

Waldemar Jędrał

Instytut Techniki Ciepłej

## MODERNIZACJA POMP I INSTALACJI ORAZ INNE UWARUNKOWANIA REGULACJI ILOŚCIOWEJ W ELEKTROCIEPŁOWNIACH I CIEPŁOWNIACH

W pracy przedstawiono krótko szereg prostych zabiegów modernizacyjnych, możliwych do wykonania w zakresie pomp i instalacji wody sieciowej oraz poprawy doboru pomp do instalacji. Podano sposób wyznaczenia łącznej charakterystyki hydraulicznej układu: pompy sieciowe plus sieć wewnętrzna EC. Przeanalizowano wpływ postaci charakterystyki m.s.c. na konieczny zakres zmian prędkości obrotowej pomp oraz na straty energii w całym systemie ciepłowniczym. Zestawiono wszystkie niezbędne działania składające się na metodykę kompleksowej modernizacji pomp sieciowych i ich instalacji oraz doboru optymalnych ekonomicznie układów napędowych tych pomp.

### OZNACZENIA

- $H$  [m] – wysokość podnoszenia pompy
- $H_{EC}$  [m] – wysokość podnoszenia układu: pompy + sieć wewnętrzna, mierzona na przyłączach EC (CM)
- $H_{m.s.c.}$  [m] – wysokość podnoszenia wymagana przez m.s.c., mierzona na przyłączach EC (CM)
- $H_{st}$  [m] – statyczna wysokość podnoszenia układu pompowego
- $H_{uk}$  [m] – wysokość podnoszenia dla dowolnego układu pompowego (instalacji pompowej), np. instalacji wewnętrznej w CM
- $\Delta H_{dt}$  [m] – strata dławienia w sieci, odcinku rurociągu lub pojedynczym elemencie (zaworze, kryzie) przy określonym strumieniu  $Q_s$  lub  $Q$
- $\Delta H_s$  [m] – wysokość ciśnienia dyspozycyjnego (różnicy ciśnień na przyłączach);  $\Delta H_s = (p_z - p_p) / \rho g$
- $\Delta h$  [m] – opory przepływu w elemencie, rurociągu lub sieci rurociągów

- $n$  [obr/min] – prędkość obrotowa (ogólnie); prędkość obrotowa pompy  
 $p$  [MPa] – ciśnienie  
 $Q$  [m<sup>3</sup>/h] – wydajność pompy  
 $Q_s$  [m<sup>3</sup>/h] – strumień wody sieciowej, mierzony na wyjściu z EC (CM)

## Indeksy

- EC – dotyczy elektrociepłowni lub ciepłowni miejskiej  
m.s.c. – dotyczy miejskiej sieci ciepłowniczej  
 $p$  – dotyczy powrotu z m.s.c.  
 $z$  – dotyczy zasilania m.s.c.

## Skróty stosowane w tekście

- CM – ciepłownia miejska  
EC – elektrociepłownia  
m.s.c. – miejska sieć ciepłownicza  
PEC – przedsiębiorstwo energetyki ciepłej

## WSTĘP

W poprzedniej pracy [1] podano zbiór przedsięwzięć, jakie powinny poprzedzać wprowadzenie energooszczędnej regulacji parametrów pracy pomp sieciowych oraz omówiono szczegółowo zagadnienia związane z identyfikacją oraz oceną pomp i wewnętrznej instalacji wody sieciowej. Na podstawie wyników tych działań powinny być następnie przeprowadzone:

- modernizacja wewnętrznej instalacji wody sieciowej,
- modernizacja pomp i poprawa ich dopasowania do instalacji, jak również:
- analiza współpracy sieci wewnętrznej z m.s.c. i wynikające stąd uwarunkowania racjonalnego wyboru sposobu regulacji.

## 1. POPRAWA DOBORU I MODERNIZACJA POMP ORAZ MODERNIZACJA INSTALACJI WODY SIECIOWEJ

### 1.1. MODERNIZACJA WEWNĘTRZNEJ INSTALACJI WODY SIECIOWEJ

Końcowym rezultatem analizy wyników pomiarów, omówionych w pracy [1], powinno być dokonanie odpowiednich zabiegów modernizacyjnych, których zakres może być szeroki.

## A. Ciepłownie miejskie

Podstawowym zabiegiem w ciepłowniach miejskich powinna być przebudowa obiegów gorącego i zimnego zmieszania, omówiona szczegółowo w m.in. [2], [3]. Polega ona na likwidacji dławienia w tych obiegach przez zastosowanie specjalnie dobranych pomp obiegowych o znacznie mniejszych wysokościach podnoszenia niż w przypadku pomp sieciowych.

**Uwaga.** Jednym z wyników ww. modernizacji powinno być zmniejszenie liczby głównych pomp sieciowych i ew. zmiana ich parametrów znamionowych. Należy to uwzględnić podczas dokonywania poprawy dostosowania pomp do instalacji (punkt 1.2).

## B. Elektrociepłownie i ciepłownie miejskie

Najważniejsze możliwe zabiegi modernizacyjne, to:

- zmiana konfiguracji, tj. uproszczenie najbardziej złożonych fragmentów instalacji wody sieciowej,
- całkowita zmiana poszczególnych odcinków rurociągów (zwłaszcza w celu zmniejszenia zbyt dużych prędkości przepływu),
- oczyszczenie wymienników i kotłów wodnych,
- racjonalizacja konstrukcji filtrów wodnych taka, aby straty przepływu w poszczególnych filtrach nie przekraczały wartości  $\Delta h_{fw \max} = 3 \text{ m}$ ,
- wymiana starych zasuw odcinających na przepustnice,
- usunięcie z rurociągów kryz dławiących,
- zastąpienie przepływomierzy zwężkowych przez przepływomierze indukcyjne lub ultradźwiękowe,
- usunięcie innych źródeł strat (np. źle ułożonych uszczelki w połączeniach kołnierzowych).

