

TOMASZ KOTLICKI\*

Politechnika Łódzka  
Instytut Elektroenergetyki

## Poprawa efektywności energetycznej w układzie potrzeb własnych bloku energetycznego dużej mocy

Poprawa efektywności energetycznej elektrowni polega na ograniczeniu zużycia energii elektrycznej w układach potrzeb własnych. Urządzenia tam pracujące są napędzane silnikami indukcyjnymi klatkowymi o mocach dochodzących do kilkunastu megawatów. Zmniejszenie zużycia energii elektrycznej przez te napędy jest możliwe poprzez m.in.: optymalny dobór nowoczesnych silników (obciążenie znamionowe, napięcie zasilania) oraz stosowanie zaawansowanych układów regulacji wydajności (w tym napędy zmiennoprędkościowe), dostosowanych do rytmu pracy bloku energetycznego. Poprawa efektywności energetycznej jest obecnie jednym z celów strategicznych rozwoju Unii Europejskiej i *de facto* obowiązkiem dla przedsiębiorstw. W artykule przedstawiono wyliczenia oszczędności energii wynikające z zastosowania różnych wariantów regulacji wydajności w odniesieniu do głównych urządzeń potrzeb własnych elektrowni. Rozpatrzono urządzenia o różnych charakterystykach przepływowych i większość sposobów regulacji stosowanych obecnie w nowoczesnych instalacjach. Obliczenia przeprowadzone zostały w oparciu o rzeczywiste czasowe przebiegi zmienności obciążenia oraz charakterystyki urządzeń dla dużych bloków energetycznych pracujących w krajowym systemie elektroenergetycznym.

### 1 Wstęp

Poprawa efektywności energetycznej jest dzisiaj najważniejszym narzędziem wspierającym realizację unijnego pakietu energetycznego „3x20%”. Jest to mechanizm dostępny i możliwy do zastosowania praktycznie we wszystkich dziedzinach gospodarki przy stosunkowo niskich nakładach finansowych. W aspekcie prawnym podmioty gospodarcze są zobowiązane do poprawy efektywności energetycznej swojej działalności. Stanowi o tym Dyrektywa UE 2006/32/WE „w sprawie efektywności końcowego wykorzystania energii i usług energetycznych” oraz jej implementacja do prawa polskiego – ustawa o efektywności energetycznej [1].

---

\*E-mail: tomasz.kotlicki@p.lodz.pl

Zgodnie z ustawą [1], zagadnienie poprawy efektywności energetycznej elektrowni ciepłej węglowej dotyczy układów potrzeb własnych (UPW). Urządzenia tam pracujące są napędzane głównie silnikami elektrycznymi indukcyjnymi klatkowymi o mocach jednostkowych dochodzących do kilkunastu megawatów. Pojęcie efektywności energetycznej można, zgodnie z definicją ustawową, wyrazić liczbowo za pomocą wskaźnika efektywności

$$WE = \frac{E_{uz}}{A_{el}}, \quad (1)$$

gdzie:  $E_{uz}$  – efekt użytkowy (efekt uzyskany w wyniku dostarczenia energii do danego obiektu, urządzenia technicznego lub instalacji, w szczególności: wykonanie pracy mechanicznej, zapewnienie komfortu cieplnego, oświetlenie [1]),  $A_{el}$  – energia elektryczna zużyta przez silniki elektryczne.

Energię elektryczną ( $A_{el}$ ), zużywaną przez urządzenia, powinno się mierzyć w rozdzielniach, do których przyłączone są napędy urządzeń, tak aby uwzględnić straty w torach zasilania (transformatory, kable). Należy zauważyć, że o ile energia elektryczna jest zdefiniowana jednoznacznie, to w przypadku efektu użytkowego takiej jednoznaczności nie ma. Można wyróżnić przynajmniej trzy podejścia w określaniu efektu użytkowego w potrzebach własnych elektrowni, dające w rezultacie różne ilościowo wartości wskaźnika efektywności ( $WE$ ):

