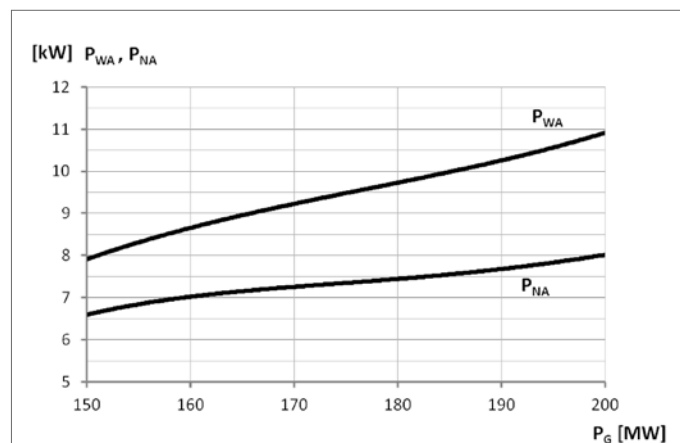


Zwiększenie efektywności energetycznej bloku 200 MW poprzez modernizację układów napędowych dużej mocy potrzeb własnych

Zbigniew Szulc

Krajowy system energetyczny w zdecydowanej większości kopiera się o bloki energetyczne o mocach od 120 MW do 500 MW [1]. Liczbowo najczęściej (62 szt.) jest bloków energetycznych o mocy znamionowej 200 MW. Bloki te zainstalowane są w elektrowniach na węgiel kamienny lub brunatny. Sprawność energetyczna brutto tych bloków jest rzędu 37% i na początku XXI w. była o ok. 8% niższa niż w Unii Europejskiej [1]. Niska sprawność brutto wynika z zasady działania elektrowni ciepłych oraz ze zużycia wyprodukowanej energii elektrycznej na cele potrzeb własnych. Wśród potrzeb własnych najczęściej energii używają układy napędowe. Na rys. 1 została przedstawiona zależność zużycia mocy na potrzeby własne (P_{WA}) bloku 200 MW oraz zużycie mocy przez napędy (P_{NA}) największe (wentylatory i pompy) w funkcji mocy (P_G) brutto bloku [2]. Z porównania tych przebiegów widać, że układy napędowe dużej mocy bloku 200 MW zużywają ok. 75% mocy potrzeb własnych. Z tych względów zmniejszenie zużycia mocy przez napędy potrzeb własnych polepsza efektywność energetyczną (sprawność energetyczną) bloku 200 MW.

W artykule zostały przedstawione możliwości zwiększenia efektywności energetycznej bloku 200 MW poprzez modernizację układów napędowych dużej mocy. W krajowym systemie energetycznym większość bloków 200 MW musi przejść chociaż odbudowę mocy wytwórczych, gdyż dla ich szeregu urządzeń kończy się czas życia technicznego [3]. Jest to więc dobry czas, aby zmodernizować układy napędowe chociaż dużej mocy, tak aby zwiększyć ich sprawność energetyczną, a poprzez to zużycie energii na potrzeby własne ulegnie zmniejszeniu.



Rys. 1. Zależność mocy potrzeb własnych (P_{WA}) i mocy zużywanej przez układy napędowe (P_{NA}) w funkcji mocy wyjściowej bloku 200 MW

ENHANCEMENT ENERGY EFFICIENCY OF POWER UNITS 200 MW BY MODERNIZATION HIGH POWER DRIVE SYSTEMS FOR OWN NEEDS

National energy system mainly based on power units with power from 120 MW to 500 MW [1]. The largest group (62 items) are power units with power rating 200 MW. These units are installed in power plants which are fed by coal or charcoal. Gross power efficiency is 37% and at the beginning of 2000 it was around 8% lower than in European Union [1]. Low gross efficiency is caused by rules of power plants' work and by energy consumption which is produced for own needs. Between these needs, the most energy is consumed by drive systems.

In the article were presented possibilities of power unit 200 MW energy efficiency enhancement by modernization high power drive systems. In national energy system most of power units 200 MW have to be, though, rebuilt their generation capacity because technic life of many of them is ending. In conclusion, this is a very good time to modernize drive systems, though high power, in order to enhance their energy efficiency and thanks to this energy consumption for own needs will be lower than it is now.