Można oczekiwać, że kompleksowe działania w tym zakresie – będące wynikiem szczegółowego przeglądu technicznego całej instalacji wewnętrznej wody sieciowej – mogą przynieść zmniejszenie strat w instalacji nawet o  $\Delta h_{ws} = 10\text{--}20 \text{ m}$  i w konsekwencji znaczne oszczędności energii.

## 1.2. POPRAWA DOSTOSOWANIA POMP DO INSTALACJI

Kroki zmierzające do poprawy dostosowania pomp do instalacji należy przedsięwziąć dopiero po wykonaniu modernizacji tej instalacji wg punktu 1.1 oraz przeprowadzeniu ponownych pomiarów, zgodnie z wytycznymi podanymi w [1].

Możliwych jest wiele różnych zabiegów, omówionych i uzasadnionych m.in. w [3...6]. Są to zwłaszcza:

- zmniejszenie średnicy zewnętrznej wirnika (wirników) przez jego obtoczenie lub wytoczenie łopatek w przypadku pomp wielostopniowych,

- usunięcie stopnia (stopni) w pompie wielostopniowej,
- zaprojektowanie (przy udziale specjalistów) i wykonanie nowych elementów przepływowych (wirniki, kierownice) na wydajność zmniejszoną lub powiększoną w porównaniu z wydajnościami nominalnymi,
- zmniejszenie prędkości obrotowej pompy (konieczność rzadko występująca),
- w przypadku rażącego niedostosowania – wymiana pompy (pomp) na inną.

Powyższe zabiegi (poza projektem nowych elementów przepływowych) są możliwe do wykonania przez każdego użytkownika pomp. Wskazane jest jednak skonsultowanie się przedtem z kompetentnymi specjalistami w zakresie pomp i ich eksploatacji.

### 1.3. MODERNIZACJA POMP W CELU POPRAWY ICH SPRAWNOŚCI

Podczas planowych przeglądów i remontów można wykonać wiele zabiegów modernizacyjnych podwyższających sprawność nie tylko pomp o długim okresie eksploatacji lecz również pomp stosunkowo nowych. Są to zwłaszcza następujące zabiegi:

- modernizacja uszczelnień wewnętrznych (szyjek wirników i międzystopniowych), np. przez nacięcie na wirujących powierzchniach rowków o odpowiednio dobranych wymiarach [7],
- zwiększenie gładkości powierzchni przepływowych przez pokrycie ich tworzywami typu Belzona, Corrocoat itp.,
- wymiana uszczelnień sznurowych na dławnice mechaniczne.

Te i inne zabiegi omówiono szczegółowo m.in. w publikacjach [8], [9].

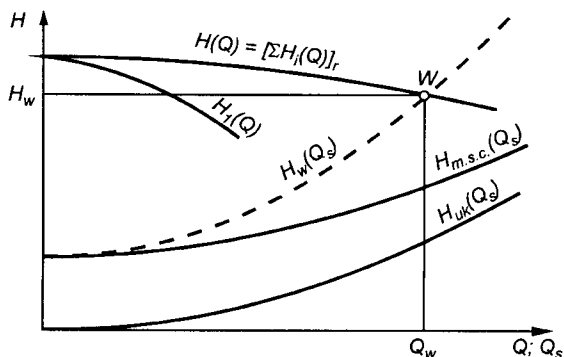
## 2. WYPADKOWA CHARAKTERYSTYKA UKŁADU: POMPY SIECIOWE I INSTALACJA WEWNĘTRZNA EC

### 2.1. WYPADKOWA CHARAKTERYSTYKA UKŁADU DLA CM

W większości ciepłowni miejskich pompy sieciowe są instalowane jedna obok drugiej. Mając doświadczalnie wyznaczone charakterystyki  $H_i(Q)$  pomp,  $H_{uk}(Q_s)$  instalacji wewnętrznej oraz znając charakterystykę  $H_{m.s.c.}(Q_s)$  miejskiej sieci ciepłowniczej można sporządzić, wg zasad omówionych np. w [6]:

- wypadkową charakterystykę  $H(Q) = [H_1(Q) + H_2(Q) + \dots + H_i(Q)]_r$  grupy pomp połączonych równolegle,
- wypadkową charakterystykę  $H_w(Q_s) = [H_{uk}(Q_s) + H_{m.s.c.}(Q_s)]$  układu: sieć wewnętrzna CM + m.s.c. połączone szeregowo i w przecięciu obu charakterystyk wyznaczyć punkt współpracy  $W$  obu powyższych układów (rys. 1).

Punkty współpracy należy wyznaczyć dla różnych konfiguracji pracujących pomp i innych elementów instalacji możliwie w całym zakresie  $Q_s = Q_{s\min} \div Q_{s\max}$ .



