

# POMPY W WĘZŁACH CIEPLNYCH

## Studium przypadku MPEC we Włocławku

**mgr Zygmunt Katolik**  
prokurent-dyrektor ds. technicznych  
Miejskiego Przedsiębiorstwa Energetyki  
Ciepłej Sp. z o.o. we Włocławku

**mgr inż. Dariusz Tomaszewski**  
zastępca dyrektora ds. technicznych  
Miejskiego Przedsiębiorstwa Energetyki  
Ciepłej Sp. z o.o. we Włocławku

Układy pompowe w węzłach ciepłych obsługują obiegi technologiczne czynnika grzewczego przypisane do instalacji wewnętrznych w budynkach. Gwarancją skutecznej bezawaryjnej długoletniej pracy pomp jest np. ich prawidłowy dobór w fazie projektowania węzłów. A niska ich awaryjność oraz związana z tym ich wysoka dyspozycyjność przekłada się na stosunkowo niskie koszty eksploatacji oraz napraw. A jakie doświadczenia z eksploatacji takich urządzeń ma MPEC we Włocławku?

**P**rzedsiębiorstwo eksploatuje blisko 900 pomp, z czego 350 stanowią pompy ciepłej wody użytkowej. Pompy w węzłach ciepłych w systemie ciepłowniczym przedsiębiorstwa obsługują obiegi technologiczne nośnika ciepła przypisane do instalacji wewnętrznych budynków, które charakteryzują się zmiennym i stałym natężeniem przepływu.

Przedmiotem działania Miejskiego Przedsiębiorstwa Energetyki Ciepłej Spółka z o.o. we Włocławku jest działalność gospodarcza prowadzona na terenie

miasta, związana z zaopatrzeniem szerokiego grona odbiorców w ciepło, na podstawie udzielonych koncesji przez Prezesa Urzędu Regulacji Energetyki w zakresie: wytwarzania ciepła, przesyłania i dystrybucji ciepła. Źródła wytwarzania ciepła, sieci przesyłowe oraz węzły ciepne tworzą infrastrukturę ciepłowniczą przedsiębiorstwa<sup>1</sup>. Całość energii cieplnej na potrzeby miejskiego systemu ciepłowniczego i zakładów przemysłowych jest wytwarzana we własnych źródłach ciepła. Łączna moc cieplna zainstalowanych jedno-

**RYS. 1**  
Infrastruktura  
ciepłownicza MPEC we  
Włocławku  
(Źródło:  
MPEC-Włocławek)





stek kotłowych w głównym źródle ciepła, ciepłowni przedsiębiorstwa wynosi około 173 MW, z czego blisko 12 MW stanowi ciepła woda użytkowa. Podstawowymi urządzeniami wytwarzającymi ciepło w ciepłowni spółki są zmodernizowane kotły wodne rusztowe typu WR-10 i WR-25.

Poza źródłami ciepła ważne funkcje w infrastrukturze ciepłowniczej przedsiębiorstwa pełnią sieci przesyłowe oraz węzły ciepłownicze. Sieć ciepłą w systemie ciepłowniczym stanowią sieci wysokoparametrowe i niskoparametrowe. Wysokoparametrowa sieć ciepłownicza funkcjonująca w systemie dystrybucji ciepła posiada długość równą 88 520,3 metra. Stanowi ona 84,76% całości sieci przesyłowej przedsiębiorstwa. Natomiast długość niskoparametrowej sieci ciepłowniczej wynosi 15 913,1 metra. Jej udział w systemie ciepłowniczym to 15,24% całości sieci ogółem. Stanowi to ponad pięć razy mniej niż sieci wysokoparametrowej. Scentralizowana wysokoparametrowa sieć miejskiego systemu ciepłowniczego pracuje w układzie zamkniętym o parametrach szczytowo-zmiennych wody sieciowej w okresie zimowym 130/70°C oraz stałych w okresie sezonu letniego 70/35°C. Funkcjonujący w mieście wysokoparametrowy system ciepłowniczy jest systemem wodnym, zasilanym z jednego, głównego źródła ciepła – ciepłowni przedsiębiorstwa.

Węzły w systemie ciepłowniczym stanowią element łączący system dystrybucji ciepła z odbiorcą. Ich zadaniem jest dostarczanie ciepła dla potrzeb centralnego ogrzewania, ciepłej wody użytkowej i wentylacji oraz miejscowa regulacja czynnika grzewczego<sup>3</sup>. Dostawa ciepła do poszczególnych obiektów na terenie miasta jest realizowana za pośrednictwem indywidualnych i grupowych węzłów ciepłych. W systemie ciepłowniczym przedsiębiorstwa funkcjonuje blisko 760 węzłów ciepłych, z czego 56% ich ogólnej liczby stanowi własność spółki. W licznej zbiorowości węzłów znajdują się:

- węzły jednofunkcyjne – nośnik ciepła jest dostarczany tylko do celów centralnego ogrzewania,
- węzły dwufunkcyjne – ciepło jest dostarczane dla potrzeb centralnego ogrzewania i ciepłej wody,
- węzły wielofunkcyjne – nośnik ciepła jest dostarczany na potrzeby centralnego ogrzewania, ciepłej wody użytkowej oraz wentylacji.

