

## Badania i ocena wskaźnika energochłonności pomp obiegowych

### Investigations and assessment of circulating pumps energy efficiency index

Według danych przewodnika [1] stworzonego w wyniku współpracy pomiędzy *Hydraulic Institute (NY, USA)*, *Europump* i *Biurem Technologii Przemysłowych (OIT) Departamentu Energetyki Rządu USA*, układy pompowe pobierają prawie 20% światowej produkcji energii elektrycznej, z czego 25-50% energii jest zużywane w szczególnych przypadkach przemysłowych instalacji pompowych.

Wielkość zużywanej energii zależy od dobranej pompy, układu pompowego i sposobu jego użytkowania. Parametry tych elementów nie są niezależne. Jeśli nie są właściwie dopasowane powodują podwyższone koszty energii i obsługi urządzeń.

Koszty energii według różnych źródeł [1,2] mogą przekraczać 90% całkowitych kosztów „życia” pompy, łącznie z kosztem zakupu – są więc decydujące.

Szczególnie duży udział w krajach UE w zużyciu energii przez pompy mają małe pompy obiegowe. Zużywają one około 40 TWh energii elektrycznej rocznie. Poprawa efektywności energetycznej tych pomp bezpośrednio przekłada się na wzrost tej efektywności układów, w których są one stosowane, przede wszystkim w gospodarce komunalnej.

W celu poprawy efektywności energetycznej i ekologiczności produktów na rynku EU w 2009 została wprowadzona ramowa dyrektywa ErP [3] ustalająca wymogi ekoprojektu w odniesieniu do produktów wykorzystujących energię. W ramach rozporządzeń wykonawczych zostały wprowadzone w zakresie pomp i napędów:

- Rozporządzenie Komisji Europejskiej (EC) nr 641/2009, dotyczące wymogów ekoprojektu dla pomp obiegowych [4] (wskaźnik EEI);
- Rozporządzenie Komisji Europejskiej (EC) nr 640/2009 dotyczące wymogów ekoprojektu dla silników elektrycznych [5];
- Rozporządzenie Komisji Europejskiej (EC) nr 547/2012 dotyczące wymogów ekoprojektu dla pomp do wody [6];
- w przypadku pomp do wody czystej, o temperaturze niższej od 120°C, wskaźnikiem określającym efektywność energetyczną jest MEI (Minimum Efficiency Index) [6].

W przygotowaniu są wskaźniki dla innych, szeroko stosowanych pomp średniej i dużej mocy (np. pomp ściekowych).

#### Wymagania i metodyka obliczania efektywności energetycznej pomp obiegowych

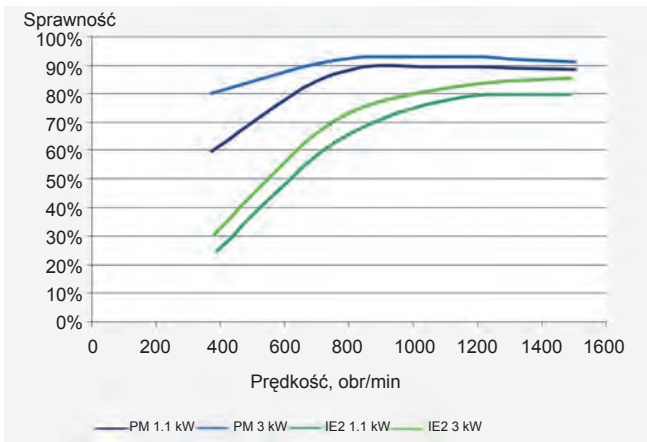
Używane w obiegach cieplnych pompy obiegowe w ciągu ostatnich kilkunastu lat zaczęły być masowo wyposażane w przemienniki częstotliwości. Ze względu na większą niezawodność i cichszą pracę zaczęły też dominować pompy bezdławnicowe z wirnikiem pompy montowanym na wspólnym wale z rotorem silnika. Rozporządzenie [4], stosując koncepcję rozszerzonego produktu (*Extended Product Approach*), uwzględniło ten stan i wprowadziło ocenę nie samej pompy, ale całego zespołu łącznie z urządzeniem regulującym prędkość. Jako kryterium został wprowadzony wskaźnik energochłonności (EEI), stosowany też w przypadku innych urządzeń pobierających energię elektryczną i zastępujący określane wg niejednoznacznych zasad dobrowolne klasy energetyczne [14].

