

Ciepłownia ogranicza pobór energii elektrycznej

Zygmunt Katolik

dyrektor ds. technicznych – prokurent
Miejskie Przedsiębiorstwo Energetyki Ciepłej Spółka z o.o.
we Włocławku

Dariusz Tomaszewski

zastępca dyrektora ds. technicznych
Miejskie Przedsiębiorstwo Energetyki Ciepłej Spółka z o.o.
we Włocławku

W systemach ciepłowniczych przedsiębiorstw energetycznych, oprócz źródeł wytwarzania, ważną rolę pełnią pompownie oraz zespoły urządzeń wspódtowarzyszących. Modernizacja układów pompowych oraz urządzeń wspomagających w MPEC Spółka z o.o. we Włocławku to najważniejsze w ostatnich latach działalności spółki wyzwania techniczne i finansowe, prowadzące do ograniczenia energochłonności procesu wytwarzania ciepła i jego dystrybucji.



Fot.: MPEC Włocławek

UKŁADY POMPOWE
w ciepłowni MPEC
we Włocławku

Układy pompowe w przedsiębiorstwach ciepłowniczych obsługują z reguły kilka obiegów technologicznych nośnika ciepła. Z uwagi na specyfikę i charakter pracy (np. hałas, drgania) najczęściej są one lokalizowane w osobnych pomieszczeniach w budynku ciepłowni lub poza nią.

Siłą napędową agregatów pompowych oraz urządzeń wspomagających proces produkcji ciepła w przedsiębiorstwie jest energia elektryczna, stanowiąca niezbędny zasób bezpośrednio zużywany w procesie produkcji i dystrybucji ciepła oraz wykorzystywany do celów socjalnych. W regulowanej branży ciepłowniczej koszty energii elektrycznej stanowią znaczne obciążenie finansowe podstawowej działalności przedsiębiorstwa ciepłowniczego. Zakup energii elektrycznej wpływa na koszt własny wytworzenia jednostki ciepła oraz pośrednio przyczynia się do ostatecznego poziomu ceny sprzedawanego na rynku ciepła¹. Mniejsze zużycie energii elektrycznej przez urządzenia energetyczne przedsiębiorstwa to mniejsze rachunki za prąd.

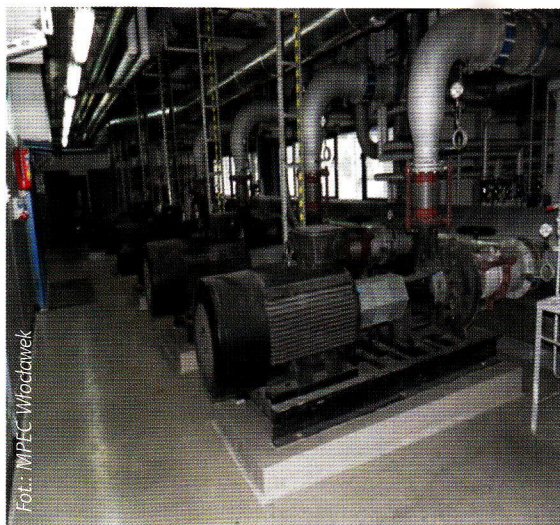
W dzisiejszych czasach względy ekonomiczne stanowią podstawowe źródło wzrostu efektywności procesów produkcyjnych i technologicznych w przedsiębiorstwach. Reguła ta dotyczy również systemowych układów technologicznych funkcjonujących w energetyce i ciepłownictwie, co wynika między innymi z narzuconych Polsce limitów emisji CO₂ przez Unię Europejską². Oszczędność w gospodarowaniu energią elektryczną to jeden z głównych priorytetów w wytyczaniu drogi prowadzącej do przeciwdziałania zjawiskom, niekorzystnie wpływającym na zmiany klimatyczne oraz poprawiającym bezpieczeństwo energetyczne w skali globalnej³.

Rosnące ceny energii elektrycznej, powodujące wysokie koszty jej zakupu, wyzwały w przedsiębiorstwie impulsy do poszukiwania rozwiązań technicznych redukujących poziom jej zużycia. Dla osiągnięcia tak wytyczonego celu, w spółce MPEC we Włocławku stworzono strategiczny plan wdrażania kolejnych elementów kompleksowego procesu identyfikacji i wykorzystywania możliwości oszczędzania energii elektrycznej w procesie produkcji i dystrybucji ciepła. Jednak osiągnięcie potencjalnych korzyści wynikających z oszczędności energii elektrycznej wymuszało za sobą poczynienia niezbędnych nakładów finansowych na zaimplementowanie nowych technologii w przedsiębiorstwie. Zastosowane rozwiązania techniczne oraz uzyskane korzyści i efekty oszczędnościowe po wdrożeniu zabiegów modernizacyjnych w przedsiębiorstwie przedstawiamy w niniejszym artykule.

