

Tomasz KOTLICKI
Politechnika Łódzka
Instytut Elektroenergetyki
tomasz.kotlicki@p.lodz.pl

EFEKTYWNOŚĆ ENERGETYCZNA W UKŁADACH POTRZEB WŁASNYCH ELEKTROWNI I ELEKTROCIEPŁOWNI

Streszczenie: 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.

Słowa kluczowe: efektywność energetyczna, potrzeby własne elektrowni.

ENERGY EFFICIENCY IN AUXILIARIES OF POWER AND CHP UNIT

Abstract: 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.

Keywords: energy efficiency, auxiliaries.

1. EFEKTYWNOŚĆ ENERGETYCZNA – UWARUNKOWANIA FORMALNO-PRAWNE

Efektywność energetyczna, jako jeden z filarów pakietu energetyczno-klimatycznego „3x20%” realizowanego przez UE, jest dość prostym narzędziem do ograniczania zużycia energii w gospodarce, a tym samym ograniczania zużycia paliw kopalnych i związanych z tym emisji zanieczyszczeń.

W sektorze wytwarzania, w dużych elektrowniach i elektrociepłowniach tkwią jeszcze spore rezerwy w tym zakresie. Przede wszystkim dotyczą modernizacji układów potrzeb własnych. Ograniczanie zużycia energii do

napędu pomp, wentylatorów, młynów itp. daje wymierny efekt w postaci poprawy sprawności netto wytwarzania. Można to osiągnąć m.in. poprzez wymianę urządzeń i silników napędowych na nowocześniejsze oraz zastosowanie energooszczędnej regulacji wydajności.

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].

Zgodnie z ustawą [1] oraz obwieszczeniem [2] wydanym na jej podstawie, zagadnienie poprawy efektywności energetycznej elektrowni ciepłej węglowej dotyczy tylko układów potrzeb własnych (UPW), w szczególności: wentylatorów spalin i powietrza, układów pompowych, młynów węglowych, silników elektrycznych. 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:

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

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_{ei} – energia elektryczna zużyta przez silniki elektryczne.

Układy i urządzenia potrzeb własnych elektrowni i elektrociepłowni są instalacjami pomocniczymi przy produkcji energii końcowej (elektryczności lub ciepła), zatem określenie efektu użytkowego nie jest jednoznaczne. Można rozpatrzeć trzy podstawowe przypadki:

- A. Efektem użytkowym jest energia elektryczna brutto (lub ciepło) wyprodukowana przez blok: $E_{uz} = A_{br}$. W tym przypadku wskaźnik efektywności jest odwrotnością zużycia energii na potrzeby własne: $WE = A_{br}/A_{ei} = 1/\epsilon$. Otrzymuje się zatem prosty i 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 przygotowanego w instalacji młynowej pyłu węglowego itp. Wtedy: $E_{uz} = M$, (gdzie: M – ilość czynnika w kg lub m^3) i wskaźnik $WE = M/A_{ei}$ 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 (często proporcjonalnej do ilości energii wyprodukowanej przez blok).
- C. Efektem użytkowym jest ilość energii mechanicznej czynnika, np. ilość energii zawartej w wodzie tłoczony przez pompę lub w powietrzu

tloczonym przez sprężarkę. Wtedy: $E_{uz} = A_{mech}$, i wskaźnik $WE = A_{mech}/A_{el}$ może odnosić się, zarówno do pojedynczego urządzenia, jak i do grupy urządzeń traktowanych jako przetworniki energii. Jeżeli zastosować takie podejście do pomp ciśnieniowych lub sprężarek, to energię mechaniczną można określać jako iloczyn przyrostu ciśnienia i ilości przetłoczonego medium: $A_{mech} = \int \Delta p \cdot \dot{m} dt$.

Zgodnie z zależnością (1), efektywność energetyczną można poprawić poprzez:

- zwiększenie efektu użytkowego,
- zmniejszenie zużycia energii elektrycznej,
- jednoczesne działania tego typu.