Związany z tymi regulacjami postęp w zakresie zmniejszenia energochłonności zespołów pompowych odbył się w ostatnich latach nie poprzez bardziej sprawne wirniki pomp, gdzie możliwości poprawy są bardzo małe, lecz poprzez inteligentne sterowanie i bardziej sprawne napędy. Rozporządzenie [5] dotyczące indukcyjnych silników elektrycznych podniosło wymagania dotyczące ich sprawności i narzuciło terminarz zmian.

Od czerwca 2011 r. silniki indukcyjne muszą odpowiadać co najmniej klasie sprawności IE2. Od 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 sterownik bezstopniowy. Od stycznia 2017 r. wszystkie silniki o mocy znamionowej w granicach 0,75-375 kW muszą odpowiadać co najmniej klasie sprawności IE3.

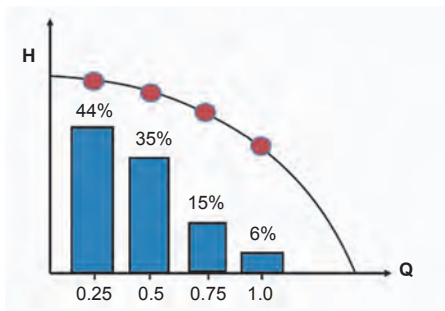
Jako alternatywa dla silników indukcyjnych pojawiły się bezszczotkowe silniki synchroniczne na magnesy trwałe (PM). Na rysunku 1 pokazano porównanie sprawności silników indukcyjnych z silnikami z magnesami trwałymi.

W zakresie dużych prędkości przewaga sprawności silników z magnesami trwałymi wynosi około 10%, a w miarę obniżania prędkości wyraźnie rośnie. To jest powodem coraz powszechniejszego stosowania tych silników do napędu pomp obiegowych.



Rys. 1. Porównanie sprawności silników indukcyjnych i z magnesem trwałym [11]

Przy ocenie energetycznej zespołu pompowego istotne znaczenie ma fakt, że EEI jest tworzone na podstawie rozkładu wydajności pompy w trakcie eksploatacji, a nie jednego – zwykle optymalnego - punktu pracy. W czasie eksploatacji pompa obiegowa pracuje ze zmienną wydajnością. Na użytek Rozporządzenia [4] podzielono cały zakres pracy na cztery przedziały (rys. 2).



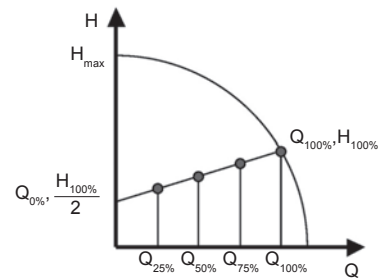
Rys. 2. Rozkład typowych obciążeń dla pomp obiegowych [10]

Na podstawie uśrednionych danych statystycznych opracowano uproszczony rozkład obciążeń pokazany na rysunku 1. Zgodnie z tym rozkładem przedstawiono metodykę obliczania EEI [4]. W przygotowaniu jest komplet norm [7-9] określających bardziej szczegółowo metodykę obliczeń.

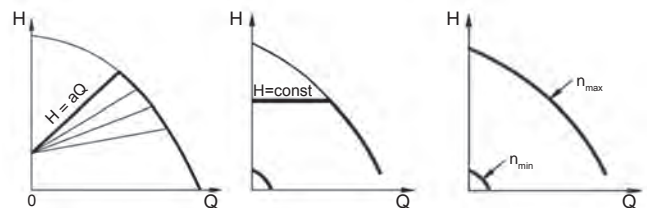
Jako podstawę do obliczeń przyjęto referencyjną krzywą kontrolną (rys.3) zdefiniowaną jako linia prosta między punktami: ( $Q_{100\%}$ ,  $H_{100\%}$ ) oraz ( $Q_0$ ,  $H_{100\%}/2$ ). Punkty te określono uwzględniając punkt optymalny mocy hydraulicznej, oznaczony indeksem 100%.

Przy obliczaniu EEI badana charakterystyka pracy jest odnoszona do tej charakterystyki referencyjnej. Sposób określania wskaźnika EEI w przypadku małych pomp obiegowych jest analogiczny do stosowanego w odniesieniu do powszechnie używanego sprzętu AGD (pralki, lodówki itp.).

