

Regulacja wydajności urządzeń potrzeb własnych jako element poprawy efektywności energetycznej elektrowni

Abstract: The paper presents an analysis of technical feasibility and advisability of application of variable speed drives in case of large auxiliary drives operating in thermal power stations. Energy savings and environmental effects resulting from the replacement of the fluid coupling by a frequency converter in a driving system of feedwater pump have been calculated. The potential for improving energy efficiency in power plant auxiliaries have been estimated for large power plants operating in national power system.

Keywords: *energy efficiency, auxiliary devices, variable-speed drive*

1. Efektywność energetyczna w ujęciu formalno-prawnym

Obowiązujący obecnie w Unii Europejskiej ambitny pakiet energetyczny, zwany potocznie „3x20%”, zakłada w perspektywie do 2020 roku wzrost efektywności energetycznej o 20 %, zwiększenie udziału OZE w ogólnym bilansie energetycznym o 20 % i ograniczenie emisji CO₂ również o 20 %. Jakkolwiek by nie oceniać wpływu energetyki (czy generalnie działalności człowieka) na globalne zmiany klimatu, samo w sobie ograniczanie emisji CO₂ jest o tyle celowe, o ile oznaczać będzie oszczędności paliw kopalnych, a tym samym zmniejszenie emisji substancji toksycznych z ich spalania. Zwiększanie efektywności energetycznej wydaje się najważniejszym narzędziem wspierającym ten cel, dostępnym i możliwym do zastosowania praktycznie we wszystkich dziedzinach gospodarki przy stosunkowo niskich nakładach finansowych.

W aspekcie prawnym efektywność energetyczna znajduje umocowanie w Dyrektywie 2006/32/WE „w sprawie efektywności końcowego wykorzystania energii i usług energetycznych” oraz w jej implementacji do prawa polskiego – Ustawie o efektywności energetycznej z 15 kwietnia 2011 r. [1]

Zgodnie z art. 2. Ustawy: „Przepisów ustawy nie stosuje się do: (...) instalacji objętych systemem handlu uprawnieniami do emisji w rozumieniu ustawy z dnia 22 grudnia 2004 r. o handlu uprawnieniami do emisji do powietrza gazów cieplarnianych i innych substancji (...), z wyjątkiem urządzeń potrzeb własnych.”

Zatem zapisy Ustawy wskazują, że działania zmniejszające zużycie energii na potrzeby własne w elektrowniach i elektrociepłowniach można i należy uznać za poprawiające efektywność gospodarki. Ustawa zawiera również definicję efektywności energetycznej. Jest to „stosunek uzyskanej wielkości efektu użytkowego danego obiektu, urządzenia technicznego lub instalacji, w typowych warunkach ich użytkowania lub eksploatacji, do ilości zużycia energii przez ten obiekt, urządzenie techniczne lub instalację, niezbędnej do uzyskania tego efektu”.

Na chwilę obecną Ustawa nie posiada aktów wykonawczych, w szczególności dotyczących systemu wsparcia dla przedsięwzięć poprawiających efektywność energetyczną („białe certyfikaty”).

2. Wskaźniki efektywności energetycznej

Zapisy w Ustawie nie precyzują, co należy rozumieć pod pojęciem efektu użytkowego. W przypadku instalacji energetycznych jego ustalenie nie zawsze będzie oczywiste. Np. dla pomp wodnych lub sprężarek efektem użytkowym może być, zarówno ilość przetłaczanej wody (powietrza), jak i przyrost energii mechanicznej wody (powietrza) w pompie (sprężarce), proporcjonalny do iloczynu natężenia przepływu i przyrostu ciśnienia. Na ogół obliczenia efektywności energetycznej będą dawały wtedy różne wyniki.

Do celów obliczeniowych (analiz) wygodnie jest posługiwać się pojęciem wskaźnika efektywności WE. W przypadku urządzeń (maszyn) przepływowych, takich jak pompy i wentylatory, napędzanych silnikami elektrycznymi, wskaźnik ten będzie można wyrazić zależnością:

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

gdzie: E_{uz} – efekt użytkowy,
 A_{el} – energia elektryczna zużyta przez silniki elektryczne.

Energię elektryczną zużywaną w układzie powinno się w miarę możliwości mierzyć w rozdzielniach, do których przyłączone są napędy urządzeń, tak aby uwzględniać straty w torach zasilania (transformatory, kable).

