

**Tomasz Kubera, PKN Orlen, Płock**  
**Zbigniew Szulc, Politechnika Warszawska, Warszawa**

## **POPRAWA EFEKTYWNOŚCI ENERGETYCZNEJ UKŁADU NAPĘDOWEGO POMPY WODY ZASILAJĄCEJ DUŻEJ MOCY**

### **IMPROVING OF ENERGY EFFICIENCY OF DRIVE SYSTEM FOR WATER SUPPLY PUMPS BIG POWER**

**Abstract:** In the article are presented based dependences wastes power in power transmission system of water feed pump with fluid flywheel (SH). On the basis this system, were calculated values of waste power in power transmission system of water feed pump with motor of 4 MW horse – power, 6 kV voltage and 3000 obr/min rotational, synchronus speed. As well was made calculations wastes power in power unit wit the same pump with motor controllable by means of frequency converter mean voltage (PCSN). Based on figures registration of wastes power in real power unit showed improvement efficiency energetic which have gained by use PCSN.

#### **1. Wstęp**

Układ napędowy pompy wody zasilającej jest największym, pod względem mocy elektrycznej, urządzeniem obsługującym blok energetyczny w ciepłowni, elektrociepłowni lub elektrowni. Moc silnika takiego układu napędowego zależy od mocy pompy zasilającej. Dla typowych bloków energetycznych o mocy 200 MW, 150 MW i mniejszych moc silnika wynosi 4 MW; 3,15 MW; 2 MW w zależności od kotła parowego i systemu hydraulicznego obsługującego taki blok. Często jeden blok obsługuje kilka pomp wody zasilającej kocioł. Dla bloku 200 MW stosowane są trzy układy napędowe pomp (dwie pracujące i jedna rezerwowa) z silnikami o mocy 3,15 MW i napięciu znamionowym 6 kV a prędkości synchronicznej 3000 obr/min. Regulacja parametrów wyjściowych pomp wody zasilającej najczęściej dla wspomnianych mocy odbywa się poprzez sterowanie prędkością obrotową. Od szeregu lat sterowanie prędkością dla tych pomp realizuje się przy pomocy sprzęgła hydrokinetycznego (SH). Od lat 80' ubiegłego wieku próbowano stosować z różnymi efektami eksploatacyjnymi kaskadowe układy napędowe z silnikami indukcyjnymi pierścieniowymi do pomp wody zasilającej. Oprócz szeregu zalet, jakie posiada układ napędowy ze sprzęgłem hydrokinetycznym (tłumienie zakłóceń mechanicznych, łagodny rozruch i zmiany prędkości obrotowej) cenną właściwością jest możliwość stosowania silnika indukcyjnego klatkowego.

#### **2. Opis rzeczywistego układu napędowego ze sprzęgłem hydrokinetycznym**

Analizę poprawy efektywności energetycznej układu napędowego pompy wody zasilającej poprzez zastosowanie przemiennika częstotliwości (PC) zamiast pracującego obecnie SH przeprowadzono na podstawie badań i obliczeń. Rozpatrywany układ napędowy pracuje w jednej z elektrociepłowni obiektu przemysłowego. Schemat ideowo – blokowy tego układu jest identyczny z przedstawionym w [1] a jego niektóre parametry znamionowe są następujące:

##### Silnik napędowy:

Typ: indukcyjny klatkowy (SYJ 142S)  
 Moc znamionowa: 4000kW  
 Prąd znamionowy: 442A  
 Prąd rozruchowy: 5,5 prądu znamionowego  
 Moment rozruchowy: 0,8 momentu znamionowego  
 Prędkość znamionowa: 2984 obr/min  
 Sprawność znamionowa: 95,7%

##### Pompa wody zasilającej (eksploatacyjne parametry)

Zmiany wydajności masowej: 230 t/h – 390 t/h  
 Zmiany ciśnienia na tłoczeniu: 16,12 MPa – 17,6MPa  
 Ciśnienie na ssaniu: 0,840 MPa – 0,825 MPa  
 Sprawność: 65,5% - 73%  
 Temperatura wody na tłoczeniu: 167°C – 168°C