Rozporządzenie [3] zostawia dowolność wyboru trybu pracy, a stąd charakterystyki, dla której obliczany jest wskaźnik energochłonności. W pompach obiegowych standardem są trzy tryby pracy możliwe do wybrania w trakcie eksploatacji i stąd różne typy charakterystyk pracy: proporcjonalna, stałociśnieniowa i ze stałą prędkością obrotową (rys. 4).



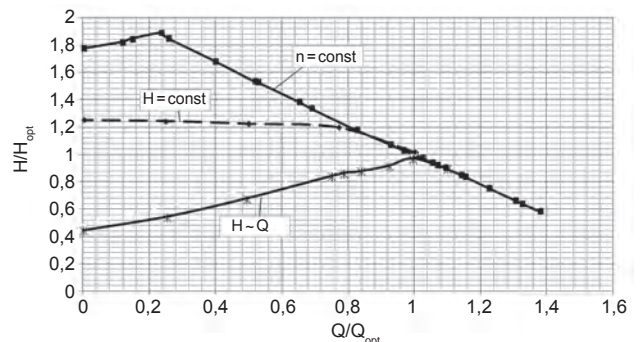
Rys. 3. Przykład referencyjnej krzywej kontrolnej



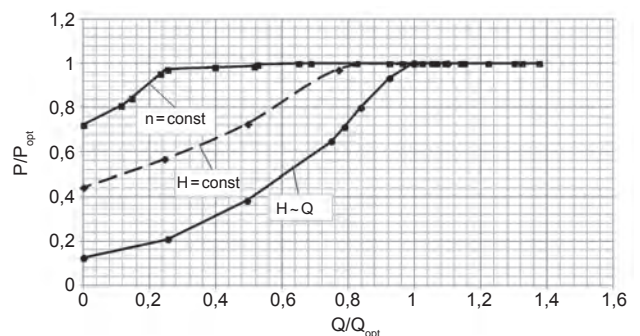
Rys. 4. Różne tryby pracy pomp obiegowych

### Analiza porównawcza wskaźników EEI jednej pompy podczas różnych trybów pracy

Na podstawie badań wykonanych w Instytucie Techniki Ciepłej PW na rysunkach 5 i 6 zostały przedstawione charakterystyki pracy jednej pompy obiegowej o wyróżniku szybkobieżności  $n_q = 32$  dla trzech różnych trybów pracy: o stałych obrotach ( $n = \text{const}$ ), o stałej wysokości podnoszenia ( $H = \text{const}$ ) i proporcjonalnej ( $H \sim Q$ ).



Rys. 5. Charakterystyki przepływowe dla trzech trybów pracy badanej pompy



Rys. 6. Charakterystyki mocy dla trzech trybów pracy badanej pompy

Sprawność badanej pompy we wszystkich trzech trybach pracy tylko nieznacznie się różniła osiągając w punkcie optymalnym niemal jednakową wartość.

Na podstawie wytycznych podanych w Rozporządzeniu Komisji (WE) nr 641/2009 [4], na podstawie pomiarów, zostały obliczone wskaźniki energochłonności dla każdego z trybów pracy pompy. Wyniki zostały przedstawione w tabeli 1.

**Tabela 1**

Wartości wskaźnika energochłonności dla trzech różnych charakterystyk pracy jednej pompy obiegowej

	const	const H	prop. H
EEl	0,43	0,32	0,20

Tabela 1 pokazuje, że wzrost efektywności energetycznej odbywa się nie przez przyrost sprawności pompy (niemal jednakowej w każdym z trybów), lecz bardziej efektywne sterowanie. Charakterystyka proporcjonalna jest najbardziej zbliżona do charakterystyki układu i pozwala na największe oszczędności energii. Najnowsze rozwiązania w dziedzinie pomp obiegowych pozwalają na zadawanie charakterystyki ich pracy programowo, co umożliwi jeszcze większe przybliżenie się do charakterystyki układu i zmniejszenie wartości EEl.