Rys. 1. Wyznaczenie punktu współpracy ciepłowni miejskiej z miejską siecią ciepłowniczą dla przypadku pomp sieciowych zainstalowanych blisko siebie

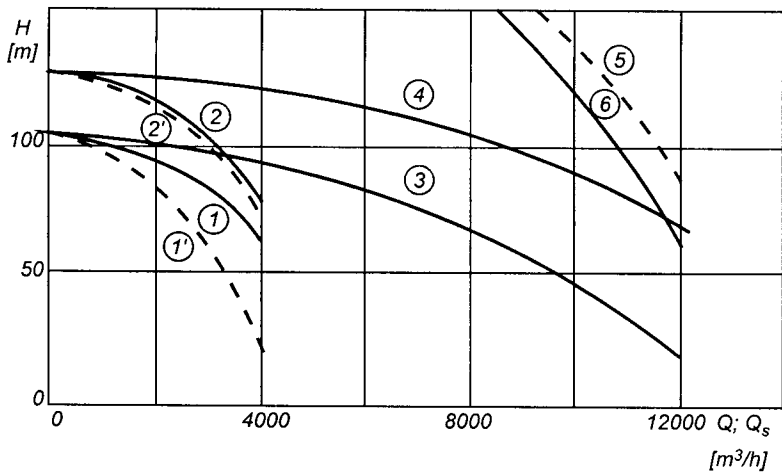
Tak wyznaczony punkt  $(Q_w, H_w)$  powinno się porównać z punktem  $(Q_s, \Delta H_s)$  wynikającym z pomiarów dokonywanych w sposób ciągły na wyjściu z CM. W przypadku rozbieżności należy skontrolować wyniki pomiarów i późniejszych obliczeń jak również sprawdzić dokładność i ważność świadectw wzorcowania przyrządów kontrolno-pomiarowych na przyłączy CM.

**Uwaga.** Obliczenie charakterystyki  $H_{uk}(Q_s)$  powinno zostać poprzedzone inwentaryzacją rurociągów, tj. określeniem długości i średnic wewnętrznych rur, rodzajów armatury i wartości ich współczynników strat itp.

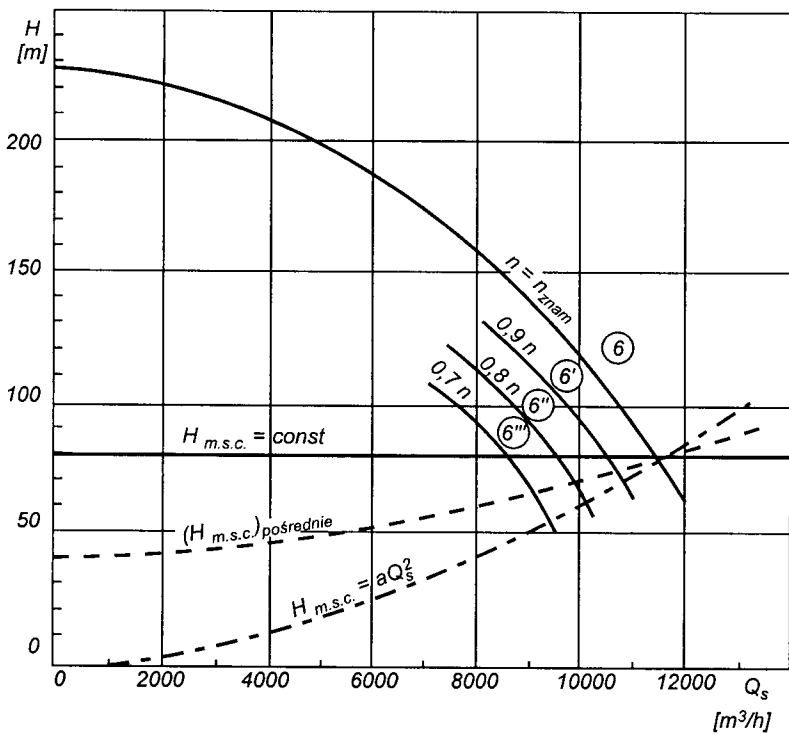
## 2.2. WYPADKOWA CHARAKTERYSTYKA UKŁADU DLA EC

W przypadku elektrociepłowni obliczenia są bardziej złożone. Zarówno dla układu kolektorowo-blokowego jak i kolektorowego [1] poszczególne pompy są oddalone od siebie, wskutek czego mogą pracować w warunkach różniących się niekiedy dość znacznie. Z tego względu nie można wyznaczyć wypadkowej charakterystyki grupy pomp mimo, iż pompy formalnie współpracują równolegle. Nie można też wyznaczyć wypadkowej charakterystyki całej sieci wewnętrznej EC, ponieważ poszczególne odcinki tej sieci są ściśle związane z konkretnymi pompami i ich opory hydrauliczne należy wykorzystać podczas budowania zastępczych, tzw. zredukowanych charakterystyk pomp [6]. Należy zatem wyznaczyć łączną charakterystykę hydrauliczną  $H_{EC}(Q_s)$  układu: pompy sieciowe + sieć wewnętrzna EC.

Dla grupy 6 pomp: NC', NC'', NC''' oraz PS', PS'', PS''' w EC 2 (fragment układu pokazany jest na rys. 2 w [1]) kolejność postępowania jest następująca:



Rys. 2. Sposób otrzymania charakterystyki zredukowanej na przykładzie EC 2



Rys. 3. Orientacyjna charakterystyka  $H_{EC}(Q_s)$  dla EC 2 oraz współpraca EC z m.s.c. o różnych charakterystykach

1. Charakterystykę ① każdej z pomp NC redukuje się do punktu  $R_1$  na kolektorze pośrednim (rys. 2), odejmując opory przepływu  $\Delta h_1(Q)$  na trasie: kolektor doprowadzający – pompa NC – wymiennik – punkt  $R_1$ ; otrzymuje się charakterystykę ①'.
2. Charakterystyki ①' dodaje się równoległe, otrzymując zredukowaną do punktu  $R_1$  charakterystykę ③ trzech współpracujących pomp NC.
3. W podobny sposób, odejmując opory  $\Delta h_2(Q)$ , redukuje się charakterystyki ② pomp PS do punktu  $R_2$  na kolektorze odprowadzającym, otrzymując charakterystykę ②'.
4. Charakterystyki ②' dodaje się równoległe, otrzymując zredukowaną do punktu  $R_2$  charakterystykę ④ trzech współpracujących pomp PS.
5. Charakterystyki ③ i ④ dodaje się szeregowo otrzymując zredukowaną charakterystykę ⑤ grupy 3 pomp NC i 3 pomp PS.
6. Od charakterystyki ⑤ odejmuje się opory przepływu  $\Delta h_3(Q)$  w kolektorze doprowadzającym (od punktu dopływu z m.s.c.) i odprowadzającym (od punktu  $R_2$  do miejsca połączenia z m.s.c.) otrzymując zastępczą charakterystykę ⑥  $H_{EC}(Q_s)$  dla danej grupy pomp NC i PS (rys. 3). Dla innej grupy pomp (inne pompy NC i PS lub inne ich liczby) otrzyma się inną charakterystykę ⑥'.