Efekt użytkowy odniesiony do energii elektrycznej w niektórych przypadkach można traktować jako odwrotność jednostkowego zużycia energii przez dane urządzenie. Np. dla młynów węglowych podaje się tzw. zużycie energii na przemiał w kWh/kg; odwrotność tej wielkości jest zatem wskaźnikiem efektywności energetycznej młyna w kg/kWh. Podobnie można definiować wskaźniki efektywności dla podajników węgla, wentylatorów powietrza, pomp wody chłodzącej itp.

Należy zauważyć, że zgodnie z (1) efektywność energetyczną można poprawić albo poprzez zwiększenie efektu użytkowego, albo przez zmniejszenie zużycia energii elektrycznej lub jednocześnie działania tego typu (te rozważania mają też sens dla innych form zużywanej energii). Działania powodujące zmniejszenie efektu użytkowego (np. ilości przetłaczanego 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 potrzebne do transportu tych czynników (pompy, wentylatory) będą wtedy pobierały mniej energii. Jednak względne zmniejszenie obciążenia silników napędowych w istotny sposób zależeć będzie od zastosowanych sposobów regulacji wydajności urządzeń.

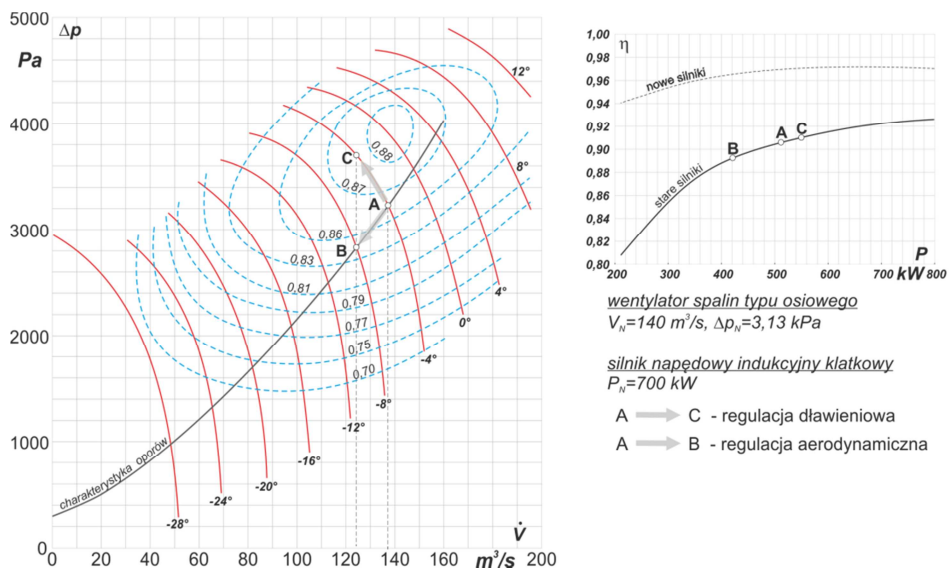
Sytuację taką można zilustrować prostym przykładem, w którym policzono różne efekty energetyczne w przypadku zmniejszenia strumienia spalin przetłaczanych przez wentylator kotłowy na bloku energetycznym średniej mocy. Na rys. 1 pokazano charakterystyki wentylatora i silnika napędowego uwzględnione w obliczeniach.

Sprawności energetyczne zaprezentowanego układu zmieniają się w zależności od sposobu regulacji: z 78,3% (A) do 74,3% przy regulacji aerodynamicznej (B) i do 76,0% przy regulacji dławieniowej (C). Natomiast wyliczenie wskaźników efektywności WE, zdefiniowanych jako stosunek ilości przetłoczonych spalin do zużytej energii, daje w wyniku zmianę z 873 m³/kWh (A) do 946 m³/kWh (B) oraz do 739 m³/kWh.

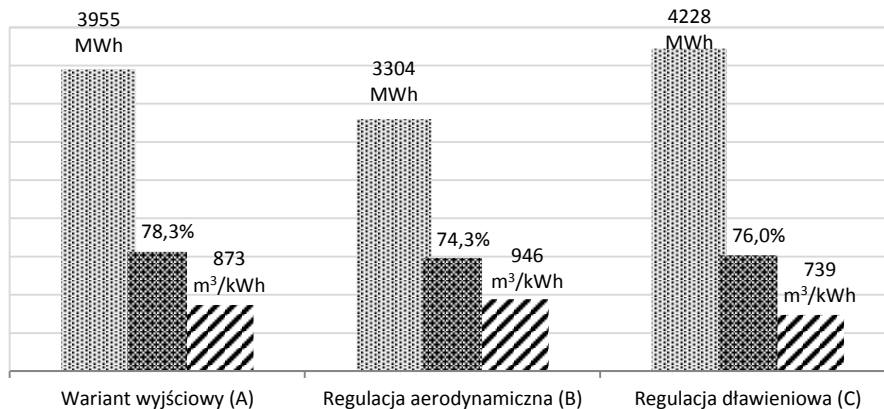
Widać zatem, że sprawności liczone w klasyczny sposób (przyrost energii mechanicznej płynu do zużytej energii elektrycznej) dają zafałszowany obraz sytuacji. Poprawnym wskaźnikiem jest tutaj wskaźnik efektywności WE, który jest wyraźnie większy dla zastosowanej regulacji aerodynamicznej (energooszczędnej). Oczywiście postużenie się