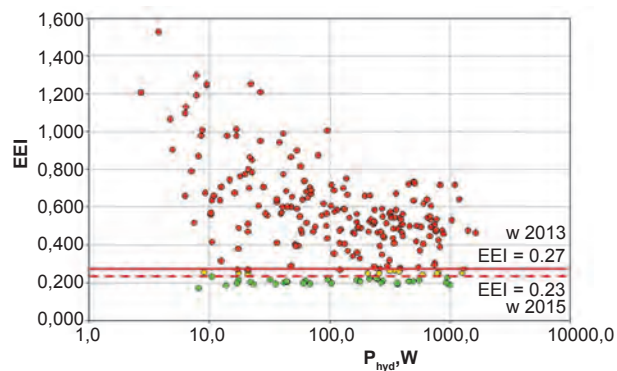
Bardzo podobne wyniki wskaźnika EEl do podanych w tabeli 1 uzyskano w wyniku analizy pompy obiegowej innego producenta [13], co potwierdza zależność tego wskaźnika wyłącznie od sposobu regulacji, a nie od sprawności zespołu pompowego.

W ofercie rynkowej producent bądź dystrybutor pomp obiegowych podają najniższą wartość wskaźnika EEl odpowiadającą zwykle trybowi proporcjonalnemu pracy. Kupiona i zainstalowana pompa nie musi jednak pracować w najmniej energochłonnym trybie. W zależności od wymagań instalacji może pracować w którymś z trybów bardziej energochłonnych. To pokazuje, że ocena samej pompy bez oceny całego układu pompowego jest niepełna i niekoniecznie wymusza najniższe zużycie energii.

Panel dyskusyjny podczas sesji poświęconej efektywności energetycznej zespołów pompowych w trakcie konferencji [15] zorganizowanej przy współudziale przedstawicieli EuP/ErP również potwierdził, że przyszłe działania regulacyjne Komisji Europejskiej będą musiały objąć cały układ pompowy, a nie wyizolowaną pompę z napędem i urządzeniem regulacyjnym.

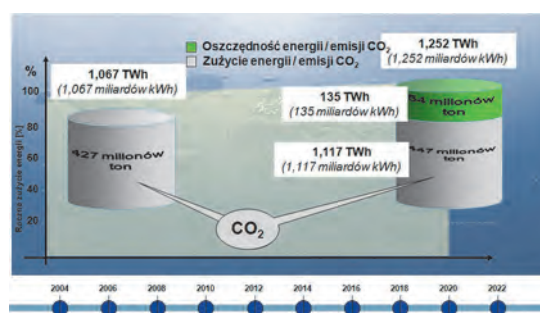
## Planowane zmiany na rynku pomp obiegowych

Rozporządzenie [4] wprowadza terminarz obowiązujących zmian dotyczących możliwości wprowadzania pomp obiegowych na rynek wewnętrzny. I tak, od stycznia 2013 r. bezdławnicowe, wolno stojące pompy obiegowe, z wyłączeniem projektowanych do głównych obiegów w układach kolektorów słonecznych oraz do pomp układów grzewczych, posiadać muszą wskaźnik energochłonności nie większy niż 0,27, zaś od sierpnia 2015 r. dopuszczone do sprzedaży, bezdławnicowe, wolno stojące pompy obiegowe oraz bezdławnicowe pompy obiegowe zintegrowane z innymi produktami posiadać będą wskaźnik energochłonności o wartości nie większej niż 0,23. Prognozuje się, że powinno to doprowadzić do usunięcia z rynku (rys. 7) większości pomp obiegowych o niskiej efektywności energetycznej.



Rys. 7. „Odciecie” pomp obiegowych, ze względu na prawodawstwo Unii Europejskiej [12]

Prognozuje się, że spowoduje to zmiany w zakresie zużycia i redukcji energii elektrycznej, a co za tym idzie CO<sub>2</sub> (rys. 8).



Rys. 8. Przewidywane skutki wprowadzenia dyrektywy ramowej wraz z rozporządzeniem [4] w latach 2004–2022

## Podsumowanie

Ciągły postęp w dziedzinie pomp obiegowych doprowadził do sytuacji, iż możliwości poprawy ich sprawności stały się bardzo niewielkie. Jednocześnie pojawienie się tanich układów regulacji i nowoczesnych silników o wysokich sprawnościach pozwoliło na poprawę efektywności energetycznej całego zespołu pompowego pracującego ze zmienną prędkością obrotową przy różnych wydajnościach i wymaganych ciśnieniach.