Układy napędowe potrzeb własnych bloku energetycznego 200 MW

W bloku energetycznym 200 MW zachodzą dwie podstawowe przemiany energii. Jedna (pierwsza) polega na przemianie energii chemicznej zawartej w węglu na energię mechaniczną. Druga przemiana to zamiana energii mechanicznej w elektryczną. Obydwie te przemiany obsługiwane są przez szereg urządzeń, w których sprężanie i pompowanie są najczęstszymi zjawiskami. Maszynami roboczymi, które realizują te zjawiska, są wentylatory i pompy. Do ich napędzania służą silniki elektryczne. Silniki te o dużych mocach (powyżej 200 kW) są zasilane napięciem 6 kV. Suma mocy zainstalowanych tych silników (znamionowe wartości) może przekraczać 19 MW [2]. W tabeli 1 zostały podane moce znamionowe i ilości tych silników.

Na podstawie analizy punktów pracy wentylatorów i pomp potrzeb własnych bloku 200 MW największe oszczędności energii elektrycznej, poprzez regulację prędkości obrotowej silników po zastosowaniu przekształtników, można uzyskać w maszynach roboczych wymienionych w tabeli 2.

Pozostałe maszyny robocze są regulowane inną metodą niż regulacja prędkością obrotową. Dla wentylatorów jest to najczęściej regulacja kątem ustawienia łopat, a dla pomp systemem

Tabela 1. Podstawowe układy napędowe dużej mocy

Lp.	Nazwa maszyny roboczej	Moc znamionowa silnika	Liczba zainstalowanych
1	Wentylator młynowy	630 kW	4
2	Wentylator powietrza	500 kW	2
3	Wentylator spalin	850 kW	2
4	Pompa wody zasilającej	3150 kW	3
5	Pompa kondensatu	250 kW	3
6	Pompa wody dodatkowej	320 kW	1
7	Pompa wody chłodzącej	1250 kW	1
8	Pompa oleju	200 kW	1
9	Sprężarka	250 kW	1

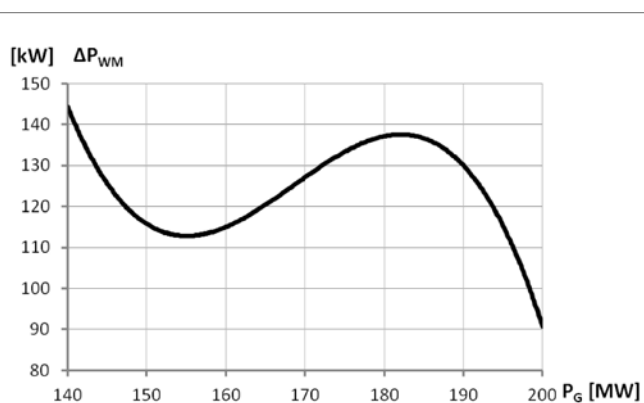
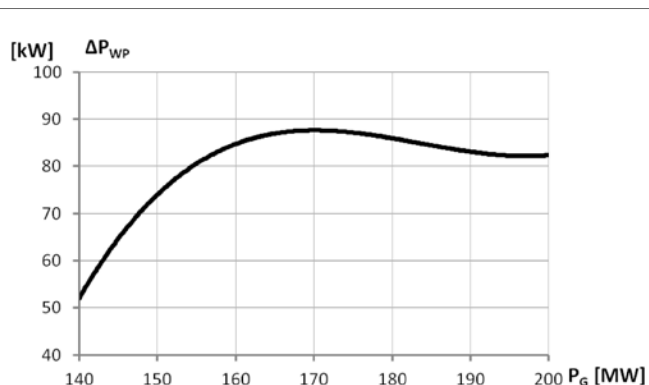
Tabela 2. Maszyny robocze z największymi możliwościami oszczędności energii elektrycznej poprzez regulację prędkości obrotowej silników

Lp.	Nazwa maszyny roboczej	Liczba pracujących zespołów x mocy znamionowa silnika
1	Wentylator młynowy	3 × 630 kW
2	Wentylator powietrza	2 × 500 kW
3	Wentylator spalin	2 × 850 kW
4	Pompa wody zasilającej	2 × 3150 kW