Na rys. 3 pokazano wpływ zmian prędkości obrotowych pomp PS na charakterystykę  $H_{EC}(Q_s)$ . Krzywa ⑥ dotyczy prędkości znamionowych  $n_{z\text{nam}}$ , zaś krzywe ⑥', ⑥'', ⑥''' – prędkości zmniejszonych odpowiednio do  $n = 0,9 n_{z\text{nam}}$ ;  $0,8 n_{z\text{nam}}$  i  $0,7 n_{z\text{nam}}$ . Założono dla uproszczenia, że we wszystkich pompach PS prędkości obrotowe są takie same.

Podobnie można postępować w przypadku każdego, dowolnie złożonego układu pompowego. Jednak od pewnego stopnia komplikacji takie postępowanie staje się bardzo czasochłonne i z tego względu mało efektywne lub wręcz niewykonalne. Dlatego też dla dużych EC jedynym praktycznym sposobem jest wykorzystanie jednego z istniejących zaawansowanych programów obliczania przepływów w złożonych układach hydraulicznych.

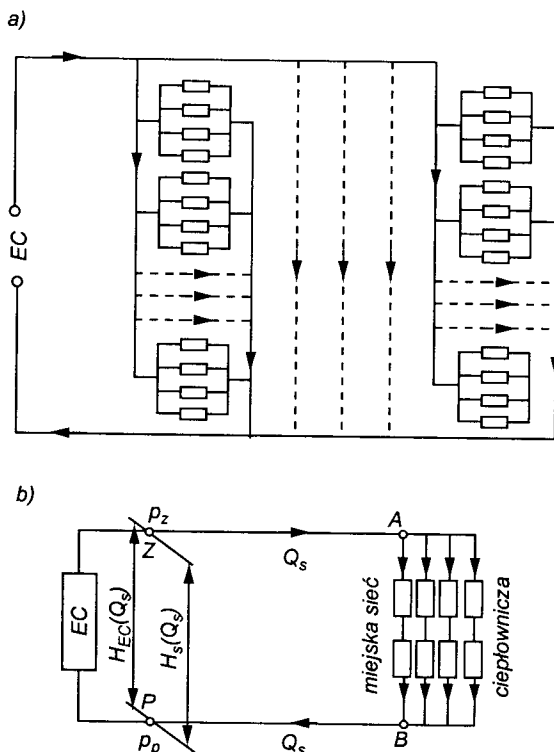
W każdym przypadku końcowym wynikiem obliczeń powinna być wspomniana wyżej charakterystyka  $H_{EC}(Q_s)$ , a ściślej – zbiór wielu takich charakterystyk dla wszystkich możliwych konfiguracji pracy pomp sieciowych i źródeł ciepła, jakimi są wymienniki podstawowe, wymienniki szczytowe i kotły wodne.

Jest bardzo wskazane, aby dla każdej obliczanej konfiguracji wyznaczyć doświadczalnie co najmniej 1 lub 2 punkty  $(Q_s, H_{EC})$  w celu weryfikacji wyników obliczeń.

### 3. CHARAKTERYSTYKA M.S.C. I JEJ WPŁYW NA ZAKRES REGULACJI POMP

#### 3.1. RÓŻNE POSTACIE CHARAKTERYSTYK M.S.C.

Miejska sieć ciepłownicza jest układem hydraulicznym bardzo złożonym. Niezależnie jednak od tego ile jest w niej węzłów ciepłowniczych i w jaki sposób są one połączone, można ją przedstawić ideowo tak jak na rys. 4a. Połączenie EC lub CM z m.s.c. pokazano schematycznie na rys. 4b.



Rys. 4. a) schemat ideowy m.s.c.; b) połączenie m.s.c. z EC

M.s.c. stanowi obwód zamknięty, zaczynający się na wyjściu z EC (zasilanie) a kończący na wejściu (powrót). Między początkiem i końcem sieci nie ma więc różnicy poziomów, stąd  $H_{st} = 0$  i charakterystyka m.s.c. ma tylko część dynamiczną, na którą składają się opory przepływu  $\Delta h_{mag} = a_1 Q_s^2$  w magistralach przesyłowych (zasilającej i powrotnej) oraz łączne opory  $\Delta h_{odb}$  w odbiornikach, tj. węzłach ciepłowniczych i łączących je rurociągach. Zbiór węzłów ciepłowniczych jest połączony z magistralami szeregowo.