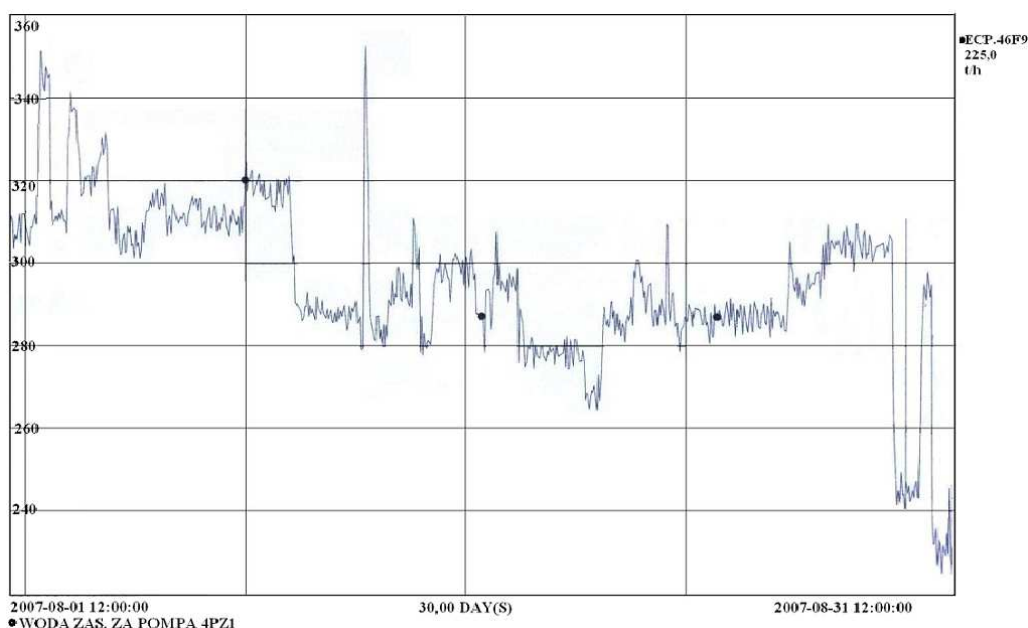
##### Sprzęgło hydrokinetyczne:

Zakres eksploatacyjny mocy wejściowej: 2100kW – 3100kW  
 Zakres eksploatacyjny zmian poślizgu: 5% - 20%.

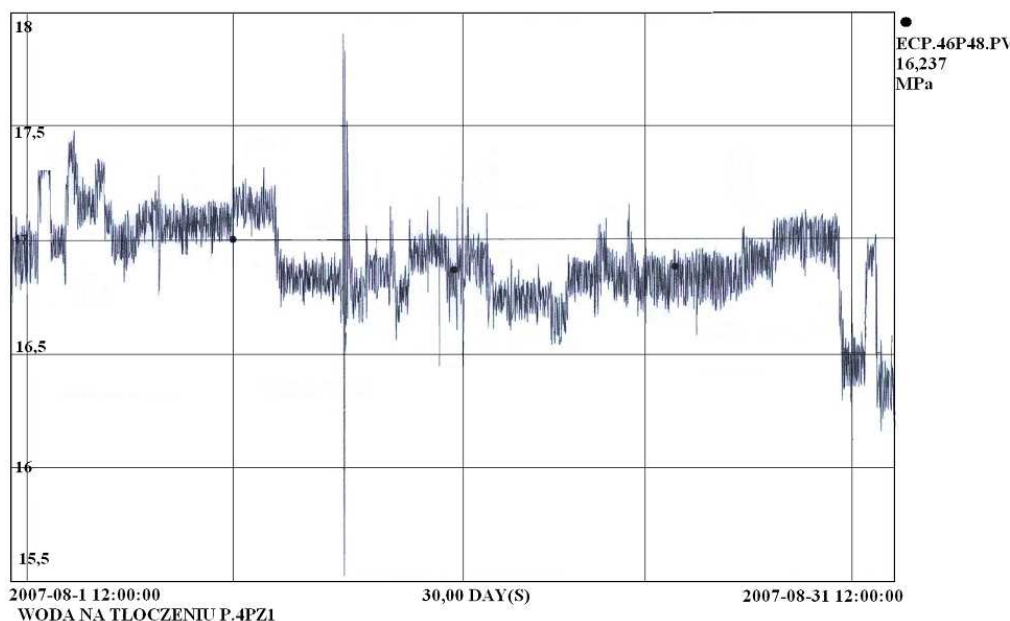
Zakres eksploatacyjny prędkości obrotowej wejściowej: 3480 obr/min – 3850 obr/min.