Wprowadzone wymagania dotyczące wskaźnika energochłonności (EEl) takich zespołów pompowych [4] wynikają z kompleksowego traktowania produktu, jakim jest pompa obiegowa.

W artykule pokazano na podstawie własnych badań, że obniżenie wskaźnika energochłonności jest możliwe przez prowadzenie inteligentnej regulacji pompy, która przy jej braku nie spełniałaby wymagań rozporządzenia UE [4].

Jednocześnie została poruszona kwestia możliwej rozbieżności między trybem pracy pompy w układzie pompowym a trybem pracy, dla którego określony został wskaźnik energochłonności.

Usunięcie tej rozbieżności, jak to zostało zasygnalizowane, jest możliwe tylko przez kompleksową ocenę energetyczną całego układu pompowego, a nie jej wyróżnionego fragmentu.

## PIŚMIENICTWO

- [1] Pump Life Cycle Costs: A Guide to LCC Analysis for Pumping Systems - DOE/GO-102001-1190, 2001.
- [2] Energy Efficiency Best Practice Guide - Pumping Systems, Sustainability Victoria, 2009.
- [3] Dyrektywa Parlamentu Europejskiego i Rady 2009/125/WE ustanawiająca ogólne zasady ustalania wymogów dotyczących ekoprojektu dla produktów związanych z energią.
- [4] Rozporządzenie Komisji (WE) Nr 641/2009 w sprawie wykonania dyrektywy 2005/32/WE Parlamentu Europejskiego i Rady w odniesieniu do wymogów dotyczących ekoprojektu dla pomp cyrkulacyjnych bezdławnicowych wolno stojących i pomp cyrkulacyjnych bezdławnicowych zintegrowanych z produktami.
- [5] Rozporządzenie Komisji (WE) Nr 640/2009 w sprawie wykonania dyrektywy 2005/32/WE Parlamentu Europejskiego i Rady w odniesieniu do wymogów dotyczących ekoprojektu dla silników Elektrycznych.
- [6] Rozporządzenie Komisji (WE) Nr 547/2012 w sprawie wykonania dyrektywy Parlamentu Europejskiego i Rady 2009/125/WE w odniesieniu do wymogów dotyczących ekoprojektu dla pomp do wody.

- [7] Projekt EN 16297-1 Pumps - Rotodynamic pumps - Glandless circulators - Part 1: General requirements and procedures for testing and calculation of energy efficiency index (EEI)
- [8] Projekt EN 16297-2 Pumps - Rotodynamic pumps - Glandless circulators - Part 2: Calculation of energy efficiency index (EEI) for standalone circulators
- [9] Projekt EN 16297-3 Pumps - Rotodynamic pumps - Glandless circulators - Part 3: Energy efficiency index (EEI) for circulators integrated in products
- [10] Ennenbach F., Pump Efficiency Program - Europump-HI, 2012.
- [11] Systematic energy savings – Danfoss, 2011.
- [12] Bidstrup N., Założenia i stan wdrożeń dyrektywy Ecodesign dla Pomp. Forum Pompowe, Szczyrk 2012.
- [13] Karaśkiewicz K., Narzędzia unijne dla poprawy efektywności energetycznej pomp cyrkulacyjnych. *Pompy Pompownie* 2012, nr 4(147), s. 30-31.
- [14] Świtalski P., Jędral W., Kryteria jakości pomp wirowych. *Pompy Pompownie* 2012, nr 4(147), s. 32-35.
- [15] International Rotating Equipment Conference – Pumps and Compressors, Dusseldorf 2012.



www.energoelektronika.pl  
WORTAL BRANŻOWY

## Regionalne Seminaria / Szkolenia dla Służb Utrzymania Ruchu

2013

21.02.2013 - Kraków  
28.03.2013 - Stalowa Wola  
18.04.2013 - Wałbrzych  
23.05.2013 - Rzeszów  
20.06.2013 - Trójmiasto  
10.10.2013 - Bydgoszcz  
04.12.2013 - Warszawa



Jeżeli jesteś zainteresowany uczestnictwem w Seminarium, zaprezentowaniem produktu lub nowego rozwiązania napisz do nas: [marketing@energoelektronika.pl](mailto:marketing@energoelektronika.pl)  
Energoelektronika.pl tel. (+48) 22 70 35 291

Partnerzy:



Ilość miejsc ograniczona