VII Lubuska Konferencja Naukowo-Techniczna – i-MITEL 2012

w tej sytuacji wyliczeniem bezwzględnych efektów energetycznych (ilości zużytej energii) daje zawsze poprawny rezultat, co pokazano na rys. 2.



Rys. 1. Zmiana wydajności wentylatora spalin na skutek zmniejszenia ilości spalin kotłowych: a) charakterystyki wentylatora i układu spalinowego, b) charakterystyka sprawności silnika napędowego. A – punkt pracy wentylatora przed zmianą, B – punkt pracy uzyskany przez zmianę kąta ustawienia łopatek wirnika, C – punkt pracy uzyskany przez zdławienie przepływu. [2,3]



Rys. 2. Porównanie efektów energetycznych (zużycia energii przez silnik, sprawności i wskaźnika efektywności) dla wentylatora spalin.

Reasumując, należy stwierdzić, że stosowanie wskaźnika efektywności, zdefiniowanego w Ustawie, należy każdorazowo poprzedzić wnikliwą analizą układu technologicznego lub instalacji energetycznej. Szczególnie trzeba zwrócić uwagę na to,

co jest efektem użytkowym dla danego urządzenia czy instalacji. W podanym przykładzie, natężenie przepływu, czyli ilość spalin wyciągniętych z instalacji spalinowej jest adekwatną wielkością, natomiast w układach pompowych, gdzie ciśnienie czynnika odgrywa istotną rolę, efektem użytkowym może być energia płynu.

Ważną rolę w analizie przyszłych efektów energetycznych odgrywają charakterystyki urządzeń oraz silników napędowych. Należy np. zauważyć, że charakterystyki przepływowe wentylatorów są zwykle bardziej strome niż pomp wirowych, co wpływa bezpośrednio na ilość pobieranej energii przy zmianach wydajności (jak w opisanym przykładzie).

3. Możliwości zmniejszenia zużycia energii w układach potrzeb własnych elektrowni

Zagadnienie poprawy efektywności energetycznej w elektrowniach ciepłych sprowadza się przede wszystkim do ograniczenia zużycia energii elektrycznej w układach potrzeb własnych (UPW) poprzez działania modernizacyjne w ich obrębie. Urządzenia pracujące w UPW są napędzane głównie silnikami indukcyjnymi klatkowymi o mocach jednostkowych dochodzących do kilkunastu MW. Wydajności dużych urządzeń, wchodzących w skład głównych ciągów technologicznych, są na ogół regulowane. Przepływy wody zasilającej i chłodzącej, spalin, powietrza czy paliwa są w dużej mierze proporcjonalne do obciążenia bloku.

Zmniejszenie zużycia energii elektrycznej przez napędy w UPW jest możliwe poprzez m.in.:

- a) odpowiedni (optymalny) dobór nowoczesnych silników do napędzanych urządzeń (moment rozruchowy, obciążenie znamionowe, napięcie zasilania);
- b) stosowanie zaawansowanych układów regulacji wydajności urządzeń (w tym napędy zmiennoobrotowe), dostosowanych do rytmu pracy bloku energetycznego;
- c) modyfikacje głównych układów technologicznych elektrowni (instalacja paliwo-powietrze-spaliny, układ parowo-wodny) w celu ograniczenia strumieni czynników.