Kocioł parowy zasilany przez takie dwie pompy posiada znamionową wydajność pary, która wynosi 420 t/h. W celu zbadania zjawisk energetycznych takiego układu zarejestrowano przedstawione poniżej przebiegi w ciągu jednego miesiąca pracy (sierpień 2007). Na rys.1 została przedstawiona wydajność masowa ( $Q_M$ ), a na rys. 2 ciśnienie na tłoczeniu ( $p_i$ ). Zakres zmian wartości tych wielkości są typowe dla najczęściej występujących punktów pracy

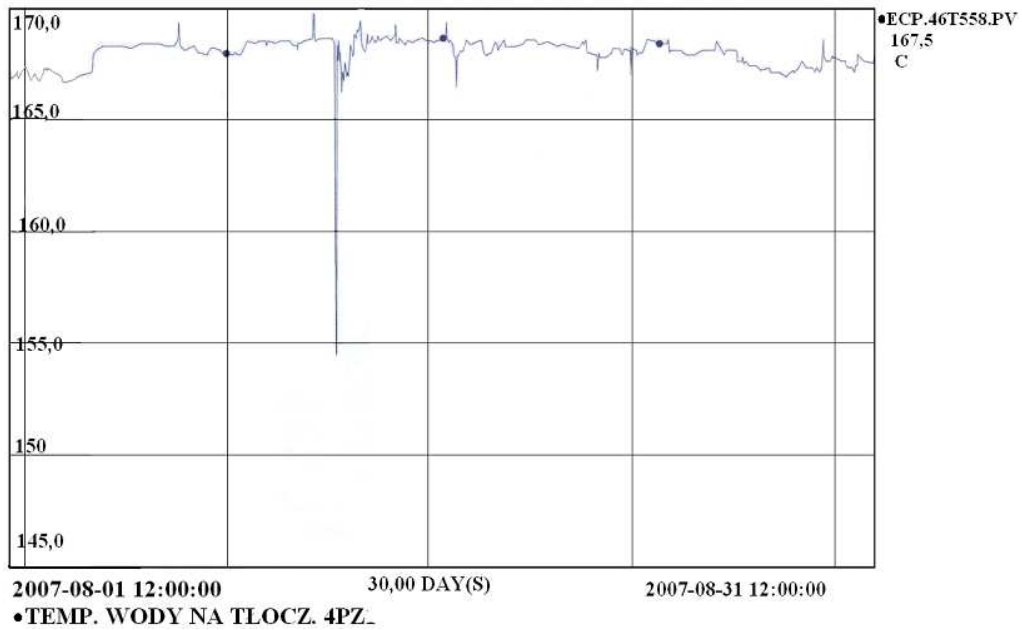
pompy podczas eksploatacji. Temperatura wody tłoczonej ulega niewielkim zmianom, co zostało przedstawione na rys. 3. Na rys. 4 został przedstawiony przebieg wartości skutecznej prądu silnika ( $I_s$ ) rejestrowany w ciągu 30 dni. Do oceny efektywności energetycznej sprzęgła hydrokinetycznego wykorzystano jego doświadczalną charakterystykę strat mocy  $\Delta P$  wyznaczoną na podstawie ciepła oddanego w chłodnicach. Charakterystyka tych strat została wyznaczona w funkcji wydajności masowej i jest przedstawiona na rys. 5.