- A. Efektem użytkowym jest energia elektryczna brutto wyprodukowana przez blok:  $E_{uz} = A_{br}$ . W tym przypadku wskaźnik efektywności jest odwrotnością zużycia energii na potrzeby własne ( $\varepsilon$ ):  $WE = A_{br}/A_{el} = 1/\varepsilon$ . Otrzymuje się zatem prosty, uniwersalny wskaźnik dobry do oceny, zarówno całego układu, jak i pojedynczych urządzeń.
- B. Efektem użytkowym jest ilość przetransportowanego czynnika (medium), np. ilość przetłaczanej wody zasilającej, ilość pyłu węglowego itp. Wtedy  $E_{uz} = M$  (gdzie:  $M$  – ilość czynnika w kg lub  $m^3$ ) a wskaźnik  $WE = M/A_{el}$  odnosi się tylko do konkretnego urządzenia lub instalacji. Jest to dobry wskaźnik dla młynów węglowych oraz większości dużych pomp i wentylatorów blokowych, których zadaniem jest dostarczenie odpowiedniej ilości czynnika.
- C. Efektem użytkowym jest ilość energii mechanicznej czynnika, np. ilość energii zawartej w wodzie tłoczony przez pompę. Wtedy  $E_{uz} = A_{mech}$  a wskaźnik  $WE = A_{mech}/A_{el}$  może odnosić się, zarówno do pojedynczego urządzenia, jak i do grupy urządzeń traktowanych jako przetworniki energii.

Efektywność energetyczną można poprawić albo poprzez zwiększenie efektu użytkowego, albo przez zmniejszenie zużycia energii elektrycznej lub jednocześnie działania tego typu. Działania powodujące zmniejszenie efektu użytkowego (np. ilości przetwarzanego medium) mogą ten wskaźnik pogorszyć o ile nie będą skorelowane z proporcjonalnym zmniejszeniem zużycia energii elektrycznej. Ma to szczególne znaczenie w przypadku elektrowni, gdy podejmowane są działania modernizacyjne w obrębie układów technologicznych, prowadzące do zmniejszenia ilości zużywanego paliwa lub innych mediów (pary, wody, powietrza itp.). Urządzenia potrzeb własnych transportujące te czynniki (pompy, wentylatory) będą wtedy pobierały mniej energii. Jednak względne zmniejszenie obciążenia silników napędowych w istotny sposób zależeć będzie od zastosowanych sposobów regulacji wydajności urządzeń.

## 2 Analiza zastosowania różnych sposobów regulacji wydajności urządzeń potrzeb własnych

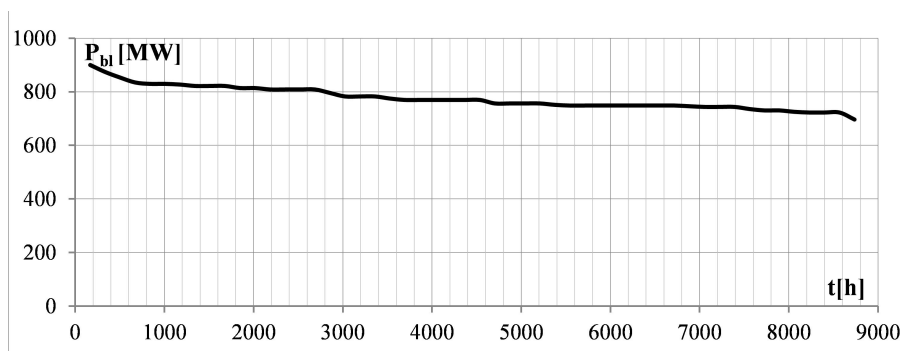
### 2.1 Założenia do obliczeń

Analizę przeprowadzono dla trzech wybranych urządzeń potrzeb własnych bloku energetycznego o mocy 900 MW, opalanego węglem kamiennym. Wybrano urządzenia o różnych charakterystykach przepływowych pracujące w układach o odmiennych charakterystykach oporów:

- pompa wody zasilającej (PWZ) – wysokociśnieniowa pompa wirowa odśrodkowa, współpracująca z rurociągiem wody zasilającej kocioł o stałym ciśnieniu pary przy zmianach obciążenia;
- pompa wody chłodzącej (PWCH) – niskociśnieniowa, wysokowydajna pompa wirowa, diagonalna, współpracująca z rurociągiem wody chłodzącej transportującym wodę chłodzącą skraplacz turbiny do chłodni kominowej;
- wentylator młynowy (WM) – promieniowy, dwustrumieniowy, wyposażony w osiowy aparat kierowniczy na wlocie do regulacji wydajności.