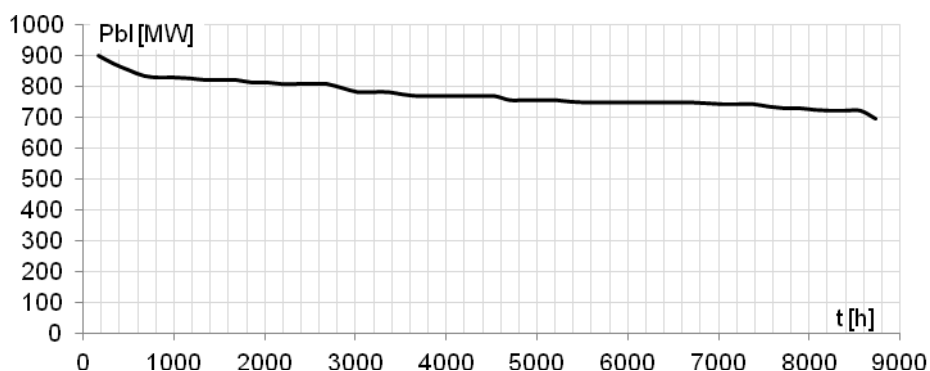
Należy zauważyć, że działania powodujące zmniejszenie efektu użytkowego (np. ilości przetłaczanego medium) mogą ten wskaźnik pogorszyć, o ile nie będą skorelowane z proporcjonalnym zmniejszeniem zużycia energii elektrycznej przez napędy. Ma to szczególne znaczenie w przypadku elektrowni, gdy podejmowane 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 zależy będzie od zastosowanych sposobów regulacji wydajności urządzeń oraz od charakterystyk sprawności.

2. PRZYKŁADOWA ANALIZA WPŁYWU RÓŻNYCH SPOSOBÓW REGULACJI WYDAJNOŚCI URZĄDZEŃ NA EFEKTYWNOŚĆ ENERGETYCZNĄ

Obliczenia symulacyjne wykonano dla trzech urządzeń potrzeb własnych bloku energetycznego o mocy 900 MW. 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.

Przyjęto zmienność obciążenia bloku energetycznego jak na rys. 1 (typowy przebieg dla bloków pracujących w podstawie systemu) oraz założono, że wydajności urządzeń zmieniają się proporcjonalnie do tego obciążenia.



Rys. 1. Uporządkowany wykres obciążeń bloku energetycznego

Fig. 1. Load duration curve of power unit

Rozpatrzono 5 różnych wariantów regulacji wydajności w/w urządzeń:

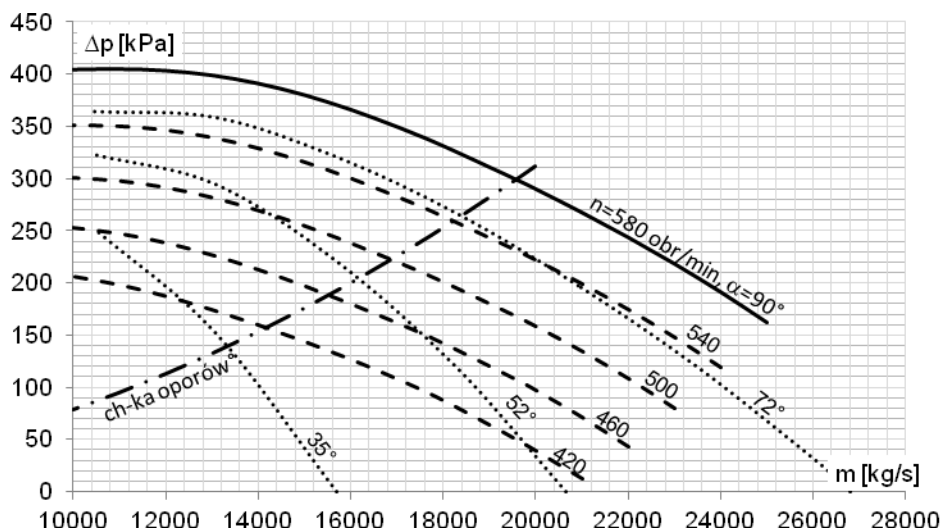
1. zastosowanie standardowego sprzęgła hydrokinetycznego do wszystkich urządzeń (**wariant SH**);
2. zastosowanie nowoczesnego sprzęgła hydrokinetycznego z przekładnią planetarną (Vorecon firmy Voith) do wszystkich urządzeń (**wariant SV**);
3. zastosowanie przemiennika częstotliwości (falownika) do 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 [3,4,5,6,7,8]. Na rys. 2 – przykładowo – pokazano charakterystyki przepływowe pompy wody chłodzącej a na rys. 3 – charakterystyki mocy na wale tej pompy przy różnych sposobach regulacji. Na rys. 4 przedstawiono natomiast charakterystyki sprawności dla sprzęgieł hydrokinetycznych i falownika.

