

# System sterowania pompownią wodociągową

Remigiusz Olesiński, Zbigniew Szulc

## Wstęp

System sterowania pompownią wodociągową powinien spełniać szereg funkcji. W niniejszym artykule autorzy przedstawiają system sterowania pompownią, która ma spełniać zadanie minimalizacji zużycia energii elektrycznej na przetłaczanie określonej ilości wody. Do rozważań została przyjęta przepompownia wody w dużym zakładzie chemicznym. Ilość wody potrzebnej w procesie chemicznym zmienia się w przedziale od ok. 35% do 100% maksymalnej wartości. Unowocześnienie procesu technologicznego dało efekt w postaci zmniejszenia zużycia surowców wejściowych. Równocześnie spowodowało zmniejszenie zapotrzebowania na wodę.

Do chwili obecnej w pompowni znajdowały się cztery połączone równolegle (na wspólny kolektor) pompy, przy czym w normalnych warunkach pracowały trzy, a jedna była rezerwowa. Wszystkie pompy mają jednakowe parametry znamionowe:

$$Q_N = 2100 \text{ m}^3/\text{h}$$

$$H_N = 80 \text{ m}$$

$$n_N = 1470 \text{ obr/min}$$

$$P_N = 560 \text{ kW}$$

dla czystej wody o danych:

$$t = 20^\circ\text{C}$$

$$\rho = 983 \text{ kg/m}^3$$

Producent tych pomp (serii B-35B50) dopuszcza regulację prędkości obrotowej w zakresie od 1000 obr/min do 1470 obr/min. Prawidłowa obsługa procesu chemicznego wymaga ciągłej zmiany wydajności pompowni w założonym zakresie. Z danych znamionowych pomp wynika, że konieczna jest praca jednej pompy lub zespołu dwóch albo trzech pomp jednocześnie. Na podstawie cha-

rakterystyk pomp oraz charakterystyki obiektu ( $H = f(Q)$ ), dla którego pracuje pompownia, autorzy zaproponowali zakresy pracy pomp tak, aby moc pobierana z elektrycznej sieci zasilającej była minimalna.

## Stany pracy pompowni

Na rysunku nr 1 zostały przedstawione charakterystyki przepływowe ( $H = f(Q)$ ) pompowni w przewidywanych stanach pracy. Linie ciągłe przedstawiają charakterystyki pojedynczej pompy przy czterech różnych prędkościach obrotowych:

$$n_1 = 1470 \text{ obr/min}$$

$$n_2 = 1400 \text{ obr/min}$$

$$n_3 = 1300 \text{ obr/min}$$

$$n_4 = 1200 \text{ obr/min}$$

Linie przerywane przedstawiają charakterystyki przepływowe dwóch równolegle pracujących pomp, a linie kropkowane trzech równolegle pracujących pomp z tymi samymi prędkościami wirowania.

Charakterystyka obiektu, na potrzeby którego pracuje pompownia, przedstawiona w postaci linii przerywanej o długich kreskach, przecina się z charakterystykami pomp w punktach:

- 3<sub>1</sub>, 3<sub>2</sub>, 3<sub>3</sub>, 3<sub>4</sub> – dla równolegle pracujących trzech pomp (3xP);
- 2<sub>1</sub>, 2<sub>2</sub>, 2<sub>3</sub>, 2<sub>4</sub> – dla równolegle pracujących dwóch pomp (2xP);
- 1<sub>1</sub>, 1<sub>2</sub>, 1<sub>3</sub>, 1<sub>4</sub> – dla pracującej jednej pompy (1xP)

i wyznacza możliwe punkty pracy pompowni.

Na charakterystykach przepływowych jednej pompy długimi liniami przerywanymi zaznaczone jest pole pracy, jakie producent pomp dopuszcza w eksploatacji. Analiza charakterystyk pokazuje, że wymagany zakres zmian wydajności pompowni:

**Abstract:** The selection of an appropriate control strategy of water-works pumps unit can provide improved energy efficiency. The article presents the considerations about control of pumping station in chemical plants. It is necessary to allow a large range of pumps' efficiency changes with minimizing energy consumption.

$$Q_{min} = 1500 \text{ m}^3/\text{h}$$

$$Q_{max} = 4500 \text{ m}^3/\text{h}$$

będzie realizowany przy zmianach prędkości obrotowej pomp w zakresie od prędkości minimalnej  $n_{min} = 1200 \text{ obr/min}$  do prędkości maksymalnej  $n_{max} = 1470 \text{ obr/min}$ .