Założono, że blok pracuje w podstawie systemu i jego obciążenie ( $P_{bl}$ ) zmienia się ciągu roku od  $P_{blmin} = 697$  MW do  $P_{blmax} = P_{blN} = 900$  MW, wg wykresu przedstawionego na rys. 1. Wydajności urządzeń zmieniają się proporcjonalnie do obciążenia bloku. Rozpatrzono w sumie pięć różnych wariantów regulacji wydajności ww. urządzeń:

1. zastosowanie standardowego sprzęgła hydrokinetycznego do wszystkich urządzeń (wariant SH);

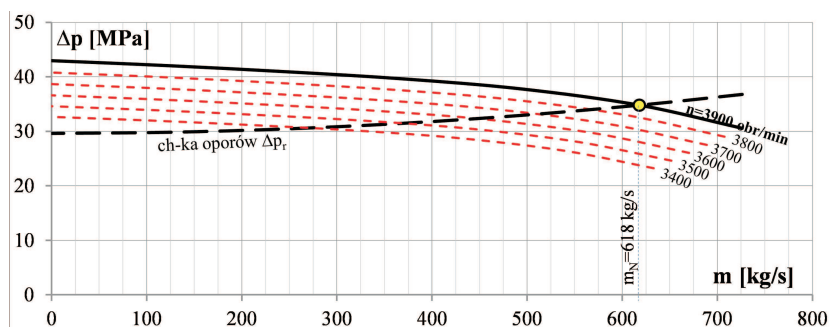


Rysunek 1. Uporządkowany wykres obciążeń bloku energetycznego przyjęty do obliczeń

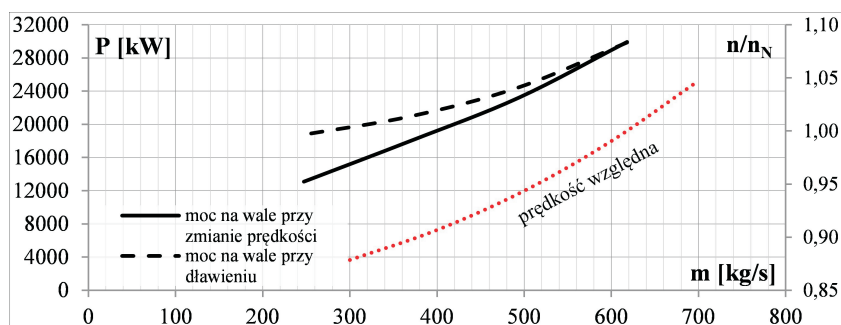
2. zastosowanie nowoczesnego sprzęgła hydrokinetycznego z przekładnią planetarną (Vorecon firmy Voith) do wszystkich urządzeń (wariant SV);
3. zastosowanie przemiennika częstotliwości (falownika) do zasilania i zmiany prędkości obrotowej silnika indukcyjnego klatkowego do wszystkich urządzeń (wariant F);
4. wykorzystanie aparatu kierowniczego na wlocie do wentylatora lub pompy wody chłodzącej (wariant K).
5. zastosowanie zaworu dławiącego przepływ pompy wody zasilającej (wariant DŁ);

W każdym z wariantów przyjęto, że silniki napędowe to wysokosprawne silniki indukcyjne klatkowe o mocach dostosowanych do mocy poszczególnych urządzeń.

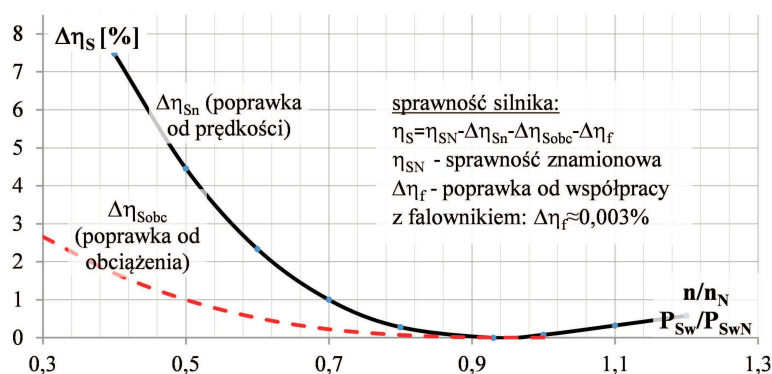
Podstawowe charakterystyki pomp, wentylatora oraz silników i sprzęgieł hydraulicznych zostały zaczerpnięte z danych literaturowych oraz z katalogów producentów [2–7]. Zostały one dla potrzeb analiz zaprosymowane wielomianami. Przykładowo, na rys. 2. pokazano charakterystyki przepływowe pompy wody zasilającej a na rys. 3. – charakterystyki mocy na wale tej pompy przy różnych sposobach regulacji. Z kolei na rys. 4 i 5. przedstawiono charakterystyki sprawności dla silników napędowych (w formie poprawek odejmowanych od sprawności znamionowej) oraz dla sprzęgieł hydrokinetycznych i falownika.