hydraulicznym. Pompy wody zasilającej są regulowane poprzez zmianę prędkości obrotowej przy pomocy sprzęgieł hydrokinetycznych o sprawności energetycznej malejącej liniowo wraz ze zmniejszeniem prędkości obrotowej. Dlatego uzasadnione jest zastosowanie przekształtników. W pracy [2] zostały przedstawione wyniki badań maszyn roboczych z układami napędowymi w zakresie obciążeń bloku 200 MW od 140 MW do wartości znamionowej. Były mierzone moce pobierane przez układy napędowe wytypowane do modernizacji (tabela 2) dla siedmiu punktów pracy bloku w zakresie podanych powyżej obciążeń. Dla danego punktu pracy mierzono również parametry technologiczne (ciśnienie, natężenie przepływu) maszyn roboczych. Na podstawie tych parametrów obliczono zużycie mocy potrzebnej na wale danej maszyny roboczej, jeżeli zostanie zastosowana regulacja prędkości obrotowej. Następnie obliczano sprawność silnika napędowego dla takiego obciążenia i moc pobieraną z przekształtnika zasilającego silnik. Przyjmując za wiarygodne dane sprawności przekształtnika uzyskane od producenta, obliczono moc pobraną z sieci zasilającej. Dla danego punktu pracy bloku można więc było porównać wartości mocy zużywanej przez dotychczasowy układ napędowy z wartością mocy zużywanej dzięki zastosowaniu przekształtnika i regulacji prędkości obrotowej.

Wyniki pomiarów i obliczeń mocy zaoszczędzonej po modernizacji

Tak jak było powiedziane powyżej, modernizacja układów napędowych może dać konkretne oszczędności energii elektrycznej podczas pracy bloku 200 MW. Poniżej zostaną za-

Rys. 2. Moc zaoszczędzona przez układ napędowy wentylatora młynowego (ΔP_{WM}) w funkcji mocy wyjściowej bloku (P_G)Rys. 3. Moc zaoszczędzona przez układ napędowy wentylatora powietrza (ΔP_{WP}) w funkcji mocy wyjściowej bloku (P_G)

mieszczane wykresy różnicy mocy zużywanej przez układ napędowy danej maszyny roboczej przed modernizacją i po zastosowaniu przekształtnika do regulacji prędkości obrotowej. Do analizy i obliczeń wzięto przekształtniki typu przemiennik częstotliwości średniego napięcia 6 kV z obwodem pośredniczącym typu źródło prądu. W obiekcie, z którego pochodzą dane eksperymentalne przyjęte w tym artykule do analizy [2], pracuje już przez 10 lat taki przemiennik z dobrymi efektami technicznymi i ekonomicznymi, zasilając silnik SN pompy wody sieciowej (moc silnika 1250 kW, 6 kV).

Obecnie ten typ przemiennika jest już nowszej generacji, z lepszymi parametrami technicznymi, i taki został wzięty do analizy.

Na rys. 2 został przedstawiony przebieg zaoszczędzonej mocy dla jednego wentylatora młynowego w funkcji mocy wyjściowej bloku 200 MW, przy czym:

$$\Delta P_{WM} = P_{WM} - P_{WMF} \quad (1)$$

Przyjęto oznaczenia:

- ΔP_{WM} – moc zaoszczędzona [kW];
- P_{WM} – moc pobierana przez układ napędowy dotychczas stosowany;
- P_{WMF} – moc pobierana przez przemiennik częstotliwości z sieci zasilającej [kW];
- P_G – moc wyjściowa bloku energetycznego [MW].

Zaoszczędzona moc zmienia się od 140 kW do 90 kW z charakterystycznym minimum lokalnym przy mocy wyjściowej bloku wynoszącym ok. 160 MW.

Na rys. 3 została przedstawiona moc zaoszczędzona przez układ napędowy wentylatora powietrza do kotła w funkcji mocy wyjściowej bloku 200 MW, przy czym:

$$\Delta P_{WP} = P_{WP} - P_{WPF} \quad (2)$$

Podobnie jak w zależności (1) przyjęto oznaczenia:

- ΔP_{WP} – moc zaoszczędzona [kW];
- P_{WP} – moc pobierana przez układ napędowy wentylatora powietrza dotychczas stosowany;
- P_{WPF} – moc pobierana przez przemiennik częstotliwości z sieci zasilającej [kW].

Zakres zaoszczędzonej mocy jest mniejszy niż na rys. 2, ale w szerokim zakresie mocy wyjściowej bloku waha się niewiele (80 kW – 90 kW).

Kolejnym wykresem zaoszczędzonej mocy elektrycznej przez wentylator spalin w funkcji mocy wyjściowej bloku 200 MW jest przebieg, który został przedstawiony na rys. 4, przy czym:

$$\Delta P_{WS} = P_{WS} - P_{WSF} \quad (3)$$

Na rys. 4 przyjęto oznaczenia:

- ΔP_{WS} – moc zaoszczędzona [kW];
- P_{WS} – moc pobierana przez układ napędowy wentylatora spalin dotychczas stosowany;
- P_{WSF} – moc pobierana przez przemiennik częstotliwości z sieci zasilającej [kW].