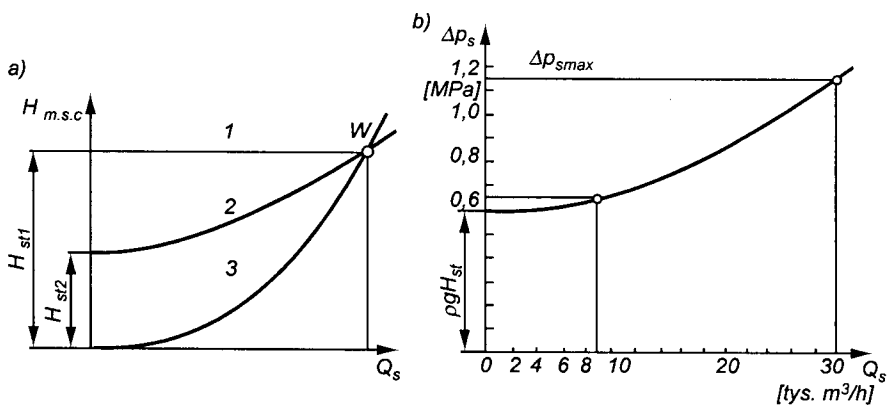


Niezależnie od liczby i konfiguracji węzłów ciepłowniczych mogą być one połączone ze sobą tylko równolegle (każdy prostokąt na rys. 4a może reprezentować dowolną liczbę oporów połączonych równolegle). Wypadkową stratę ciśnienia w takim układzie odbiorników zawsze będzie przedstawiała parabola  $\Delta h_{\text{oddb}} = a_2 Q_s^2$ . Jeśli przyjąć, że na zasilaniu i powrocie płynie ten sam strumień  $Q_s$  (brak straty wody sieciowej) i uwzględnić, że łączne straty w sieci ciepłowniczej wynoszą  $\Delta h_{\text{mag}} + \Delta h_{\text{oddb}} = \Delta h_s$ , to

$$\Delta h_s = a_1 Q_s^2 + a_2 Q_s^2 = a Q_s^2 \quad (1)$$

gdzie  $a_1$ ,  $a_2$ ,  $a = a_1 + a_2$  – stałe współczynniki.

Charakterystyką sieci ciepłowniczej  $H_{\text{m.s.c.}} = \Delta h_s = a Q_s^2$  będzie więc parabola o wierzchołku w początku układu współrzędnych (dla  $Q_s = 0$ ,  $H_{\text{m.s.c.}} = 0$ ), pod warunkiem, że w sieci nie będzie dodatkowego, sztucznego dławienia, zmienianego w zależności od warunków zewnętrznych (parabola 3 na rys. 5a).



Rys. 5. a) różne możliwe postacie charakterystyk m.s.c.; b) aktualna (maj 1988) charakterystyka części m.s.c. w Warszawie zasilanej przez jedną z EC

Należy zauważyć, że nawet gdyby część odbiorników była ze sobą połączona szeregowo, to nie zmieniłoby to końcowego wyniku tj. wniosku, że  $H_{\text{m.s.c.}} = a Q_s^2$ .

Od EC i CM wymaga się jednak w dalszym ciągu stałego ciśnienia dyspozycyjnego  $\Delta p_z = \text{const}$ . Wynika stąd bezpośrednio wymaganie

$$H_{\text{m.s.c.}} = \Delta H_s = \text{const} \quad (2)$$

niezależnie od warunków pracy m.s.c. i przy różnych strumieniach  $Q_s$ . Charakterystykę (2) przedstawia prosta 1 na rys. 5a.

Rzeczywista charakterystyka m.s.c., uwzględniająca niezbędne dławienie w regulatorach pogodowych węzłów ciepłowniczych oraz pewien zapas ciśnienia na nieprzewidziane sytuacje w sieci, powinna być krzywą pośrednią między 1 i 3, tj. parabolą nie przechodzącą przez zero (krzywa 2 na rys. 5a). Taka właśnie charakterystyka została wynegocjowana z Warszawskim SPEC w 1998 r. dla części m.s.c. zasilanej przez jedną z EC (rys. 5b). Jest to precedens świadczący o tym, że podobne negocjacje powinno się prowadzić ze wszystkimi PEC i że wynik uzgodnień powinien być podobny.

Przyjęcie kształtu charakterystyki m.s.c. określonego krzywą 1, 2 lub 3 ma wielkie znaczenie dla wyboru racjonalnego sposobu regulacji parametrów pomp sieciowych, kosztów eksploatacji EC (CM) i m.s.c., a w końcowym efekcie wpływa na koszty, którymi obciążani są indywidualni odbiorcy ciepła. Uzasadniono to w punkcie 3.2.

### 3.2. WPŁYW KSZTAŁTU CHARAKTERYSTYKI M.S.C. NA ZAKRES WYMAGANYCH ZMIAN PRĘDKOŚCI OBROTOWEJ POMP ORAZ NA STRATY ENERGII