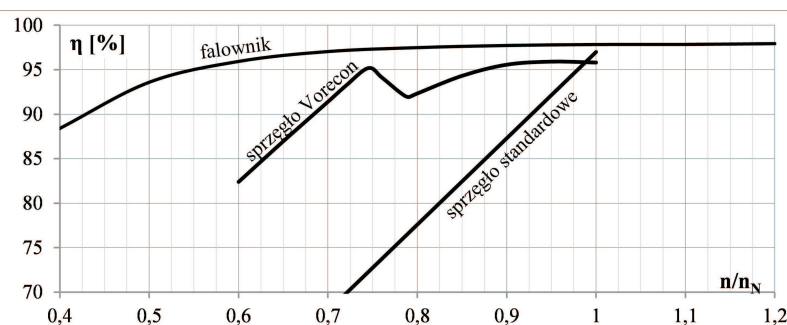
Rysunek 2. Charakterystyki przepływowe pompy wody zasilającej dla różnych prędkości obrotowych wirnika oraz charakterystyka oporów układu (rurociągu)



Rysunek 3. Zmiana mocy na wale pompy zasilającej oraz charakterystyka regulacyjna przy różnych rodzajach regulacji wydajności



Rysunek 4. Sprawność silnika elektrycznego w zależności od względnego obciążenia na wale i względnej prędkości obrotowej



Rysunek 5. Sprawności sprzęgła hydrokinetycznych i falownika w zależności od względnej prędkości obrotowej napędu

## 2.2 Wyniki obliczeń i analiz

Wykonano zasadniczo dwa rodzaje analiz:

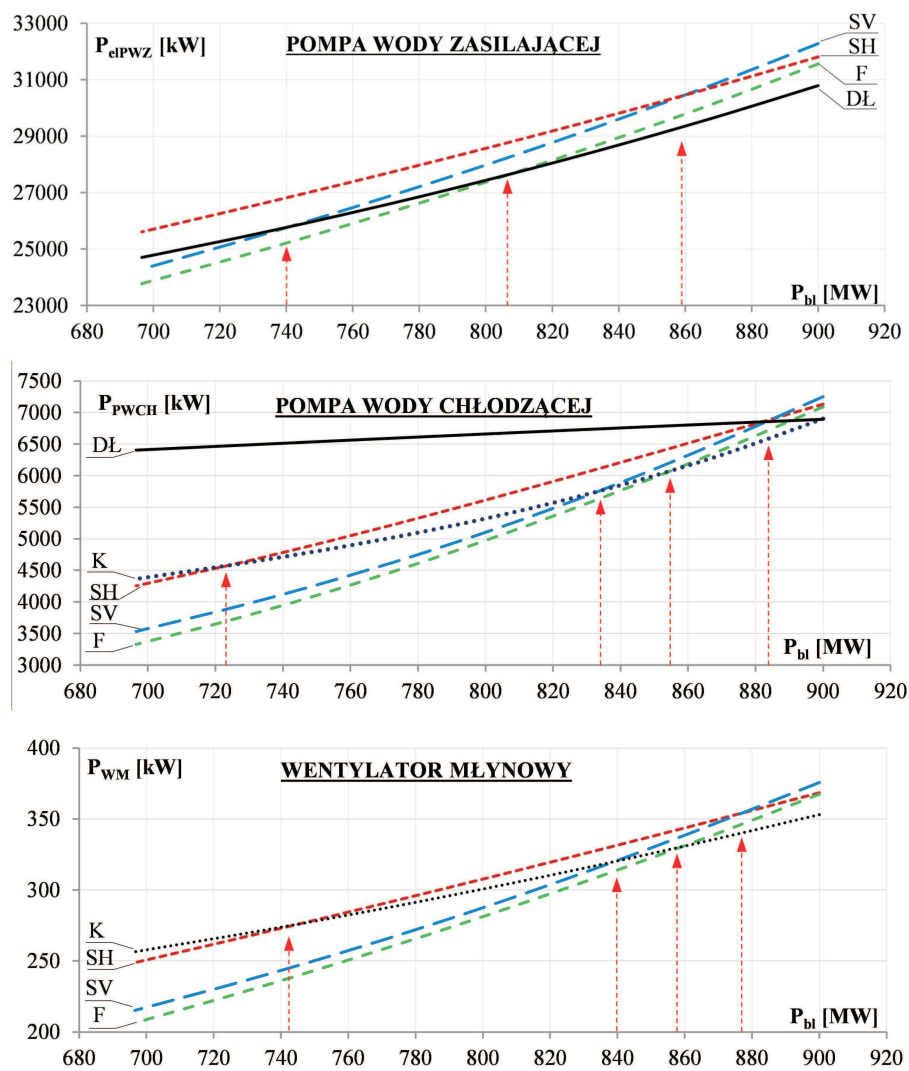
- obliczenie zmienności obciążenia wariantów układów napędowych rozpatrywanych urządzeń potrzeb własnych w zależności od przyjętego obciążenia bloku w ciągu roku oraz
- wyznaczenie skumulowanych, rocznych wskaźników efektów zastosowania różnych rodzajów regulacji wydajności.