Charakterystyka systemu ciepłowniczego przedsiębiorstwa

System ciepłowniczy Miejskiego Przedsiębiorstwa Energetyki Ciepłej Spółka z o.o. we Włocławku tworzą⁴:

- źródła ciepła: ciepłownia,
- sieci ciepłownicze: wysokoparametrowe i niskoparametrowe,
- indywidualne i grupowe węzły cieplne.



Fot.: MPEC Włocławek

W infrastrukturze ciepłowniczej MPEC Włocławek, poza źródłami wytwarzania, ważne funkcje strategiczne pełni system dystrybucji ciepła⁵. Funkcjonujący w mieście system ciepłowniczy to system wodny dwuprzewodowy, zasilany z jednego źródła ciepła. Ciepło dla potrzeb mieszkańców Włocławka oraz zakładów przemysłowych jest wytwarzane w ciepłowni przedsiębiorstwa, w której wybudowano 8 jednostek kotłowych o mocy zainstalowanej blisko 173 MW⁶. Podstawowe urządzenia produkcyjne w przedsiębiorstwie to kotły węglowe, rusztowe typu WR-25 (4 szt.) i WR-10 (2 szt.). W procesie produkcji ciepła mogą również uczestniczyć dwa kotły gazowe typu KOG-15, które stanowią strategiczną rezerwę ciepłowni i pełnią rolę jednostek szczytowych⁷.

Wysokoparametrowa sieć ciepłownicza funkcjonująca w systemie dystrybucji ciepła to sieć wybudowana w odmiennych technologiach, w różnych latach działalności przedsiębiorstwa. Jej długość to ponad 87,5 km, z czego blisko 40% stanowi sieć wybudowana w technologii rur preizolowanych. W systemie dystrybucyjnym przedsiębiorstwa, oprócz wysokoparametrowej sieci ciepłowniczej, funkcjonuje również niskoparametrowa sieć przesyłowa węzłów grupowych, której długość jest pięć razy krótsza niż sieci wysokoparametrowej. Scentralizowana sieć ciepłownicza pracuje w układzie zamkniętym na parametrach szczytowo-zmiennych wody sieciowej 130/70°C w sezonie grzewczym oraz stałych 70/35°C w okresie letnim⁸. Nośnikiem energii cieplnej jest gorąca woda, z maksymalną temperaturą zawierającą się od 130°C do 140°C, w zależności od grupy odbiorców ciepła.

Zapotrzebowanie na moc cieplną przez system ciepłowniczy przedsiębiorstwa wynosi ponad 140 MW. Charakter i poziom obciążenia cieplnego systemu ciepłowniczego spółki w wysokim stopniu zależy od wpływu przebiegu zapotrzebowania na ciepło przez odbiorców komunalnych i z zakładu przemysłowego. Odbiorcy z obiektów komunalnych charakteryzują się wysoką nierównomiernością poboru ciepła w ciągu doby oraz zmiennością sezonową wynikającą z zależe-

ności zapotrzebowania na ciepło do celów grzewczych od warunków pogodowych i temperatury zewnętrznej w otoczeniu. Natomiast zapotrzebowanie na ciepło dla odbiorcy z zakładu przemysłowego charakteryzuje się stałą dobową oraz dość równomiernym poborem ciepła w ciągu roku.

W systemie ciepłowniczym funkcjonuje 736 węzłów ciepłych, z czego 65 to węzły grupowe. W węzłach ciepłych następuje końcowa regulacja temperatur w instalacjach odbiorczych za pomocą elektronicznych regulatorów temperatury.

Charakterystyka modernizowanych układów pompowych w przedsiębiorstwie

W każdej ciepłowni, niezależnie od wielkości, zainstalowane są pompy, których zadaniem jest przetłaczanie wody o zmiennych temperaturach i na różne wysokości podnoszenia, zależnie od systemu dołączonej do źródła ciepła instalacji oraz rodzaju zainstalowanych kotłów⁹. W systemie technologicznym Miejskiego Przedsiębiorstwa Energetyki Ciepłej Spółka z o.o. we Włocławku, w układzie instalacyjnym pompowni funkcjonują pompy obsługujące sieć miejską i przemysłową. W układzie technologicznym pompowni obsługującym sieć miejską można wyróżnić następujące zestawy pomp¹⁰:

- obiegu głównego,
- obiegu kotłowego,
- zmieszania gorącego,
- uzupełniające,
- wody zmiękczonej,
- układu odgazowania wody uzupełniającej.