Przy równoległej pracy trzech pomp każda z nich pracuje w zakresie podanym przez producenta (punkty 3<sup>I</sup>, 3<sup>II</sup>, 3<sup>III</sup>, 3<sup>IV</sup>). Podobnie jest przy pracy dwóch pomp (punkty 2<sup>I</sup>, 2<sup>II</sup>, 2<sup>III</sup>, 2<sup>IV</sup>). Przy pracy jednej pompy (punkty 1<sup>I</sup>, 1<sup>I</sup>, 1<sup>III</sup>, 1<sup>IV</sup>) dwa z wybranych punktów znajdują się poza zakresem pola dopuszczalnego. Odpowiada to zakresowi natężenia przepływu od 1900 m<sup>3</sup>/h do 2400 m<sup>3</sup>/h. W tym zakresie przepływ można uzyskać za pomocą dwóch pomp pracujących równolegle w dopuszczalnym zakresie charakterystyk.

## Moc elektryczna pobierana przez układy napędowe

Napęd każdej z pomp (także rezerwowej) stanowi silnik indukcyjny o danych znamionowych:

$$P_N = 630 \text{ kW}, U_N = 6 \text{ kV}$$

$$I_N = 70,7 \text{ A}, n_N = 1483 \text{ obr/min}$$

$$\eta_N = 95,3\%, \cos\varphi_N = 0,9$$

Silnik zasilany jest z przemiennika częstotliwości średniego napięcia (PCSN). Sprawność takiego przemiennika w zakresie obciążeń silnika od 10% do 100% zmienia się liniowo od ok. 94% do 97,5%. Charakterystyki energetyczne jednej pompy zostały przedstawione na rysunku nr 2. Przezienniki są zasilane z transformatora o mocy  $S_N = 2500$  kVA i przekładni napięciowej 15 kV/6 kV.

Moc czynna  $P_{SZ}$  pobierana z tego transformatora przez układy napędowe została obliczona na podstawie zależności (dla jednego układu napędowego):

$$P_{SZ} = \frac{P_W + \Delta P_M}{\eta_{PC}} \quad (1)$$

przy czym:

$P_W$  – moc na wale danej pompy (wyznaczona z charakterystyki na rys. nr 2);

$P_M$  – moc strat w silniku obciążonym mocą  $P_N$ .

Moc strat w silniku ( $\Delta P_M$ ) została obliczona na podstawie zależności:

$$\Delta P_M = \Delta P_{Cu} + \Delta P_{Fe} + \Delta P_m \quad (2)$$

przy czym:

$\Delta P_{Cu}$  – moc strat w uzwojeniach stojana i wirnika silnika

$$\Delta P_{Cu} = \Delta P_{CuN} \left( \frac{I}{I_N} \right)^2 \approx \Delta P_{CuN} \left( \frac{M}{M_N} \right)^2 \quad (3)$$

$I$  – wartość skuteczna prądu stojana silnika obciążonego mocą  $P_W$ ;

$M$  – moment na wale silnika obciążonego mocą  $P_W$  przy prędkości obrotowej  $n$ ;

$M_N$  – moment znamionowy silnika;

$\Delta P_{CuN}$  – moc strat w uzwojeniach silnika w punkcie znamionowym;

$\Delta P_{Fe}$  – moc strat w obwodzie magnetycznym silnika.