Wykonano dwa rodzaje analiz:

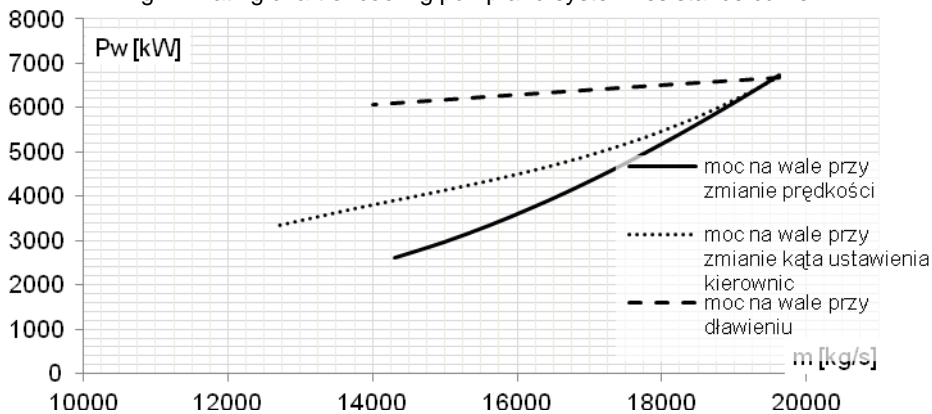
- obliczenie zmienności obciążenia wariantów układów napędowych rozpatrywanych urządzeń potrzeb własnych w zależności od przyjętego obciążenia bloku w ciągu roku,
- wyliczenie skumulowanych, rocznych wskaźników efektów zastosowania różnych rodzajów regulacji wydajności.

Na rys. 5, 6 i 7 pokazano, jak zmieniają się obciążenia elektryczne (moc pobierana z sieci) rozpatrywanych urządzeń dla różnych wariantów regulacji wydajności w zależności od obciążenia bloku energetycznego. Na rys. 8, 9, 10 porównano wskaźniki efektywności WE dla rozpatrywanych wariantów.



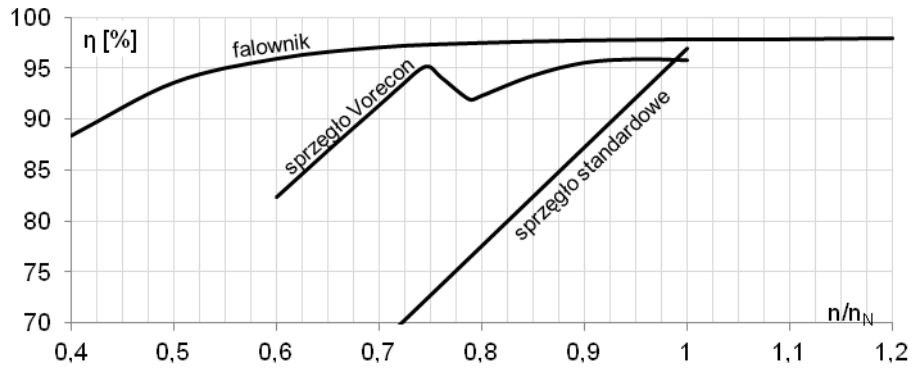
Rys. 2. Charakterystyki przepływowe pompy wody chłodzącej oraz charakterystyka oporów rurociągu

Fig. 2. Rating chart of cooling pump and system resistance curve



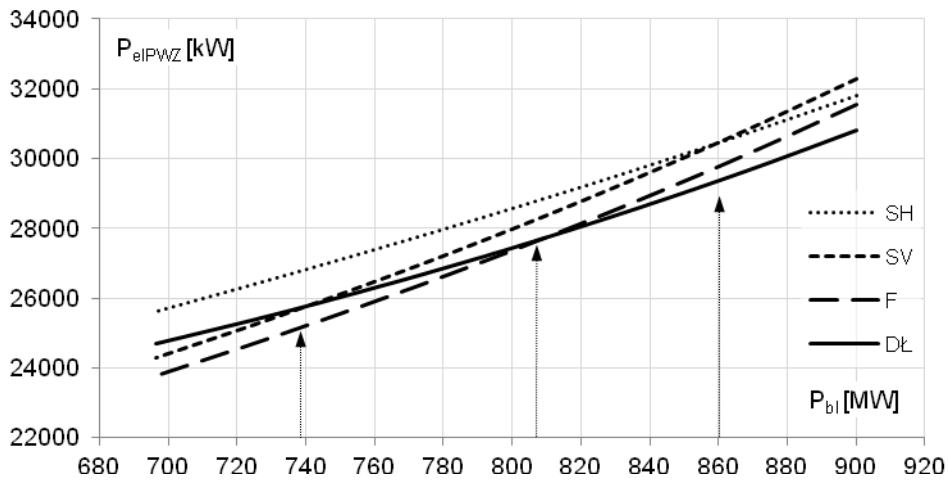
Rys. 3. Charakterystyki mocy na wale pompy wody chłodzącej