Przepływ wody w miejskiej sieci ciepłowniczej wymuszony jest przez pompy obiegu głównego. Zadaniem pomp jest zapewnienie odpowiedniego przepływu nośnika ciepła w sieci ciepłowniczej oraz utrzymanie wymaganego ciśnienia dyspozycyjnego na wyjściu ze źródła ciepła w okresie letnim i w sezonie grzewczym. W układzie technologicznym ciepłowni przedsiębiorstwa zostały zabudowane cztery pompy obiegu główne-

go typu NKG 200-400/405 AQAE o wydajności równej 600 m³/h i wysokości podnoszenia $H = 52 \text{ mH}_2\text{O}$.

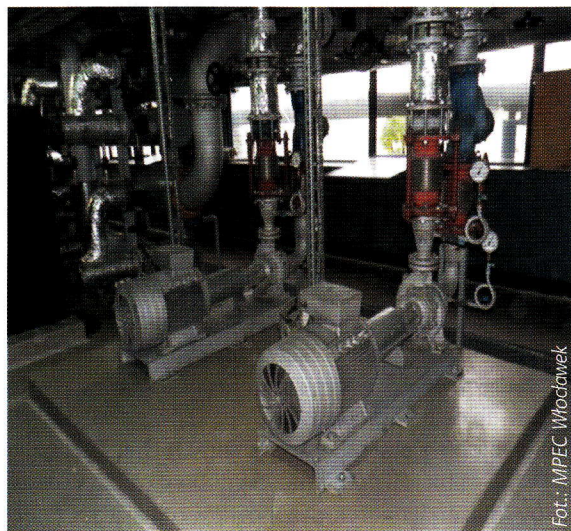
Obieg wody przez kotły jest realizowany za pomocą pomp kotłowych. W pompowni przedsiębiorstwa zostały zainstalowane dwa zestawy pomp kotłowych, po trzy sztuki w zestawie, które pracują w szeregu z pompami obiegu głównego. Ta część instalacji technologicznej została wyposażona w pompy typu NKG 150-315/330 AQAE o wydajności 350 m³/h oraz wysokości podnoszenia $H = 30 \text{ mH}_2\text{O}$.

Konstrukcja zabudowanych w przedsiębiorstwie kotłów typu WR oraz wymagania eksploatacyjne narzucają odpowiednią temperaturę wody sieciowej przed pracującymi kotłami. Stan ten wynika z minimalnej dopuszczalnej temperatury spalin. Przy zbyt niskiej temperaturze spalin następuje kondensacja pary wodnej, co w połączeniu z dwutlenkiem siarki powstającym z siarki zawartej w węglu powoduje powstawanie kwasu siarkowego¹¹. Jednym ze sposobów zapobieżenia temu zjawisku jest utrzymywanie temperatury spalin na odpowiednim poziomie powyżej punktu rosy, czyli wykraplania się pary wodnej. Kotły dla zapewnienia poprawnej pracy z uwagi na punkt rosy muszą mieć zapewnioną pewną minimalną temperaturę wody na zasilaniu.

W przypadku, kiedy temperatura wody sieciowej wracającej z sieci ciepłowniczej jest niższa niż 70°C, część wody za kotłem jest mieszana z wodą powracającą z sieci tak, aby uzyskać temperaturę równą lub wyższą od wymaganych 70°C. Funkcję tę w pompowni przedsiębiorstwa spełniają trzy pompy zmieszania gorącego. Przetłaczają one w systemie ciepłowniczym część wody wylotowej z kotłów do kolektora zasilającego kotły, podwyższając temperaturę wody zasilającej kotły. W ten sposób jest utrzymywana temperatura wody zasilającej pracujące kotły w dopuszczalnych granicach, określonych przez wytwórcę kotłów. W przedsiębiorstwie funkcję tę pełnią pompy typu SYA 080-200 SYB, które charakteryzują się wydajnością równą 180 m³/h oraz wysokością podnoszenia $H = 30 \text{ mH}_2\text{O}$.

Efektywna praca kotłów w dużym stopniu uzależniona jest od tego systemu pomp. Wpływają one na sprawność pracy kotłów oraz stabilność procesu podgrzewania wody powrotnej.