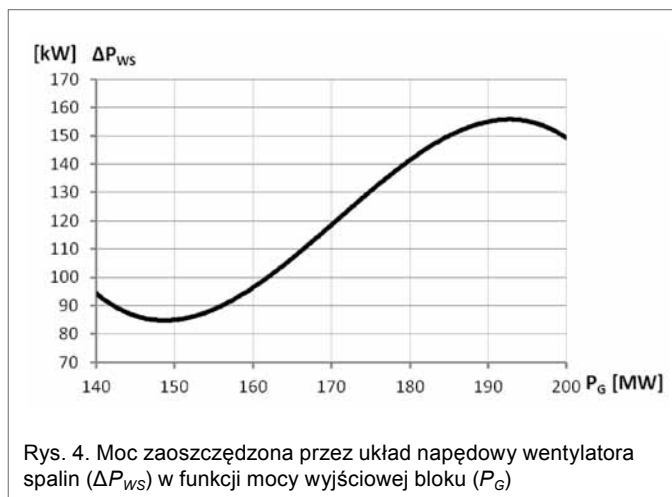
Zaoszczędzona moc ma dwa poziomy. Jeden, przy pracy bloku w zakresie mocy wyjściowej do 160 MW, waha się od 85 kW do 95 kW. Drugi, powyżej mocy wyjściowej bloku 170 MW, zmienia się od 130 kW do 155 kW.

Największą, pod względem mocy zainstalowanej, maszyną roboczą bloku 200 MW jest pompa wody zasilającej. Silnik o mocy 3150 kW napędza sprzęgło hydrokinetyczne regulujące prędkość obrotową pompy. Główną niedoskonałością takiej metody regulacji prędkości obrotowej jest malejąca sprawność energetyczna sprzęgła hydrokinetycznego wraz ze zmniejszaniem się prędkości obrotowej. Dlatego zastosowanie przemiennika częstotliwości i silnika wysokoobrotowego (o prędkości znamionowej większej od 3000 obr/min) daje dobre efekty ekonomiczne. Na rys. 5 została przedstawiona moc zaoszczędzona przez układ napędowy pompy wody zasilającej po zastosowaniu przemiennika częstotliwości z silnikiem wysokoobrotowym. Zostały wprowadzone oznaczenia:

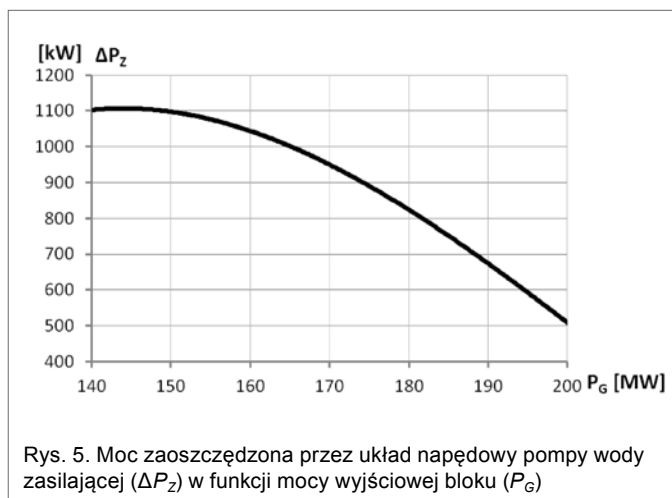
- ΔP_Z – moc zaoszczędzona [kW];
- P_{WZ} – moc pobierana przez układ napędowy pompy wody zasilającej dotychczas stosowany;
- P_{WZF} – moc pobierana przez przemiennik częstotliwości z sieci zasilającej [kW].

$$\Delta P_Z = P_{WZ} - P_{WZF} \quad (4)$$

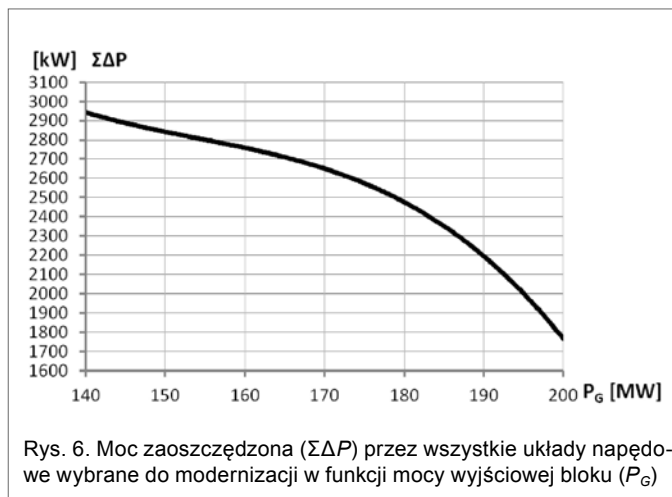
Na podstawie tego przebiegu wyraźnie widać duże możliwości oszczędności energii elektrycznej po modernizacji.