Fig. 3. Shaft load of cooling pump



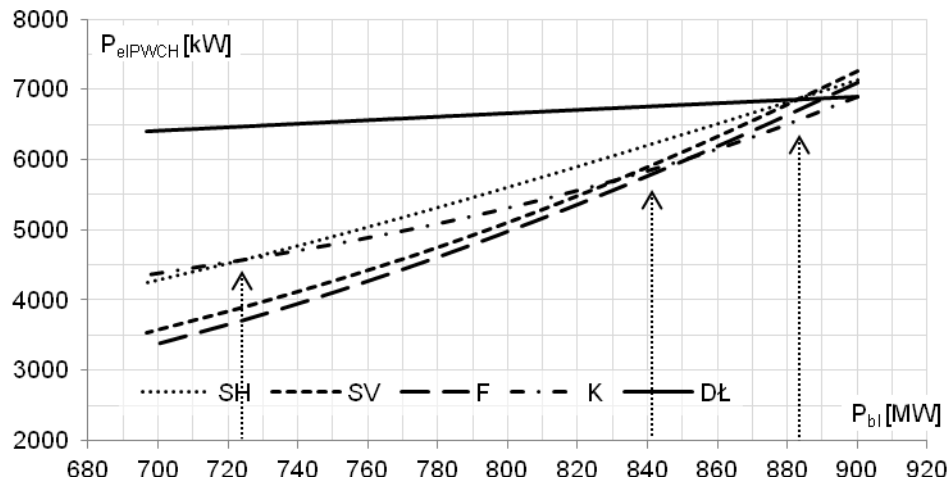
Rys. 4. Sprawności sprzęgieł hydrokinetycznych i falownika

Fig. 4. Efficiency characteristics of geared variable speed coupling and inverter



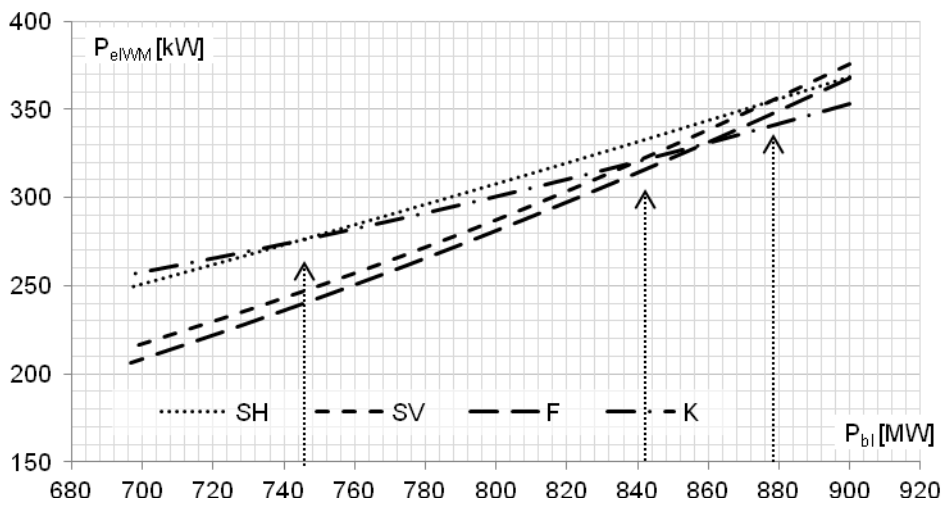
Rys. 5. Porównanie zmienności obciążeń elektrycznych dla różnych układów napędowych pompy wody zasilającej

Fig. 5. Comparison of load variability for different variants drives of feed pump drive



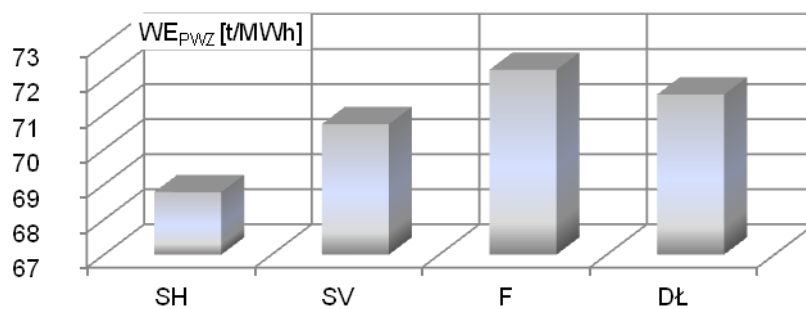
Rys. 6. Porównanie zmienności obciążeń elektrycznych dla różnych układów napędowych pompy wody chłodzącej

