPE” w Bełchatowie.
 10. Jazdzyński W. **Opracowania własne**.