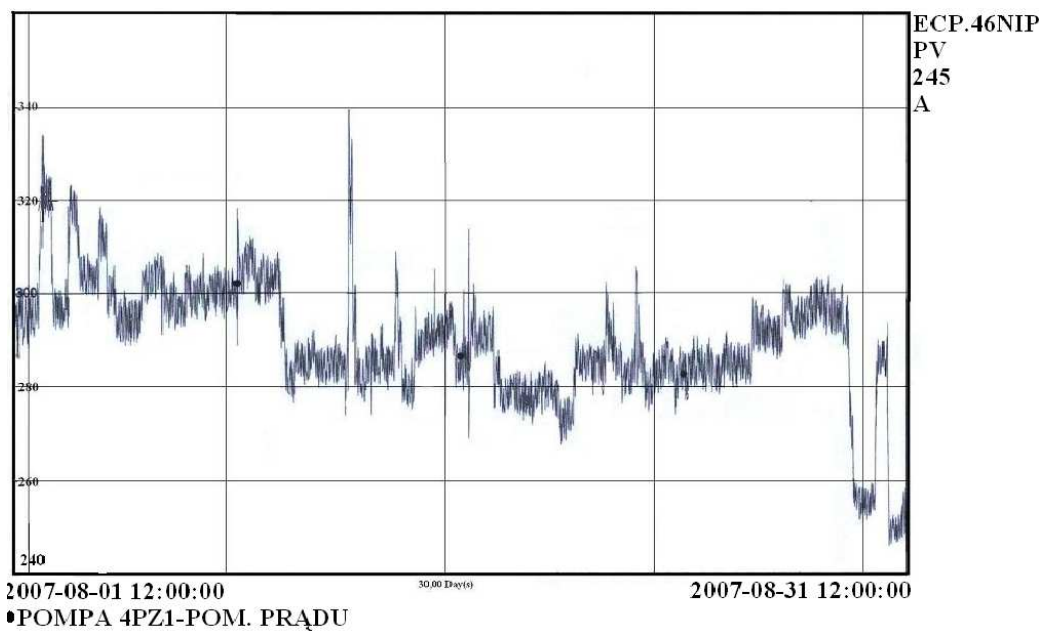
Rys. 1. Wydajność masowa pompy wody zasilającej w ciągu 30 dni.



Rys. 2. Zakres zmian ciśnienia na tłoczeniu przez pompę wody zasilającej w ciągu 30 dni



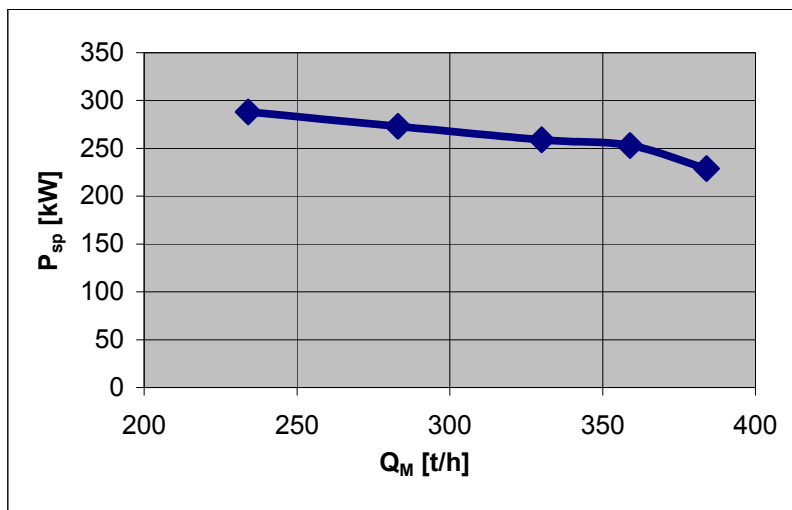
Rys. 3. Przebieg temperatury wody tłoczonej przez pompy wody zasilającej w ciągu 30 dni



Rys. 4. Przebiegi zmian wartości skutecznej prądu stojana silnika napędzającego sprzęgło hydrokinetyczne w ciągu 30 dni

Określenie strat mocy w silniku oprócz znajomości wartości prądu stojana wymaga podania wartości strat mechanicznych i w ob-