W trakcie eksploatacji sieci ciepłowniczej występują naturalne ubytki nośnika ciepła pochodzące z nieszczelności instalacji oraz ubytki pozorne wody, będące efektem jej termokurczliwości w wyniku obniżenia temperatury wody w sieci ciepłowniczej przez oddanie ciepła instalacjom odbiorczym oraz niewielkie straty związane z przesyłem ciepła (na zasuwach, zaworach oraz izolacji termicznej). W wyniku występowania wymienionych powyżej zjawisk mogą nastąpić w systemie ciepłowniczym zakłócenia hydrauliczne, które objawiają się spadkiem ciśnienia w sieci ciepłowniczej. W celu stabilnego utrzymania ciśnienia w całej sieci, w pompowni funkcjonuje układ uzupełniania wody sieciowej. Tworzą go pompy uzupełniające typu CR15-7



POMPY ZMIESZANIA gorącego

Fot.: MPEC Włocławek

A-F-A-E-HQQE, których zadaniem jest wtłoczenie wody zmiękczzonej i odgazowanej w rurociąg wody powrotnej miejskiej sieci ciepłowniczej przed odmulaczami sieciowymi. Pracujące w tym układzie pompy charakteryzują się wydajnością na poziomie 17 m³/h oraz wysokością podnoszenia H = 77,9 mH₂O. W przypadku zaistnienia takiej konieczności układ ten może być dodatkowo wspomagany pompą awaryjnego uzupełniania typu CR 45-3 A-F-A-E-HQQE o wydajności 45 m³/h i wysokości podnoszenia H = 59,6 mH₂O.

Pompy wody zmiękczzonej transportują wodę zmiękczoną ze zbiornika V 250 do układu odgazowania wody uzupełniającej w ciepłowni. W układzie odgazowania wody uzupełniającej zainstalowane są trzy zestawy pomp. Poszczególne zestawy pomp realizują następujące funkcje¹²:

- utrzymania na zaprogramowanym poziomie temperatury wody zmiękczzonej podawanej do kolumny odgazowania,
- utrzymania na zaprogramowanym poziomie ciśnienia pary w zbiorniku i kolumnie odgazowania,
- utrzymania właściwego obiegu wody (zmiękczzonej i odgazowanej) po wtórnej stronie wymiennika wytwarzającego tzw. „poduszkę parową” w układzie zbiornik-kolumna odgazowania.

W układzie pompowym obsługującym autonomiczną sieć przemysłową (inne parametry czynnika grzewczego niż w głównej sieci miejskiej) w instalacji technologicznej ciepłowni funkcjonują pompy:

- obiegu pierwotnego węzła przygotowania wody technologicznej,
- obiegu wtórnego węzła technologicznego,
- zmieszania gorącego technologii.

Przepływ nośnika ciepła po stronie pierwotnej wymiennika realizują pompy obiegu pierwotnego węzła przygotowania wody technologicznej. Odpowiadają one za utrzymanie na zaprogramowanym poziomie temperatury wody zasilającej sieć przemysłową technologiczną do odbiorcy. W instalacji pompowni zamontowane są dwie pompy typu SY 065-200/1102.

Natomiast pompy obiegu wtórnego węzła technologicznego zasilają sieć i odbiorniki technologiczne u klienta przemysłowego. Realizują obieg po stronie wtórnej wymiennika i zaprogramowane ciśnienie dyspozycyjne w sieci przemysłowej. W układzie pompowym ciepłowni funkcjonują dwie pompy typu CR 45-3-2 A-F-A-E-HQQE charakteryzujące się wydajnością 45 m³/h oraz wysokością podnoszenia równą 51,9 mH₂O).

Pompy zmieszania gorącego sieci technologicznej typu CR 64-2 X-F-A-F-GQQE realizują dodatkowe tzw. „podmieszanie gorące” dla kotła wytypowanego do pracy, którego efektem jest sprzedaż ciepła dla odbiorcy przemysłowego. Charakteryzują się one wydajnością równą 64 m³/h oraz wysokością podnoszenia H = 44,3 mH₂O.

Praca omawianego zespołu dwóch pomp powoduje

zasilenie kotła wodą o wyższej temperaturze niż pozostałe pracujące kotły. Dzięki zmianie temperatury zasilania kotła istnieje możliwość zmiany jego obciążenia cieplnego (przy założonej stałej temperaturze wylotowej z kotła i stałego przepływu).

Charakterystyka modernizowanych urządzeń wspomagających proces produkcji ciepła

Ważną grupę urządzeń technologicznych, wspomagających proces wytwarzania ciepła w przedsiębiorstwie, konsumujących energię elektryczną, stanowią: wentylatory podmuchu, wentylatory wyciągowe, sprężarki, napędy rusztów jednostek kotłowych, taśmociągów nawęglania i odzuzłania. Podstawowe urządzenia

CO WPŁYWA NA WYSOKI POBÓR ENERGII?