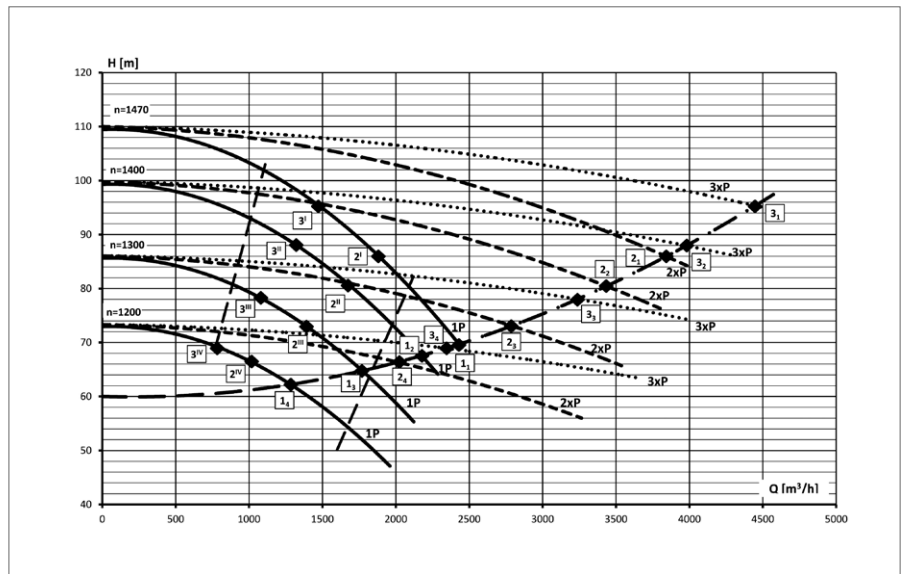
$$\Delta P_{Fe} = \Delta P_{FeN} \left( \frac{f}{f_N} \right)^{1,1} \quad (4)$$

przy czym:

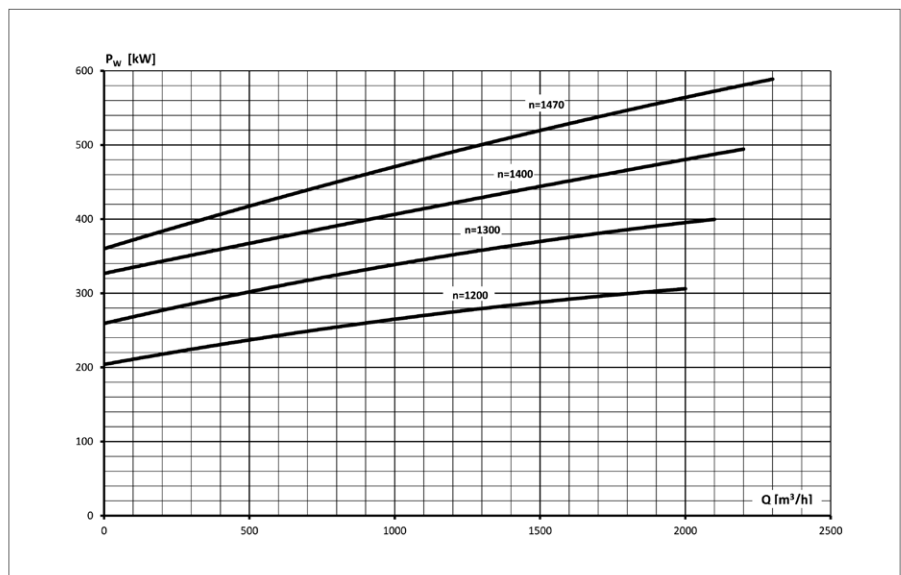
$\Delta P_{FeN}$  – moc strat w obwodzie magnetycznym silnika w punkcie znamionowym;

$f$  – częstotliwość napięcia zasilania silnika przy prędkości obrotowej  $n$  i mocy obciążenia  $P_W$ ;

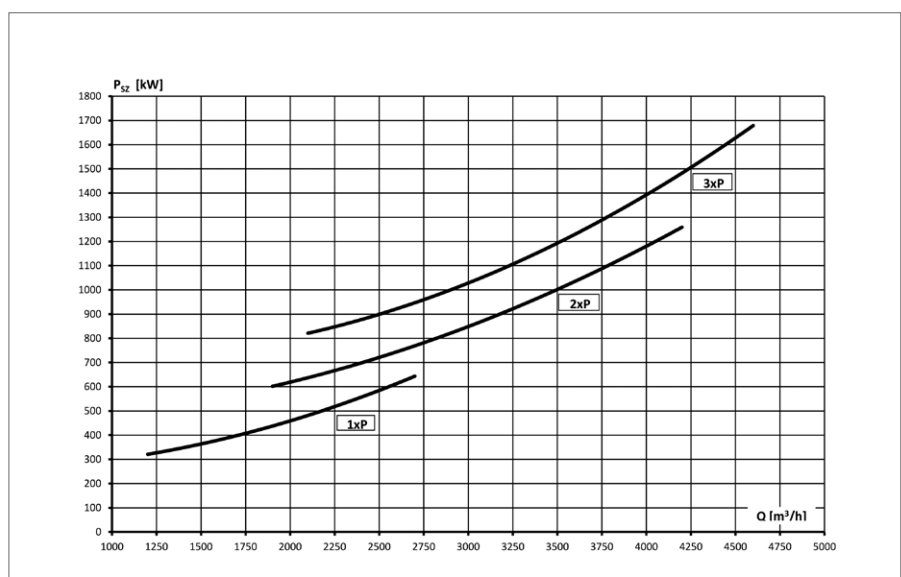
$f_N$  – częstotliwość znamionowa napięcia zasilania silnika.