Fig. 6. Comparison of load variability for different variants of cooling pump drive



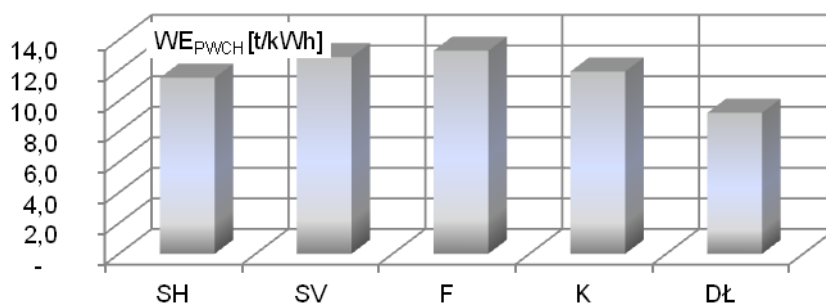
Rys. 7. Porównanie zmienności obciążeń elektrycznych dla różnych układów napędowych wentylatora młynowego

Fig. 7. Comparison of load variability for different variants of mill fan drive



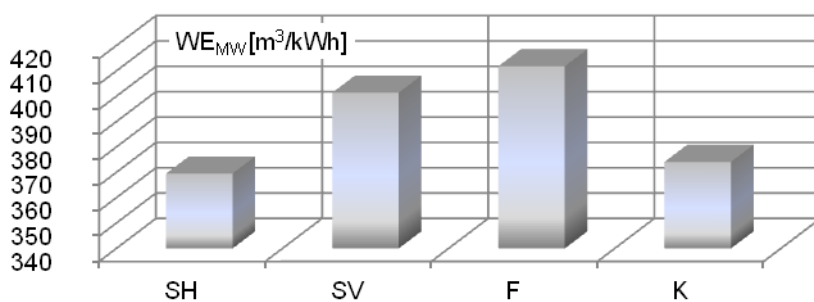
Rys. 8. Porównanie rocznych wskaźników efektywności energetycznej dla różnych wariantów regulacji wydajności pompy wody zasilającej

Fig. 8. Comparison of yearly energy efficiency for different variant of feed pump drive



Rys. 9. Porównanie rocznych wskaźników efektywności energetycznej dla różnych wariantów regulacji pompy chłodzącej

Fig. 9. Comparison of yearly energy efficiency for different variant of cooling pump drive



Rys. 10. Porównanie rocznych wskaźników efektywności energetycznej dla różnych wariantów regulacji wydajności wentylatora młynowego

Fig. 10. Comparison of yearly energy efficiency for different variant of mill fan drive

3. PODSUMOWANIE

Przedstawione 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. 5-7 pokazano strzałkami te wartości obciążeń bloku, dla których zmienia się „ranking” 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 w 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 ch-ce 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).

Przedstawione w pracy 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 wysoko-sprawnych „zeroemisyjnych” bloków węglowych zintegrowanych z wychwytem CO₂ ze spalin.

LITERATURA

- [1] Ustawa z 15 kwietnia 2011 r. o efektywności energetycznej, Dz.U. z 2011 r., Nr 94, poz. 551.
- [2] Obwieszczenie Ministra Gospodarki z 21 grudnia 2012 r. w sprawie szczegółowego wykazu przedsięwzięć służących poprawie efektywności energetycznej.
- [3] Pawlik M., Skierski J., *Układy i urządzenia potrzeb własnych elektrowni*. WNT, Warszawa 1986.
- [4] Bernat M., *Remontować czy wymieniać stare silniki elektryczne w przemysłowych napędach dużej i średniej mocy?* Fundacja na Rzecz Efektywnego Wykorzystania Energii, Katowice 2006.
- [5] Stępniewski M., *Pompy*. WNT, Warszawa 1985.
- [6] Misiewicz W., Misiewicz A., *Napędy regulowane w układach pompowych źródeł ciepła*. KAPE, Warszawa 2008.
- [7] Fabryka Wentylatorów Fawent, „Katalog wentylatorów WPWD”
- [8] Kubera T., Szulc Z., *Poprawa efektywności energetycznej układu napędowego pompy wody zasilającej dużej mocy*. Zeszyty Problemowe – Maszyny Elektryczne Nr 78/2007.