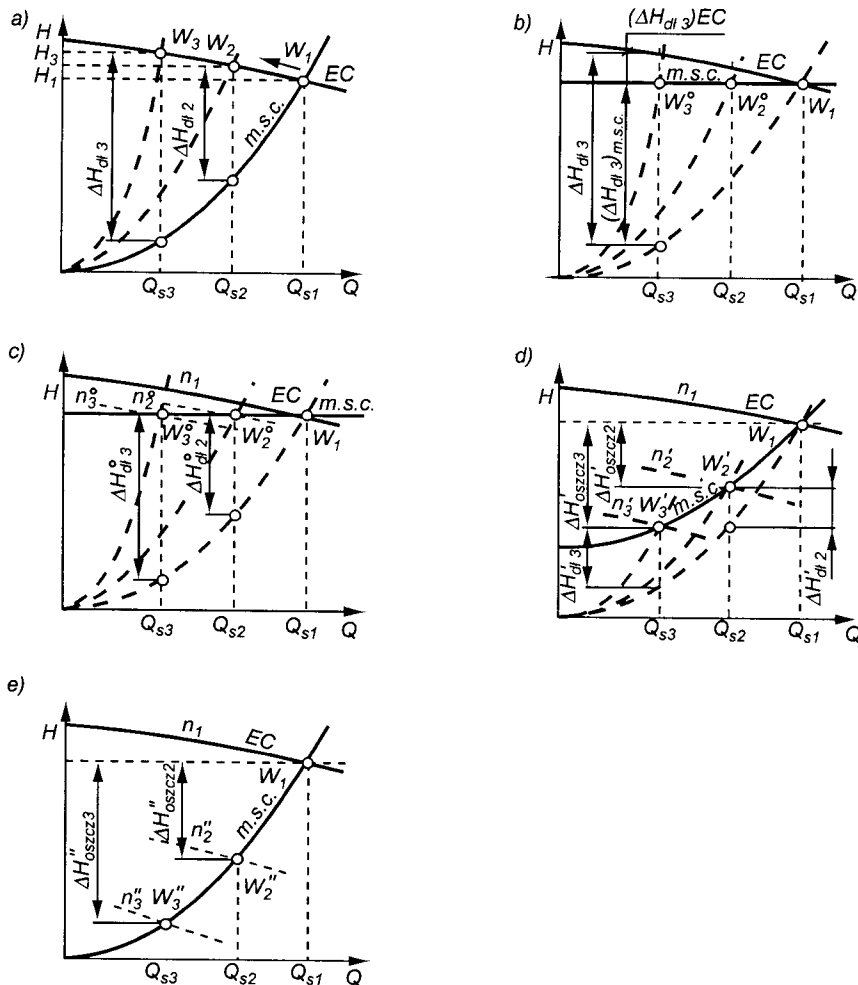
Punkt  $W_1$  współpracy EC z m.s.c. wyznaczony jest w przecięciu charakterystyk  $H_{EC}(Q_s)$  i  $H_{m.s.c.}(Q_s)$ , (rys. 6a). W warunkach stosowania w ubiegłych latach wyłącznie jakościowej (temperaturowej) regulacji ilości ciepła wysyłanego z EC strumień  $Q_s$  wody sieciowej był praktycznie stały, nie było więc potrzeby zmian parametrów pracy pomp. Kształt charakterystyki zarówno EC jak i m.s.c. nie miał wówczas istotnego znaczenia.

Wprowadzenie regulacji pogodowej w węzłach ciepłowniczych zmieniło zasadniczo tę sytuację, stwarzając konieczność dostosowywania strumienia wody sieciowej do zmiennego zapotrzebowania, wymuszonego dławieniem przepływu przez regulatory pogodowe. Rysunek 6 przedstawia różne warianty współpracy EC z m.s.c., przy różnych charakterystykach m.s.c. i różnych sposobach dławienia strumienia  $Q_s$ .

Na rys. 6a pokazano sytuację mającą miejsce wówczas, gdy zmianom rzeczywistych charakterystyk m.s.c. nie towarzyszą żadne zamierzone zmiany w pracy pomp, nawet w postaci wyłączenia poszczególnych zespołów pompowych. Pompy samoczynnie dostosowują się do zmienionych wymagań ( $W_1 \rightarrow W_2 \rightarrow W_3$ ) zmniejszając łączną wydajność ( $Q_{s1} \rightarrow Q_{s2} \rightarrow Q_{s3}$ ). Wynikiem tego są jednak rosnące straty dławienia w m.s.c. ( $\Delta H_{d1} = 0 \rightarrow \rightarrow \Delta H_{d2} \rightarrow \Delta H_{d3}$ ) oraz malejące sprawności pomp, które pracują z coraz mniejszymi wydajnościami (coraz dalej od swoich punktów optymalnych).

Na rys. 6b pokazano sytuację nieco zmienioną, gdy PEC wymaga stałego ciśnienia dyspozycyjnego, tj. prostoliniowej charakterystyki  $H_{EC}(Q_s)$ . Można to osiągnąć stosując dławienie poszczególnych pomp lub całego strumienia w EC. W ten sposób zmniejszy się nieco straty dławienia w m.s.c. jednak kosztem

wprowadzenia dławienia w EC. Skutek energetyczny (i finansowy dla odbiorcy strumienia  $Q_s$ ) będzie taki sam. Tak np. dla wydajności  $Q_s = Q_{s3}$  będzie  $(\Delta H_{dl3})_{m.s.c.} + (\Delta H_{dl3})_{EC} = \Delta H_{dl3}$ , gdzie całkowita strata dławienia  $\Delta H_{dl3}$  jest taka sama, jak na rys. 6a.



Rys. 6. Współpraca EC z m.s.c. oraz straty dławienia przy różnych sposobach regulacji strumienia wody sieciowej: a) bez regulacji w EC, dławienie w m.s.c.; b) regulacja dławieniowa w EC i w m.s.c.; c) regulacja zmiennoobrotowa w EC, dławienie w m.s.c.; d) jak w c), przy zmniejszonym dławieniu w m.s.c.; e) regulacja zmiennoobrotowa w EC, brak dławienia w m.s.c.

Na rysunku 6c przedstawiono sytuację, w której zlikwidowano straty dławienia w EC<sup>1)</sup> w wyniku wprowadzenia zmiennoobrotowej regulacji parametrów

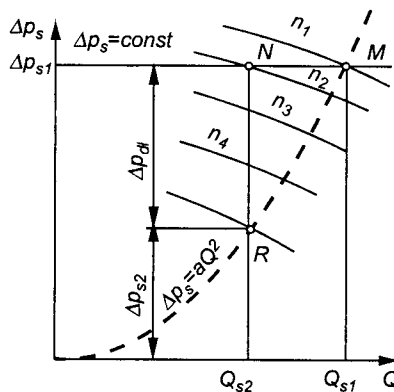
<sup>1)</sup> Zysk energetyczny jest w rzeczywistości większy, niż wynikałoby z rys. 6c, gdyż charakterystyki  $H_{EC}(Q_s)$  w większości przypadków są znacznie bardziej strome (np. takie, jak na rys. 3).

pracy pomp. Wskutek tego zmalały całkowite straty dławienia, z  $\Delta H_{\text{dł}}$  (np.  $\Delta H_{\text{dł}2}$ ) do  $\Delta H_{\text{dł}}^{\circ}$  (np.  $\Delta H_{\text{dł}2}^{\circ}$ ). Nie zmienione pozostały jednak straty dławienia w m.s.c. W celu zmniejszenia tych strat należy dążyć do rezygnacji z prostoliniowej charakterystyki  $H_{\text{m.s.c.}} = \text{const}$  przez zastąpienie jej charakterystyką paraboliczną, nawet nie przechodzącą przez początek układu współrzędnych.