Na rys. 6 pokazano, jak zmieniają się obciążenia elektryczne (moc pobierana z sieci) rozpatrywanych urządzeń dla różnych wariantów regulacji wydajności w zależności od obciążenia bloku energetycznego. Dla rozpatrywanych wariantów wskaźniki efektywności  $WE$  (liczone sposobem B – opisanym we wstępie) porównano na rys. 7 .

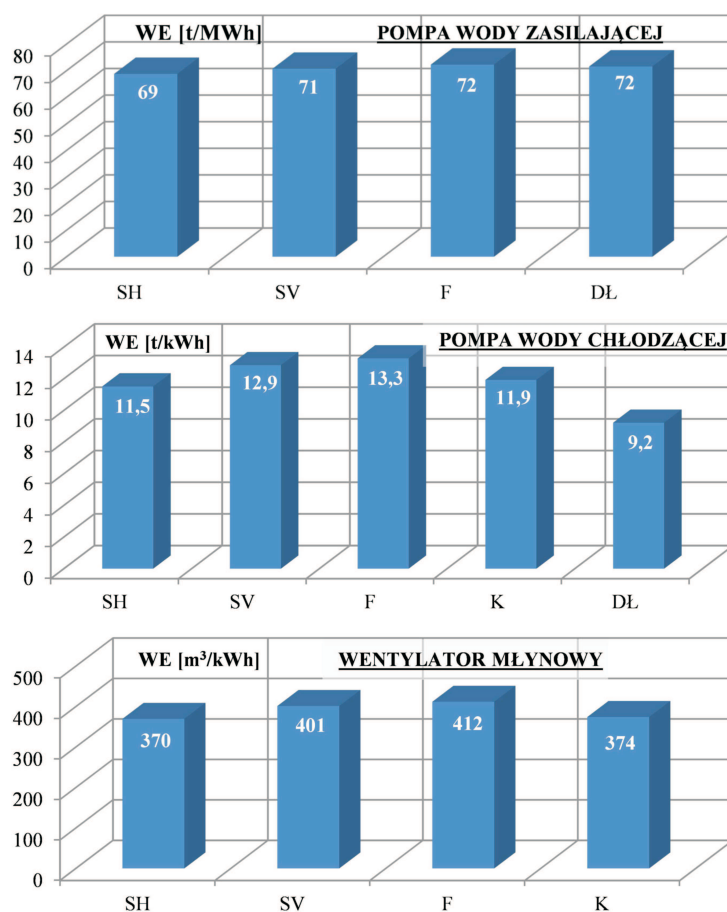
## 3 Podsumowanie i wnioski

Zaprezentowane w rozdz. 2 wyniki analiz i obliczeń pozwalają na sformułowanie następujących wniosków i uwag:

1. Efekty energetyczne zastosowania różnych sposobów regulacji wydajności dużych napędów urządzeń potrzeb własnych nie są jednoznaczne i zależą od wielu różnych czynników, z których najważniejsze, to:
  - (a) **Zmienność obciążenia bloku w ciągu roku.** Stopień oszczędności energii istotnie zależy od niedociążenia bloku. Na rys. 6 strzałkami



Rysunek 6. Porównanie zmienności obciążeń elektrycznych dla różnych układów napędowych pompy wody zasilającej, pompy wody chłodzącej, wentylatora młynowego (SV – sprzęgło Vorecon, SH – sprzęgło standardowe, F – falownik, DŁ – dławienie, K – kierownice na wlocie)



Rysunek 7. Porównanie rocznych wskaźników efektywności energetycznej dla różnych wariantów regulacji urządzeń

wskazano wartości obciążeń bloku, dla których zmienia się klasyfikacja efektywności różnych wariantów regulacji wydajności. Np. dla pompy wody zasilającej, dla obciążeń bloku powyżej 810 MW, najmniej energochłonne jest regulowanie pompy poprzez dławienie. Dla mniejszych obciążeń najbardziej energooszczędne jest regulowanie poprzez falownik. Podobne efekty zachodzą dla PWCH i WM. Są one przede wszystkim wynikiem istotnych i nieliniowych zmian sprawności poszczególnych elementów układu napędowego przy ich różnym obciążeniu, oraz tego, że samo wprowadzenie do układu falownika czy

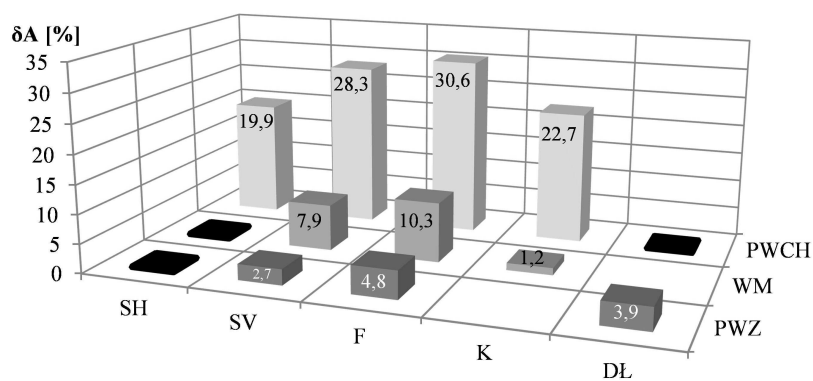


sprzęgła powoduje dodatkowe straty energii.

- (b) **Przebieg charakterystyk przepływowych i oporów układów.** Bardziej płaskie charakterystyki oporów układu (np. dla PWZ) powodują istotne zmiany wydajności już przy niewielkich zmianach prędkości obrotowej urządzenia lub przy niewielkich przestawieniach układów kierowniczych (punkt pracy urządzenia przesuwają się po charakterystyce oporów). Podobny wpływ ma stromość charakterystyk przepływowych.
  - (c) **Dobór odpowiednich wielkości urządzeń.** Wydajności pomp i wentylatorów powinny być dobierane przy stosunkowo niewielkim współczynniku zapasu w stosunku do obciążeń znamionowych. Sprawności tych urządzeń dość istotnie maleją przy pracy z zaniżonym obciążeniem, co skutkuje relatywnie większym zapotrzebowaniem mocy na wale. Nowoczesne silniki elektryczne, szczególnie te przeznaczone do współpracy z falownikami, mają stosunkowo płaskie charakterystyki sprawności. Ponadto maksymalne sprawności osiągają często dla obciążeń mniejszych od znamionowego. Podobnie są konstruowane nowoczesne sprzęgła hydrokinetyczne. Zatem dla wariantów układów napędowych SV lub F korzystniej jest dobierać silniki z minimalnym lub zerowym zapasem mocy.
2. Obliczone roczne wskaźniki efektywności nie rozstrzygają jednoznacznie, który z wariantów jest najkorzystniejszy – w zależności od urządzenia – wyniki są różne:
- (a) W przypadku pompy wody zasilającej najkorzystniejszym wariantem regulacji jest zastosowanie falownika, najmniej efektywnym – standardowego sprzęgła hydrokinetycznego. Należy zauważyć, że dość dobre wyniki występują również dla regulacji dławieniowej (praktycznie bezkosztowej), zatem prawdopodobnie ten wariant byłby najkorzystniejszy przy uwzględnieniu kosztów falownika.
  - (b) W przypadku pompy wody chłodzącej różnice pomiędzy wariantami są dość wyraźne. Najmniej energochłonnym jest wariant z falownikiem, najbardziej – zastosowanie dławienia. Należy zauważyć, że wszystkie warianty regulacji pompy (SH, SV, F i K) są wyraźnie mniej energochłonne od wariantu dławienia, zatem można tu założyć, że efekty ekonomiczne w dłuższym okresie będą także korzystniejsze po uwzględnieniu kosztów inwestycji związanych z falownikiem lub sprzęgłem.