Rys. 1. Charakterystyki przepływowe pompowni



Rys. 2. Charakterystyki energetyczne pompy



Rys. 3. Charakterystyki mocy pobranej z sieci zasilającej przez układy napędowe w pompowni

$$\Delta P_m = \Delta P_{mN} \left( \frac{n}{n_N} \right)^{2,5} \quad (5)$$

$\Delta P_m$  – moc strat mechanicznych w silniku przy prędkości obrotowej  $n$  i mocy obciążenia  $P_w$ ;

$\Delta P_{mN}$  – moc strat mechanicznych silnika w punkcie znamionowym.

Na podstawie powyższych zależności obliczono moc pobieraną z sieci zasilającej (z rozdzielni 6 kV) przez napędy pomp.

Na rys. 3 zostały przedstawione krzywe mocy pobranej ( $P_{SZ}$ ) przez układy napędowe pompowni (silniki regulowane przy pomocy przemienników częstotliwości) w następujących warunkach pracy:

- moc pobierana przez zespoły napędowe trzech pomp (3xP);
- moc pobierana przez zespoły napędowe dwóch pomp (2xP);
- moc pobierana przez zespół napędowy jednej pompy (1xP).

Przemienniki częstotliwości zostały dobrane z uwzględnieniem dobrych wartości współczynników energetycznych:

- współczynnik THDI prądu wejściowego i wyjściowego przemiennika < 8%;
- współczynnik mocy dla pierwszej harmonicznej prądu pobieranego z sieci zasilającej względem nieodkształconego napięcia  $\cos \phi_1 > 0,92$ .


### Podsumowanie i wnioski

Na podstawie rys. 3 można przewidzieć zakresy pracy dla trzech, dwóch lub jednego zespołu pompowego:

- minimalna wydajność pompowni to ok. 1200 m<sup>3</sup>/h;
- dla natężenia przepływu do ok. 1900 m<sup>3</sup>/h najmniej mocy pobiera napęd pojedynczej pompy;
- powyżej wydajności 1900 m<sup>3</sup>/h, ze względu na dopuszczalne pole pracy, powinny pracować dwa układy napędowe pomp;
- dwa układy napędowe powinny pracować przy natężeniu przepływu z pompowni do ok. 3900 m<sup>3</sup>/h;
- dla zapewnienia przepływu powyżej 3900 m<sup>3</sup>/h należy włączyć do pracy trzy zestawy pompowe.

Na podstawie przebiegów wykresów mocy  $P_{SZ}$  w funkcji natężenia przepływu przepompowni można dodatkowo stwierdzić:

- jeżeli producent zaakceptuje pracę pompy poza standardowym polem dopuszczalnej pacy, to ze względu na zużycie energii w zakresie powyżej  $Q = 1900 \text{ m}^3/\text{h}$  do  $Q = 2400 \text{ m}^3/\text{h}$  korzystniejsza jest praca pojedynczego zestawu układ napędowy – pompa;
- również dla natężenia przepływu  $Q > 3900 \text{ m}^3/\text{h}$  przy prędkościach obrotowych  $n > 1470 \text{ obr}/\text{min}$  możliwa jest praca dwoma zestawami pomp, która zapewni zużycie energii mniejsze niż przy pracy trzema zestawami. Przemienniki częstotliwości umożliwiają przecież pracę z częstotliwością wyjściową zwiększoną np. do 80 Hz. Należy jednak wówczas sprawdzić obciążenia silników.

 **Remigiusz Olesiński, Zbigniew Szulc** –  
ZAKŁAD NAPĘDU ELEKTRYCZNEGO  
Instytut Sterowania i Elektroniki  
Przemysłowej Politechniki Warszawskiej

artykuł recenzowany