Na rysunku 6d przedstawiono współpracę EC z m.s.c. o charakterystyce parabolicznej, analogicznej do pokazanej na rys. 5b. Straty dławienia w m.s.c. są tu znacznie zmniejszone w porównaniu ze stratami dla poprzedniego przypadku, z  $\Delta H_{\text{dł}}^{\circ}$  do  $\Delta H_{\text{dł}}^{\prime}$  (np.  $\Delta H_{\text{dł}2}^{\circ}$  do  $\Delta H_{\text{dł}2}^{\prime}$ ), w związku z tym uzyskuje się oszczędności energii proporcjonalne do  $\Delta H'_{\text{oszcz}}$  (np.  $\Delta H'_{\text{oszcz}2}$ ). Równocześnie kolejne charakterystyki wypadkowe  $H_{\text{EC}}(Q_s)$  są znacznie bardziej obniżone, co wymaga znaczącego zmniejszenia prędkości obrotowej ( $n_2' < n_2^{\circ}$ ;  $n_3' < n_3^{\circ}$ ). Ma to bezpośredni, bardzo silny wpływ na wybór sposobu realizacji prędkości obrotowej, tj. wybór rodzaju napędu zmiennoodrotowego. Uzasadniono to w następnej pracy niniejszego cyklu.

Na rysunku 6e przedstawiono sytuację najkorzystniejszą z punktu widzenia odbiorców energii cieplnej. Nie występują tu straty dławienia ani w EC ani w m.s.c., zaś ilość energii zaoszczędzonej – w porównaniu z sytuacją z rys. 6b – jest największa. Równocześnie największy jest stopień wymaganego zmniejszenia prędkości obrotowej ( $n_2'' < n_2'$ ;  $n_3'' < n_3'$ ) co raczej wyklucza regulację za pomocą sprzęgła hydrokinetycznego, preferując inne rodzaje regulacji zmiennoodrotowej.

Wpływ rodzaju charakterystyki m.s.c. na wymagany zakres zmian prędkości obrotowej przedstawiono także poglądowo na rys. 7.



Rys. 7. Wpływ rodzaju charakterystyki m.s.c. na wymagany zakres zmian prędkości obrotowej pomp

Podsumowując rozważania zawarte w rozdz. 3 należy stwierdzić, że:

1. Ze względu na bardzo silny wpływ charakterystyki m.s.c. na zakres zmian prędkości obrotowej przy regulacji zmiennoodrotowej, należy negocjować z PEC taki kształt charakterystyki, jaki będzie najbardziej zbliżony do rzeczywistości w najbliższym dziesięcioleciu.

2. Ze względu na interes społeczny należy dążyć do wynegocjonowania charakterystyki parabolicznej zawierającej się między krzywymi 2 i 3 z rys. 3 i 5a.
3. Wyboru sposobu realizacji zmian prędkości obrotowej należy dokonywać dopiero po ustaleniu kształtu charakterystyki  $H_{m.s.c.}(Q_s)$  oraz zakresu zmienności  $Q_{s\min} \dots Q_{s\max}$  strumienia wody sieciowej.
4. Poza sporadycznymi sytuacjami, pracą w sezonie letnim i ew. bardzo małym zakresem zmienności  $Q_s$ , np. 90–100%, na ogół nieopłacalna energetycznie jest regulacja dławieniowa pomp, nawet przy prostoliniowej charakterystyce  $H_{m.s.c.}(Q_s)$  sieci ciepłowniczej (por. rys. 3). Próg opłacalności zależy od indywidualnych cech układu i powinien być każdorazowo określony [10].

#### **4. METODYKA KOMPLEKSOWEJ MODERNIZACJI POMP SIECIOWYCH I ICH INSTALACJI W EC I CM ORAZ ZASAD DOBORU OPTYMALNYCH EKONOMICZNIE UKŁADÓW NAPĘDOWYCH TYCH POMP**

Metodyka postępowania, zarówno co do kolejności jak i zakresu poszczególnych działań została szczegółowo omówiona w pracy [1] oraz w rozdziałach 1–3 niniejszej pracy. Poniżej przedstawiono zwięzłe zestawienie tych działań, podając tylko odniesienia do poszczególnych rozdziałów i podrozdziałów.

1. Identyfikacja pomp i instalacji oraz ustalenie wewnętrznych warunków brzegowych.
  - a. Pomiarów charakterystyk hydraulicznych pomp, największych oporów hydraulicznych oraz wybranych gałęzi wewnętrznej instalacji wody sieciowej ([1], punkty 3.1, 3.2).
  - b. Identyfikacja geometryczna instalacji wody sieciowej ([1], punkt 3.3).
  - c. Ustalenie wewnętrznych warunków brzegowych i zakresów zmian wydajności dla poszczególnych elementów instalacji ([1], punkt 3.4).
2. Ocena pomp oraz wewnętrznej instalacji wody sieciowej.
  - a. Ocena stanu technicznego i sprawności pomp ([1], punkt 3.6.1).
  - b. Ocena stopnia dopasowania pomp do instalacji ([1], punkt 3.6.2).
  - c. Ocena wewnętrznej instalacji sieciowej pod względem hydraulicznym ([1], punkt 3.5).
3. Modernizacja wewnętrznej instalacji wody sieciowej (punkt 1.1).
  - a. Przebudowa obiegów zimnego i gorącego zmieszania w CM.
  - b. Zmiana konfiguracji (uproszczenie) poszczególnych gałęzi rurociągów.
  - c. Zmniejszenie oporów przepływu w poszczególnych elementach rurociągów.