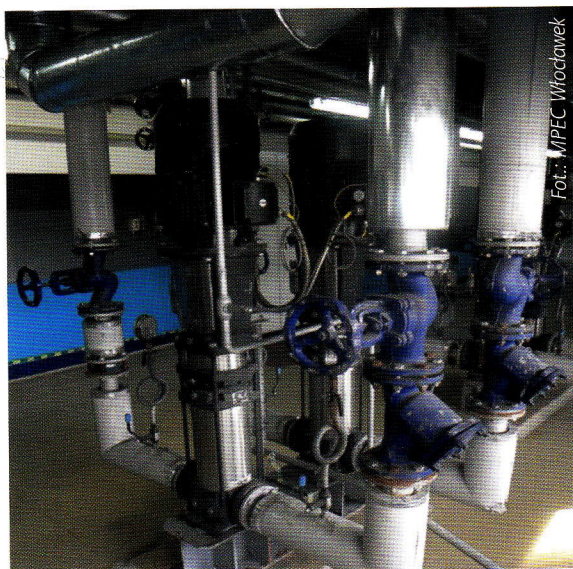
Przed przystąpieniem do projektowania w przedsiębiorstwie modernizacji ukierunkowanej na poprawę efektywności energetycznej układów pompowych oraz urządzeń wspomagających proces produkcji ciepła zidentyfikowano główne przyczyny wpływające na wysoki pobór energii elektrycznej, takie jak¹³:

- praca kilku pomp w tym samym układzie,
- zły stan techniczny eksploatowanych pomp,
- nieracjonalny, nadmiernie energochłonny sposób regulacji wydajności pomp,
- nieracjonalne rozwiązanie instalacji pompowej pod względem hydraulicznym,
- duże opory miejscowe w instalacji pompowej,
- duża moc silników w układach pompowych i urządzeniach wspomagających proces produkcji ciepła,
- zbyt niskie sprawności silników napędowych urządzeń,
- postępujące z upływem lat zmiany warunków pracy systemu ciepłowniczego przedsiębiorstwa.

Rozpoznanie czynników wpływających na poziom zużycia energii elektrycznej stanowiło podstawę do wytyczenia kierunków działań w zakresie rzeczowym modernizacji.

pomocnicze ciągów produkcyjnych były pozbawione możliwości płynnej regulacji prędkości obrotowej napędów dostosowujących ją do bieżących potrzeb. Stan ten również nie pozwalał na łagodny rozruch urządzeń oraz powodował wysoki pobór energii elektrycznej zarówno w początkowej fazie rozruchu urządzeń, jak i w czasie bezpośredniej pracy. W okresie przed modernizacją urządzenia pomocnicze nie były wyposażone w przetwornice częstotliwości.

Efektywność i energooszczędność to pożądane cechy dla układów pompowych oraz urządzeń wspomagających proces produkcji ciepła w ciepłowniach przedsiębiorstw energetycznych. Właściwy dobór pomp, ich serwisowanie oraz odpowiednia eksploatacja przyczyniają się do poprawiania efektywności transportu czynnika grzewczego w sieci ciepłowniczej, co z kolei wpływa korzystnie na poziom kosztów pompowania nośnika ciepła. W układach pompowych decydujący wpływ na



Fot.: MPEC Wrocław

wielkość zużycia energii elektrycznej do napędu pomp mają dwa czynniki: ciśnienie oraz strumień masy wody przepływającej przez rurociągi systemu ciepłowniczego. Natomiast w urządzeniach towarzyszących procesowi produkcji ciepła, pobór energii elektrycznej jest zależny od rodzaju silnika, prędkości obrotowej, mocy znamionowej oraz charakteru pracy.