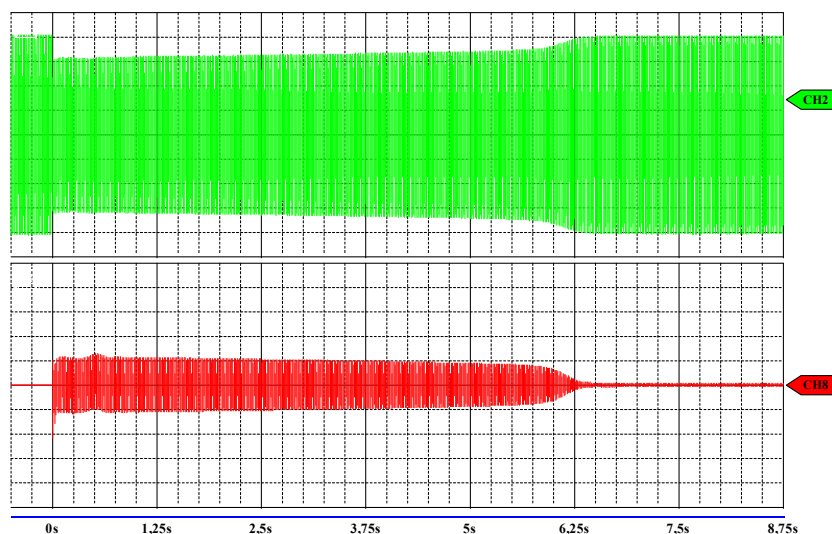
wodzie magnetycznym silnika. Do dalszych rozważań będą wzięte wyniki pomiarów silnika podczas próby zwarcia i biegu jałowego.



Rys. 5. Straty mocy w sprzęgle hydrokinetycznym w funkcji wydajności masowej

Rozruch silnika klatkowego napędzającego sprzęgło przez bezpośrednie załączenie do sieci zasilającej charakteryzuje się dużą wartością prądu rozruchowego. Na rys. 6 został przedstawiony oscylogram takiego rozruchu tego sil-

nika. Prąd rozruchowy powoduje spadek napięcia w sieci zasilającej, co może być przyczyną zakłóceń w pracy innych odbiorników przyłączanych do tej samej sieci.



Rys. 6. Oscylogram prądu rozruchowego silnika klatkowego 4 MW, 6 kV

### 3. Zastosowanie przemiennika częstotliwości średniego napięcia do poprawy efektywności energetycznej

Wiele zalet sprzęgła hydrokinetycznego nie kompensuje jednej podstawowej wady t.j. dużych strat mocy. Obecnie istnieje możliwość zastosowania PC średniego napięcia zamiast sprzęgła hydrokinetycznego. Do rozpatrywanej pompy wody zasilającej proponuje się zastosować PC średniego napięcia o topologii i właściwościach przedstawionych w [2].

Niewielkie odkształcenia prądu wejściowego i wyjściowego PC oraz napięcia wyjściowego

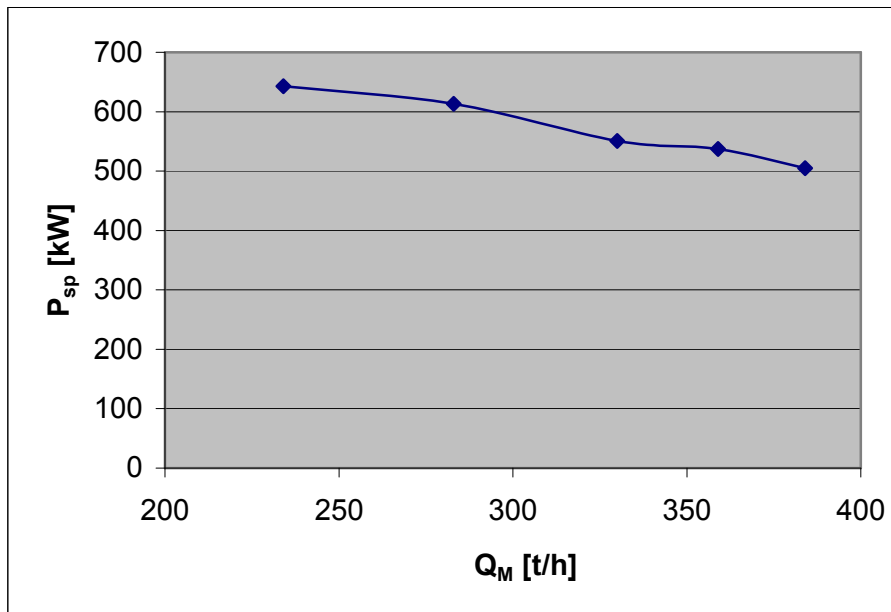
(THDI < 4%, THDU < 4%) umożliwia zastosowanie do obecnego silnika 4MW, 6kV. Częstotliwość wyjściowa max. tego PC wynosi 75Hz przy czym maksymalna prędkość obrotowa eksploatacyjna pompy nie przekracza 3900 obr/min. Do uzyskania tej prędkości obrotowej wystarczy częstotliwość wyjściowa 65Hz. Moc na wale pompy nie przekracza 2700kW. Należy sprawdzić czy możliwa jest praca ciągła tego silnika przy prędkości obrotowej o 30% większej od synchronicznej. Rzeczywiste obciążenie silnika wskazuje, że jest to możliwe.