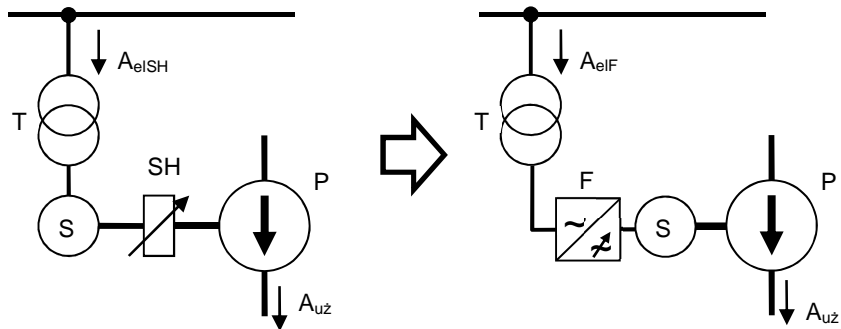
Zastosowanie regulacji wydajności takich urządzeń jak pompy, wentylatory, młyny węglowe musi być poprzedzone szczegółową analizą techniczno-ekonomiczną, w tym analizą zmienności obciążenia danej instalacji w dłuższych okresach, najlepiej rocznych. Stosowanie zaawansowanych technicznie i drogich zmiennoobrotowych układów napędowych (przetwornice częstotliwości, sprzęgła hydrokinetyczne) dużych mocy wymaga ponadto uwzględnienia w analizach charakterystyk sprawności, zarówno urządzeń napędzanych, jak i silników i urządzeń regulacyjnych.

Poniżej zaprezentowano wyniki analizy możliwości poprawy efektywności energetycznej układu napędowego pompy wody zasilającej o mocy ok. 3 MW na dużym bloku energetycznym. Założono, że modernizacja układu polegać będzie na usunięciu sprzęgła hydrokinetycznego i zastosowaniu przetwornicy częstotliwości. Dla uproszczenia obliczeń założono ponadto, że silnik i pompa nie ulegają zmianie oraz, że sprawność przekładni między pompą a silnikiem wynosi 100%. Na rys. 3. pokazano schematy układu przed i po modernizacji z zaznaczeniem najważniejszych elementów i wielkości fizycznych.

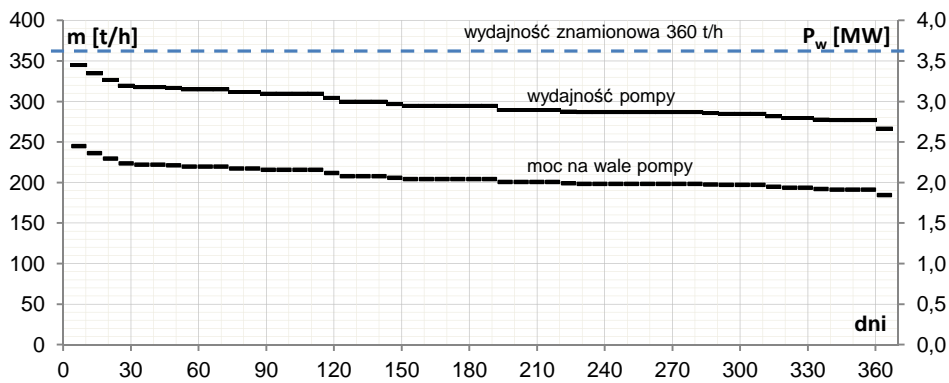
Jako kryterium porównawcze zastosowano roczne bezwzględne efekty energetyczne (energię elektryczną zaoszczędzoną) przeliczone następnie na uniknięty strumień paliwa (węgiel kamienny o wartości opałowej 20 MJ/kg, zawartości popiołu 15% spalany na bloku o sprawności brutto 40%) i uniknięte emisje CO₂, NO_x, SO₂ i pyłu.

Na rys. 4. pokazano przyjęty do obliczeń roczny uporządkowany wykres obciążeń rozpatrywanej pompy zasilającej. Założono, że wydajność masowa pompy jest proporcjonalna do obciążenia bloku a moc na wale pompy wyliczono w oparciu o charakterystyki przepływowe układu pompowego (rys. 5).

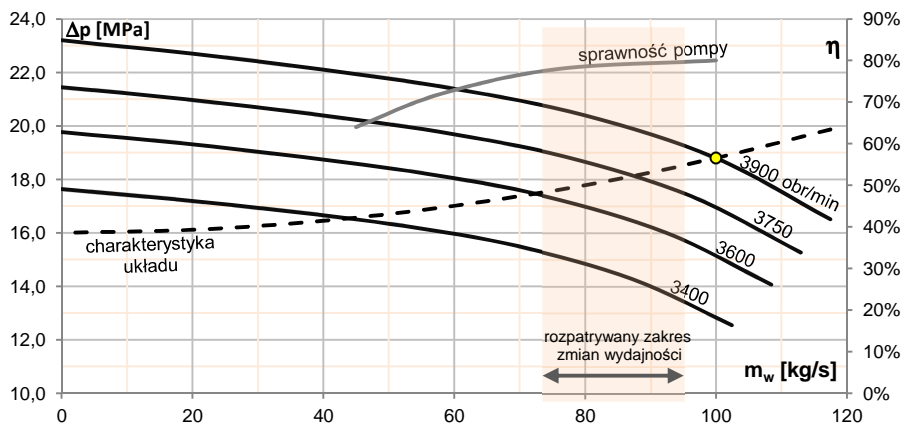
VII Lubuska Konferencja Naukowo-Techniczna – i-MITEL 2012