Kryteria decydujące o wdrożeniu procesu modernizacji w przedsiębiorstwie

Podstawowymi przesłankami w założeniach do projektowania etapowej modernizacji w przedsiębiorstwie było ograniczenie zużycia energii elektrycznej przez urządzenia biorące udział w procesie produkcji i dystrybucji ciepła. Przystępując do projektowania przedmiotowych modernizacji urządzeń, wyznaczony cel zamierzano osiągnąć między innymi poprzez:

- dobór i wymianę starych silników elektrycznych na nowe o mniejszej mocy znamionowej,
- zmianę konfiguracji instalacji wewnętrznej ciepłowni,
- wymianę starej armatury i montaż w instalacji pompowej i kotłowej armatury o niskim współczynniku strat miejscowych,
- zmniejszenie oporów przepływu instalacji technologicznej pompowni i dla obiegów poszczególnych jednostek kotłowych,
- dobór pomp do rzeczywistych warunków pracy systemu ciepłowniczego,
- wymianę wyeksploatowanych pomp na nowe,
- zastosowanie układów regulacyjnych opartych na falownikach,
- skojarzenie pracy pomp z regulatorem nadrzędnym znajdującym się w sterowni dające możliwość automatycznej regulacji parametrów pracy źródła ciepła,
- zmianę technologii systemu transportu pyłów,
- wymianę zespołu sprężarek tłokowych na sprężarkę łopatkową.

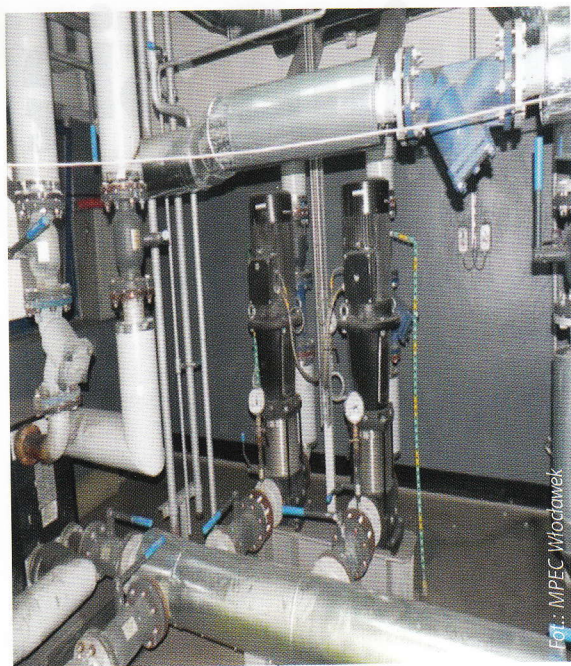
W projektowaniu technicznej zmiany urządzeń w przedsiębiorstwie przyjęto dwie ścieżki restruktury-

zacji technologii, ukierunkowanej swym zakresem na modernizację rzeczową i jakościową¹⁴. W kontekście rzeczowym skoncentrowano się na unowocześnieniu układu pompowego, urządzeń wspomagających proces produkcji ciepła oraz kondensatorach mocy biernej¹⁵. Natomiast w zakresie jakościowym zwrócono uwagę na bezpieczeństwo dostaw ciepła do odbiorców oraz na skuteczne zarządzanie mocą bierną całego systemu energetycznego przedsiębiorstwa. Ponadto decyzje modernizacyjne były również odpowiedzią przedsiębiorstwa na wzrost stopnia automatyzacji po stronie odbiorców ciepła, wymuszającą konieczność coraz szybszych reakcji na zmieniające się warunki pracy systemu ciepłowniczego dla zwiększenia możliwości regulacji i bardziej elastycznej jego pracy.

„Przewidziane powyżej do wdrożenia założenia inwestycyjno-modernizacyjne wymagały starannego przygotowania oraz szczegółowych analiz ekonomicznych opartych w głównej mierze o rachunek zdyskontowanych przepływów pieniężnych (NPV – net present value), określających efektywność poszczególnych etapów modernizacji. Kryterium decydującym o doborze odpowiednich składników majątkowych (koszt inwestycji i efekt), które stanowiły poszczególne elementy procesu modernizacji technologicznej był poziom wewnętrznej stopy zwrotu (IRR – internal rate of return). Zastosowano także analizę wrażliwości wytyczającą marginesy bezpieczeństwa w trakcie realizacji kolejnych etapów całego przedsięwzięcia inwestycyjnego”¹⁶.