Na podstawie przedstawionych wyżej charakterystyk sprzęgła oraz zależności na straty mocy w silniku i PC [2] obliczono starty mocy w układzie napędowym ze sprzęgłem i z PC. Do obliczeń wzięto pod uwagę straty mocy:

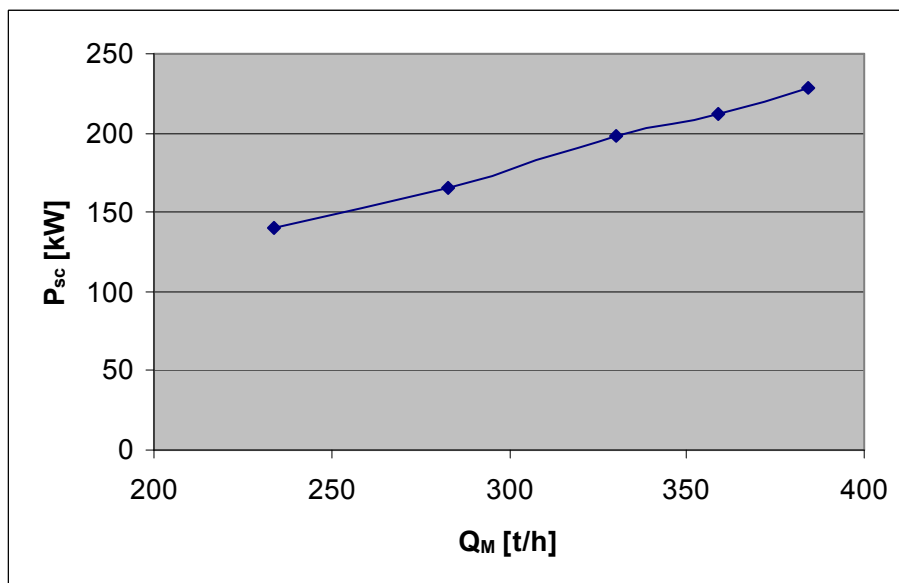
- w silniku (obciążeniowe, mechaniczne, w obwodzie magnetycznym),
- w sprzęgle hydrokinetycznym (w przekładni, poślizgowe, w łożyskach),
- w przemienniku częstotliwości PC (według danych producenta).

Należy zaznaczyć, że tylko straty mocy w PC są katalogowe. Pozostałe wartości strat mocy są mierzone lub wyliczone na podstawie wielkości zmierzonych w rozpatrywanym układzie napędowym.