Rys. 4. Moc zaoszczędzona przez układ napędowy wentylatora spalin (ΔP_{WS}) w funkcji mocy wyjściowej bloku (P_G)



Rys. 5. Moc zaoszczędzona przez układ napędowy pompy wody zasilającej (ΔP_Z) w funkcji mocy wyjściowej bloku (P_G)



Rys. 6. Moc zaoszczędzona ($\Sigma \Delta P$) przez wszystkie układy napędowe wybrane do modernizacji w funkcji mocy wyjściowej bloku (P_G)

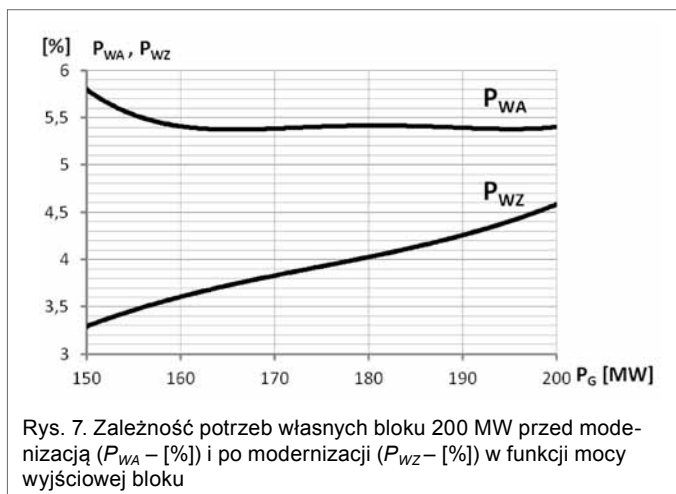
Podsumowanie i wnioski

Całkowita oszczędność mocy w proponowanych do modernizacji układach napędowych w funkcji mocy wyjściowej bloku została przedstawiona na rys. 6.

Zostały przyjęte oznaczenia:

- $\Sigma \Delta P$ – moc całkowita możliwa do oszczędności po modernizacji wybranych układów napędowych.

Na podstawie przebiegu wykresu widać, że możliwa jest oszczędność mocy od ok. 3 MW do 1,7 MW w zakresie zmian mocy wyjściowej bloku od 150 MW do 200 MW. Na rys. 7 zo-



stały przedstawione dwa przebiegi. Jeden dotyczy procentowego udziału mocy potrzeb własnych bloku 200 MW przed modernizacją układów napędowych (P_{WA} [%]). Drugi także dotyczy procentowego udziału mocy potrzeb własnych, ale po modernizacji układów napędowych (P_{WZ} [%]) w zakresie zmian obciążeń bloku od 150 MW do 200 MW. Procentowy spadek potrzeb własnych (odniesionych do mocy bloku) waha się więc w zakresie 2,5% do 0,8%.

Na podstawie powyższych pomiarów i obliczeń można wyciągnąć wnioski:

- zastosowanie modernizacji układów napędowych dużych mocy potrzeb własnych bloku 200 MW może dać duże efekty ekonomiczne w postaci zaoszczędzonej energii elektrycznej;
- nowoczesne układy napędowe oparte na wysoko sprawnych przemiennikach częstotliwości i systemach informatycznych pozwalają poprawić automatyzację bloku energetycznego;
- zaproponowane nowoczesne układy napędowe są coraz częściej stosowane w krajowej energetyce (eksploatowanych jest już kilkanaście takich napędów) ze względu na dobre efekty techniczne i ekonomiczne.

Literatura

- [1] PASKA J.: *Ekonomika w elektroenergetyce*. Oficyna Wydawnicza PW, Warszawa 2007.
- [2] SROKA S.: *Analiza modernizacji układów napędowych na bloku 200 MW*. Praca dyplomowa inżynierska. Wydział Elektryczny PW – ISEP, Warszawa 2002.
- [3] WIŚNIEWSKI L., FARUGA S.: *Modernizacja bloków 200 MW w TAURON Wytwarzanie SA*. „Napędy i Sterowanie”, 6/2012.

Zbigniew Szulc – Instytut Sterowania i Elektroniki Przemysłowej Politechniki Warszawskiej