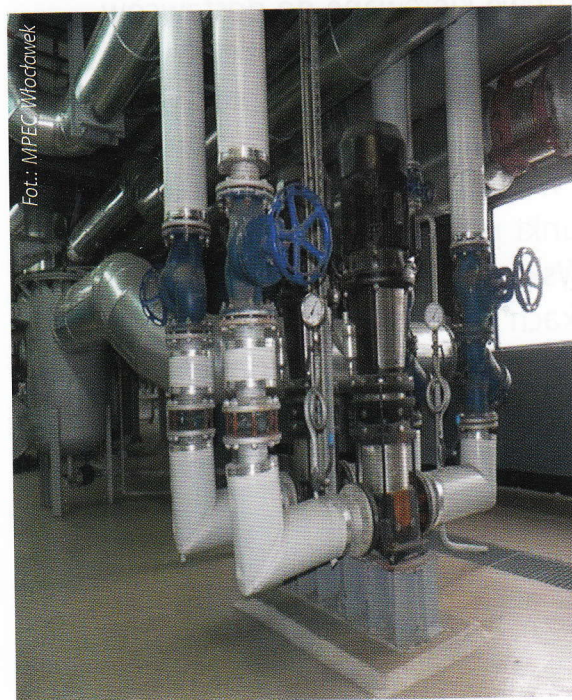
Stan przed modernizacją

Układ pompowy źródła ciepła w ciepłowni przed modernizacją był wyposażony w agregaty pompowe z silnikami o dużych mocach elektrycznych¹⁷. W pompowni zamontowanych było sześć pomp typu 20W39x-3GVM z silnikami o mocach 315 kW każda. Dodatkowo mogły być one jeszcze wspomagane dwoma pompami typu W14P oraz trzema pompami typu W16P. Pompy pracujące w systemie ciepłowniczym w wysokim stopniu były przewymiarowane i niedopasowane do istniejących potrzeb systemu dystrybucyjnego przedsiębiorstwa. Stary układ nie był sterowany falownikowo i regulacja ilościowa związana z przepływem czynnika grzewczego odbywała się poprzez dławienie armatury odcinającej, co dodatkowo powodowało przyspieszenie jej zużycia oraz generowało nadmierny pobór energii elektrycznej przez urządzenia pompowe¹⁸. Brak efektywnej regulacji parametrów pracy pomp powodował znaczne straty dławienia oraz wysokie koszty pompowania nośnika ciepła, czego efektem były całkowicie nieuzasadnione koszty pracy ciepłowni. Eksploatacja układu pompowego powodowała przede wszystkim duże nieszczelności armatury w stanie zamkniętym w instalacji systemu ciepłowniczego oraz znaczne utrudnienia przy wszelkich czynnościach remontowych i stanach awaryjnych. Dodatkowym mankamentem starych pomp stosowanych w układzie obiegowym systemu ciepłowniczego była duża niepewność pracy oraz ponadprzeciętna nieprze-



POMPY OBIEGU
WTÓRNEGO
węzła technologicznego

Fot.: MPEC Włocławek



POMPY ZMIESZANIA
gorącego technologii

Fot.: MPEC Włocławek

widoczna awaryjność. Dobbowe wahania przepływów będące efektem automatyzacji węzłów cieplnych powodowały, że układy pompowe źródła ciepła nie nadążały za zmianami wydajności i ciśnienia, co powodowało nieracjonalną pracę systemu ciepłowniczego przedsiębiorstwa. Zaprojektowana i zaprogramowana technologia, według której pracował system ciepłowniczy była przestarzała i pozbawiona cech innowacyjności.

Urządzenia wspomagające proces produkcji ciepła stanowiące wyposażenie kotłów charakteryzowały się bardzo dużą energochłonnością generowaną przez oprzyrządowanie i urządzenia podstawowych ciągów produkcyjnych, takie jak: wentylatory wyciągowe, wen-

tylatory podmuchowe, wentylatory wtórnego powietrza, napędy rusztów kotłów, taśmociągów nawęglania i odżużlenia oraz sprężarki.

Chcesz przeczytać więcej? Wejdź na:

kierunekpompy.pl

Przypisy

- 1 Zob. więcej, M.Pietraszewski, Z.Katolik, M.Podlewski, Bez modernizacji ani rusz, *Energetyka Ciepła i Zawodowa* Nr 4/2013, s. 73-77.
- 2 A.Błaszczak, A.Papierski, M.Susik, Stan i perspektywy ograniczania energochłonności pomp w energetyce, Instytut Maszyn Przepływowych Politechniki Łódzkiej, Internet: http://e-bmp.pl/File/bmp_50a-371e6f0c2f.pdf
- 3 M.Pietraszewski, Z.Katolik, Jak oszczędzać energię elektryczną. Rozwiązania w MPEC Włocławek, *Energetyka Ciepła i Zawodowa*, Nr 4/2009, s. 46.
- 4 M. Pietraszewski, Z.Katolik, Włocławek po remoncie, *Energetyka Ciepła i Zawodowa* Nr 2/2013, s.72.
- 5 Z.Katolik, D.Tomaszewski, Sieć w kolizji. System dystrybucji ciepła. Studium przypadku MPEC Włocławek cz.1, *Energetyka Ciepła i Zawodowa* Nr 3/2015, s. 36.
- 6 Zob. więcej, M.Pietraszewski, Z.Katolik, Efekty ekonomiczne i energetyczne modernizacji węglowego rusztowego kotła wodnego typu WR-10 w Miejskim Przedsiębiorstwie Energetyki Ciepłej Spółka z o.o. we Włocławku, Instal Nr 3/2015, Ośrodek Informacji „Technika Instalacyjna w budownictwie”, Warszawa s. 11.
- 7 M.Pietraszewski, Z.Katolik, Kocioł do poprawki, *Energetyka Ciepła i Zawodowa* Nr 7/2014, s. 36.
- 8 Zob. więcej, Z.Katolik, D.Tomaszewski, W rytmie miasta. System dystrybucji ciepła. Studium przypadku MPEC Włocławek cz.2, *Energetyka Ciepła i Zawodowa* Nr 4/2015, s. 49.
- 9 W.Kamler, *Ciepłownictwo, Państwowe Wydawnictwo Naukowe*, Warszawa 1979, s. 227.
- 10 M.Pietraszewski, Z.Katolik, Układy pompowe w systemach ciepłowniczych-analiza przypadku ciepłowni MPEC Włocławek, Rozdział 7.4.2, s. 1, [w:] pod red. K.Żarski, *SIECI I WĘZŁY CIEPLNE*, Projektowanie. Eksploatacja. Rozbudowa. Modernizacja, Wydawnictwo Forum Spółka z o.o., Poznań 2012.
- 11 R.Snieżyk, O pompowaniu ciepłowniach, Internet: <http://www.rynekinstalacyjny.pl/artykul/id846,o-pompowaniu-w-cieplowniach>
- 12 M.Pietraszewski, Z.Katolik, Układy pompowe w systemach ciepłowniczych-analiza przypadku ciepłowni MPEC Włocławek, Rozdział 7.4.2, s. 5, op., cit.
- 13 Zob. A.Grabowska, Efektywność energetyczna pomp i systemów pompowych, Internet: http://www.utrzzymanieruchu.pl/menu-gorne/artykul/efektywnosc-energetyczna-pomp-i-systemow-pompowych/?tx_ttnews%5BViewPointer%5D=2&cHash=c24e901c9a-578939a1619d458a2b3eaf
Zob. W.Ędral, *Efektywność energetyczna pomp w instalacjach pompowych*, Krajowa Agencja Poszanowania Energii S.A., Warszawa 2007, s. 7-8, Internet: http://www.centrum.pemp.pl/dokumenty/biblioteka/PEMP_seria_wydawnicza3.pdf
- 14 M.Pietraszewski, Z.Katolik, Jak oszczędzać..., op. cit., s. 47.
- 15 Podają za: M.Pietraszewski, Z.Katolik, Jak oszczędzać..., op., cit., s. 47. Moc bierna jest to ta część energii, która pulsuje między źródłem energii a odbiornikiem i nie jest zamieniana na pracę. Zakłady Energetyczne dążąc do optymalizacji strat w sieciach elektroenergetycznych przy zawieraniu umów na dostawę energii elektrycznej ustalają dla każdego odbiorcy tej energii wartość tangensa kąta przesunięcia fazowego (tgj). Utrzymanie na ustalonym poziomie jego wartości pozwala na zmniejszenie opłat za energię elektryczną bierną. Przekroczenie tej wartości skutkuje dodatkowymi opłatami za energię bierną.
- 16 M.Pietraszewski, Z.Katolik, Modernizacja układu pompowego na przykładzie MPEC Włocławek, Rozdział 7.5, s.2, [w:] pod red. K.Żarski, *SIECI I WĘZŁY CIEPLNE*, Projektowanie. Eksploatacja. Rozbudowa. Modernizacja, Wydawnictwo Forum Spółka z o.o., Poznań 2012.
- 17 Zob. więcej, Z.Katolik, Modernizacja układu hydraulicznego i pompowego ciepłowni we Włocławku, *Pompy-Pompownie* Nr 2/2008, s. 26-28, Z.Katolik, Modernizacja układu hydraulicznego i pompowego Ciepłowni Wschód, *Energetyka Ciepła i Zawodowa* Nr 01/2007, s. 24-27. Publikacje dostępne na stronie internetowej: <http://www.mpec.com.pl/index.php?parametr=publikacje>
- 18 Z.Katolik, D.Tomaszewski, K.Młodzikowski, MPEC WŁOCŁAWEK. Inwestycja, Miejskie Przedsiębiorstwo Energetyki Ciepłej we Włocławku, Włocławek 2006, s. 55.