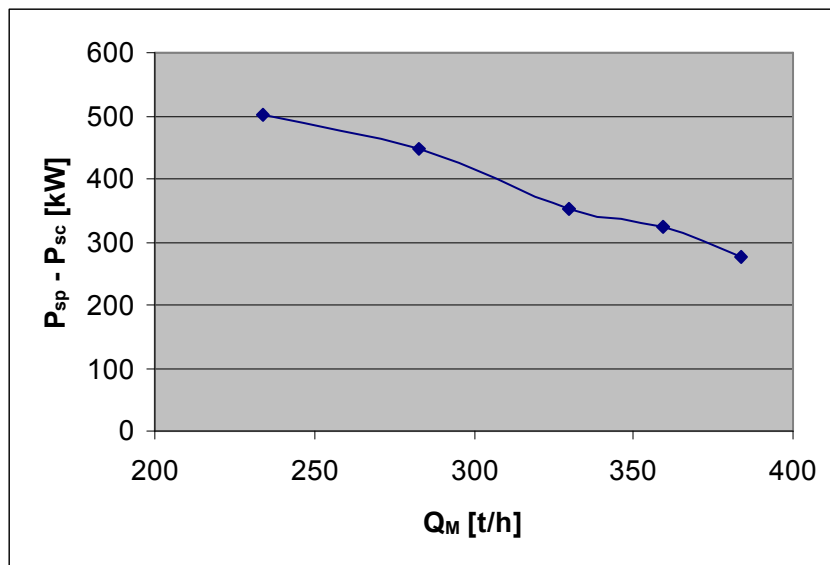
Na rys. 7 zostały przedstawione wyniki obliczeń strat mocy w układzie napędowym ze sprzęgłem, a na rys. 8 w układzie napędowym z PC.



Rys. 7. Straty mocy w układzie napędowym ze sprzęgłem hydrokinetycznym



Rys. 8. Straty mocy w układzie napędowym z przemiennikiem częstotliwości SN



Rys. 9. Efekty zaoszczędzonej mocy po zastosowaniu przemiennika częstotliwości SN

Różnice wartości strat mocy ( $\Delta P_{sp} - \Delta P_{sc}$ ) zostały przedstawione na rys. 9.

Na podstawie rys. 1 przeprowadzono uśrednienie wartości chwilowych wydajności masowej  $Q_M$  wyróżniając 24 wartości ( $Q_k$ ) średnie i odpowiadające im przedziały czasu ( $\Delta t_k$ ). Odczytując z rys. 9 wartości ( $\Delta P_{sp} - \Delta P_{sc}$ ) dla  $Q_k$  można obliczyć oszczędność energii elektrycznej ( $\Delta E$ ) uzyskanej dzięki zastosowaniu PC w ciągu miesiąca:

$$\Delta E = \sum_{k=1}^{24} (\Delta P_{sp} - \Delta P_{sc}) \cdot \Delta t_k \quad (1)$$

Ponieważ układ napędowy pompy wody zasilającej pracuje przez 11 miesięcy w roku (1 miesiąc – remont), całkowita wartość energii elektrycznej zaoszczędzonej w ciągu roku wynosi (przyjmując, że pozostałe miesiące są podobne, jeżeli chodzi o obciążenie).

$$E = 11 \cdot \Delta E \quad (2)$$

Po podstawieniu wartości do (1) i do (2) otrzymuje się:

$$E = 23,5 \cdot 10^5 \text{ kWh} \quad (3)$$

$$E = 2350 \text{ MWh} \quad (4)$$

Zastosowanie PC SN pozwoli również zoptymalizować prąd rozruchowy (ograniczyć) napędu.

#### 4. Wnioski

Przedstawione powyżej obliczenia zaoszczędzonej energii elektrycznej opierają się na pomiarach i obliczeniach rzeczywistego układu napędowego pompy wody zasilającej kocioł o wydajności 420t/h pary. Duża wartość zaoszczędzonej energii elektrycznej (2350 MWh) przy cenie 150 zł/kWh daje koszt zaoszczędzonej energii o wartości 352500zł. Pozwala to sądzić, że zwrot nakładów na ewentualną modernizację układu napędowego nie przekroczy 4 lat (na podstawie wstępnych oszacowań).

#### 5. Literatura

- [1]. Szulc Z., Koczara W.: *Poprawa efektywności energetycznej układu napędowego z silnikiem indukcyjnym średniego napięcia poprzez jego zasilanie z przemiennika częstotliwości*. EENSE, Podlesice 2005
- [2]. Przybylski J., Szulc Z.: *Zastosowanie przemiennika częstotliwości średniego napięcia z prądem wejściowym kształtowanym sinusoidalnie do pomp wirowych dużej mocy*. PEMINE, Ryto 2007