4. Poprawa doboru i modernizacja pomp (punkt 1.2).
  - a. Poprawa dostosowania pomp do instalacji.
  - b. Modernizacja pomp w celu poprawy ich sprawności.
5. Obliczeniowe wyznaczenie charakterystyk układu: pompy sieciowe plus instalacja wewnętrzna EC (CM) dla różnych konfiguracji pracy poszczególnych pomp sieciowych i związanych z nimi gałęzi instalacji (rozd. 2) oraz skonfrontowanie wyników obliczeń z pomiarami dokonywanymi na przyłączy EC (CM) do m.s.c.
6. Ustalenie w wyniku negocjacji z PEC, kształtu charakterystyki m.s.c. możliwie zbliżonego do rzeczywistej charakterystyki parabolicznej (rozd. 3).
7. Analiza techniczno-ekonomiczna możliwych w danym przypadku rozwiązań sposobów regulacji parametrów pracy pomp sieciowych oraz wybór sposobu regulacji pod kątem uzyskania minimum łącznych kosztów inwestycyjnych i eksploatacyjnych; przedstawia ją ostatnia z cyklu trzech prezentowanych prac [11].

## 5. PODSUMOWANIE

- Możliwy jest obszerny zbiór przedsięwzięć modernizacyjnych w zakresie pomp i ich instalacji, jakie powinny poprzedzać wprowadzenie racjonalnej regulacji pomp sieciowych.
- W przypadku elektrociepłowni nie można wyznaczyć wypadkowej charakterystyki grupy pomp ani wypadkowej charakterystyki całej sieci wewnętrznej. Należy natomiast wyznaczyć łączną charakterystykę  $H_{EC}(Q_s)$  układu: pompy sieciowe plus sieć wewnętrzna EC, dla każdej konfiguracji współpracujących pomp, wykorzystując jeden z komercyjnych programów obliczania złożonych sieci hydraulicznych.
- Rzeczywista charakterystyka m.s.c. jest parabolą, zaś przyjęcie takiego a nie innego jej kształtu ma silny wpływ na zakres wymaganych zmian prędkości obrotowych pomp. Należy więc negocjować z PEC kształt charakterystyki m.s.c. możliwie zbliżony do kształtu rzeczywistego.

## BIBLIOGRAFIA

- [1] Jędral W.: Ocena aktualnego stanu oraz warunki wprowadzania regulacji pomp sieciowych w krajowych elektrociepłowniach i ciepłowniach. Biuletyn Instytutu Techniki Ciepłej (numer bieżący).
- [2] Jackowski K., Jędral W., Zwierzchowski R.: Oszczędność energii oraz wzrost niezawodności działania obiegów wodnych w ciepłowniach komunalnych. Uczelniane Centrum Badań i Ochrony Środowiska. Prace Naukowe, z. 2. OWPW, 1998, s. 143–158.

- [3] Jędral W.: Racjonalizacja i energooszczędna eksploatacja instalacji pompowych w energetyce cieplnej. *Gospodarka Paliwami i Energią*, 1996, nr 10, s. 2–5.
- [4] Jędral W.: Sprawność instalacji pompowej jako wskaźnik stopnia jej energochłonności. III Konf. Nauk. Problemy Badawcze Energetyki Ciepłej. *Prace Nauk. Politechn. Warszawskiej, Konferencje*, z. 15. OWPW, Warszawa 1997, t. I, s. 275–282.
- [5] Jędral W.: Sposoby i perspektywy obniżenia kosztów eksploatacji pomp i instalacji pompowych. *Gospodarka Paliwami i Energią*, 1997, nr 6, s. 26–28.
- [6] Jędral W.: *Pompy wirowe odśrodkowe*. OWPW, Warszawa 1996.
- [7] Jędral W.: Modernizacja uszczelnień wewnętrznych w pompach wirowych. *Pompy – Pompownie*, 1996; nr 6, s. 42–44, nr 8, s. 14, 15, 22, 23.
- [8] Jędral W.: Aktualne problemy badawcze w dziedzinie pomp energetycznych. *Konf. Nauk. Problemy Badawcze Energetyki Ciepłej*, Warszawa 1993, *Mater. Konf.*, s. 97–102.
- [9] Jędral W.: Rekonstrukcja uszczelnień wewnętrznych sposobem na energooszczędną eksploatację pomp wirowych. *Gospodarka Paliwami i Energią*, 1995, nr 6, s. 4–6.
- [10] Plutecki J.: Regulacja pomp jako warunek energooszczędnej eksploatacji. V Krajowe Forum Producentów i Użytkowników Pomp, Poznań 1999, *Mater. Konf.* s. 53–61.
- [11] Jędral W.: Wybór rodzaju zmiennoodrotowej regulacji pomp sieciowych i jej współdziałania z regulatorami węzłów ciepłowniczych. *Biuletyn Instytutu Techniki Ciepłej* (numer bieżący).

## **MODERNIZATION OF PUMP INSTALLATIONS AND OTHER CONDITIONS FOR INTRODUCING QUANTITY CONTROL IN COMBINED HEAT AND POWER PLANTS AND HEATING STATIONS**

### **Summary**

A set of simple modernizing measures for circulating pumps and their installations is given. The influence of the characteristic form of the heating system on the pumps, needed speed variation range and energy loss is discussed.