- (c) W przypadku wentylatora młynowego najbardziej ekonomiczną jest regulacja z wykorzystaniem falownika. Niemniej jednak pozostałe warianty nie różnią się wiele (podobnie jak dla PWZ), zatem najbardziej korzystnym może okazać się wariant inwestycyjnie najtańszy – z wykorzystaniem regulacji kierownicami (K).

W celu porównania uzyskanych wyników efektywności dla poszczególnych wariantów i urządzeń oraz zilustrowania powyższych wniosków, na rys. 8. pokazano względne zmniejszenia zużycia energii: zaoszczędzoną energię dla danego wariantu odniesiono do zużycia energii dla najmniej korzystnego wariantu ( $\delta A = (A_{\max} - A) / A_{\max}$ ).



Rysunek 8. Porównanie względnych oszczędności energii przy zastosowaniu różnych rodzajów regulacji dla rozpatrywanych urządzeń (czarne prostokąty to warianty najmniej korzystne dla danego urządzenia)

Przedstawione w artykule wyniki zostały uzyskane w badaniach współfinansowanych przez Narodowe Centrum Badań i Rozwoju w ramach umowy SP/E/1/67484/10 – Strategiczny Program Badawczy – Zaawansowane technologie pozyskiwania energii: Opracowanie technologii dla wysokosprawnych „zeroemisyjnych” bloków węglowych zintegrowanych z wychwytem CO<sub>2</sub> ze spalin.

*Praca wpłynęła do redakcji 1 sierpnia 2012 r.*

## Literatura

- [1] Ustawa z 15 kwietnia 2011 r. o efektywności energetycznej, Dz.U. z 2011 r., Nr 94, poz. 551.
- [2] Pawlik M., Skierski J.: *Układy i urządzenia potrzeb własnych elektrowni*. WNT, Warszawa 1986.
- [3] Bernat M.: *Remontować czy wymieniać stare silniki elektryczne w przemysłowych napędach dużej i średniej mocy?* Fundacja na Rzecz Efektywnego Wykorzystania Energii, Katowice 2006.
- [4] Stępniewski M.: *Pompy*. WNT, Warszawa 1985.
- [5] Misiewicz W., Misiewicz A.: *Napędy regulowane w układach pompowych źródeł ciepła*. KA-PE, Warszawa 2008.
- [6] Fabryka Wentylatorów Fawent, *Katalog wentylatorów WPWD*.
- [7] Kubera T., Szulc Z.: *Poprawa efektywności energetycznej układu napędowego pompy wody zasilającej dużej mocy*. Zeszyty Problemowe – Maszyny Elektryczne 78/2007.

### Improvement of energy efficiency in auxiliaries of large power unit

#### S u m m a r y

An improvement of energy efficiency of power station consists in reduction of an electricity consumption in auxiliary electrical system. Devices are driven by electrical induction motors – rated up to 20 MW. The reduction of energy consumption is possible by optimum selection of modern electrical motors (rated load, voltage) and application of advanced load adjustment systems (including variable speed systems), adapted to the power unit load curve. Efficiency improvement is one of strategic targets of the UE policy and becomes a duty for enterprises. An article presents calculations of energy savings resulting from applying various variants of load adjustment with reference to main auxiliary drives. Devices with different flow profiles were considered as well as the majority of manners of load control which are currently applied in modern installations. Calculations were conducted with use of real load profiles and rates of auxiliary devices operating in large power units.