Rys. 3. Koncepcja modernizacji układu napędowego pompy zasilającej poprzez zastosowanie falownika zamiast sprzęgła hydrokinetycznego. T – transformator potrzeb własnych, S – silnik napędowy, SH – sprzęgło hydrokinetyczne, P – pompa, A_{elSH} , (A_{elF}) – energia elektryczna zużyta w układzie ze sprzęgłem (falownikiem), A_{uz} – energia użyteczna strumienia wody (nie zmienia się)



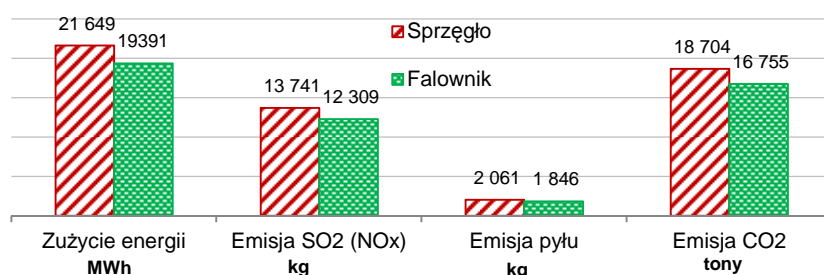
Rys. 4. Roczne uporządkowane wykresy obciążeń i wydajności pompy wody zasilającej na dużym bloku energetycznym.



Rys. 5. Charakterystyki układu pompowego. [2]

W rozpatrywanym przypadku efekt użytkowy układu pompowego nie zmieniał się i stanowił po prostu ilość wody przepompowanej w ciągu roku (wg wykresu na rys. 4). Zatem wartość wskaźnika efektywności zależy tylko od zużycia energii elektrycznej i wynosi dla układu ze sprzęgłem 120 t/MWh, a dla układu z falownikiem 134 t/MWh. Warto zauważyć, że w tym przypadku średnie roczne sprawności układów (odpowiednio: 65,9% i 73,5%) pozostają w tym samym stosunku, czyli można jako wskaźnika efektywności używać sprawności energetycznej.

Na rys. 6. przedstawiono zestawienie wyników obliczeń dotyczących oszczędności energii i ograniczenia emisji dla przypadku zastąpienia standardowego sprzęgła hydrokinetycznego wysokosprawnym napędem falownikowym jako napędu dużej pompy wody zasilającej. Osiągnięte oszczędności energii i paliwa sięgają 10%. W tym samym stopniu mniejsze są również emisje gazów i pyłów do otoczenia.



Rys. 6. Roczne oszczędności energetyczne i ekologiczne przy zmianie napędu pompy zasilającej z układu ze sprzęgłem hydrokinetycznym na układ falownikowy.

4. Podsumowanie

Obliczanie efektywności energetycznej planowanych przedsięwzięć modernizacyjnych w układach potrzeb własnych elektrowni ciepłych powinno uwzględniać specyfikę urządzeń, a w szczególności opierać się na rzeczywistych charakterystykach urządzeń i układów. Jednoczesne obniżanie strumieni paliwa czy pary w głównych układach technologicznych może skomplikować obliczenia – pojęcie wskaźnika efektywności nie jest wtedy tożsame ze sprawnością energetyczną. Przemysłane modernizacje pozwalają na wymierne oszczędności w paliwie i obniżenie kosztów związanych z opłatami środowiskowymi. Wprowadzona w życie w 2011 roku Ustawa o efektywności energetycznej powinna sprzyjać i zachęcać użytkowników energii do oszczędzania m.in. poprzez system świadectw efektywności energetycznej.

Literatura

1. Ustawa z 15 kwietnia 2011 r. o efektywności energetycznej, Dz.U. z 2011 r., Nr 94, poz. 551.
2. M. Pawlik, J. Skierski: „Układy i urządzenia potrzeb własnych elektrowni”. WNT, Warszawa 1986.
3. M. Bernat: „Remontować czy wymieniać stare silniki elektryczne w przemysłowych napędach dużej i średniej mocy?” Fundacja na Rzecz Efektywnego Wykorzystania Energii, Katowice 2006.

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 CO₂ ze spalin.

Autor: Tomasz Kotlicki, dr inż., Politechnika Łódzka, Instytut Elektroenergetyki, ul.Stefanowskiego 18/22, 90-924 Łódź, e-mail: tomasz.kotlicki@p.lodz.pl