W grupie węzłów indywidualnych dominują węzły z dwoma funkcjami: centralnego ogrzewania i ciepłej wody użytkowej. Znacznie mniej jest węzłów z jedną funkcją. Najmniej liczną grupę w tej zbiorowości stanowią węzły trzyfunkcyjne. Blisko 80% węzłów ciepłych jest zabudowanych w nowoczesnej zwartej technologii kompaktowej. Pozostała część węzłów charakteryzuje się różnymi technologiami zabudowy oraz koncepcjami rozwiązań technicznych i technologicznych. Obecnie instalowane węzły ciepłownicze w przedsiębiorstwie to zespoły o niewielkich wymiarach i modułowej budowie, pozwalającej na dostosowanie

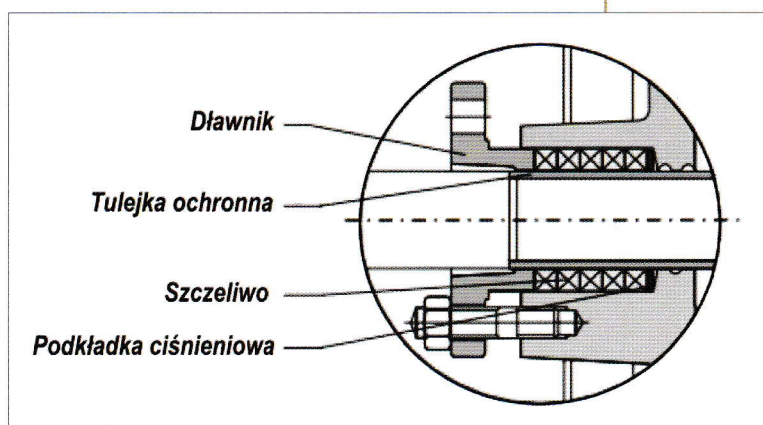
ich do wymogów gabarytowych pomieszczeń, w których są montowane. Kompaktowe wykonanie nadaje węzłom estetyczny wygląd oraz dużą funkcjonalność.

### Pompy w systemie dystrybucji ciepła

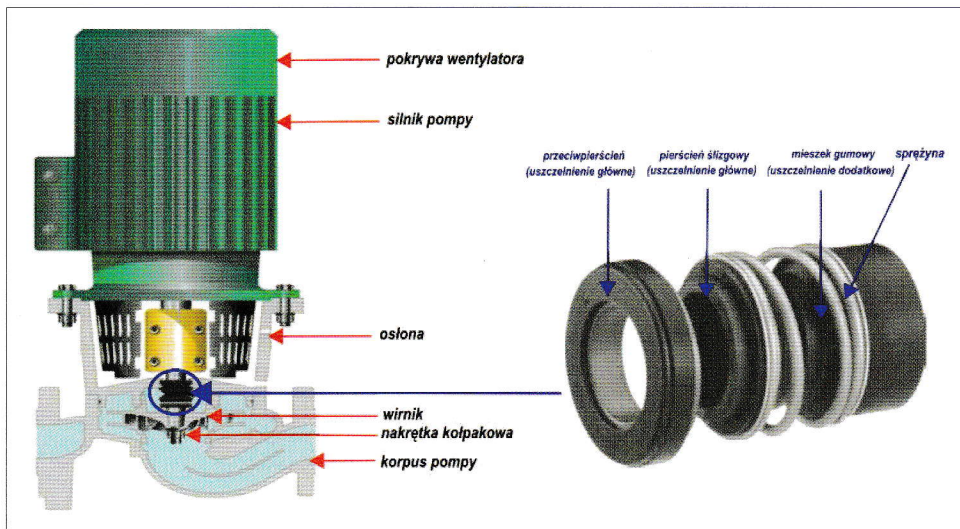
W układach technologicznych węzłów ciepłych przedsiębiorstwa zabudowane są pompy. Stanowią je maszyny robocze służące do podnoszenia cieczy z poziomu niższego na poziom wyższy lub do jej przetłaczania z obszaru o ciśnieniu niższym do obszaru o ciśnieniu wyższym<sup>4</sup>. Pracują one w węzłach ciepłych ciągle, lub z przerwami. W licznej zbiorowości pomp znajdują się urządzenia pompowe o różnym przeznaczeniu. Różnią się one między sobą pod względem konstrukcyjnym, technologicznym i materiałowym, jak też wielkością gabarytową, parametrami pracy oraz temperaturą pompowanego medium. Eksploatowane pompy obiegowe w węzłach ciepłych przedsiębiorstwa są pompami wirnikowymi. Z uwagi na konstrukcję budowy oraz typ pracy, w zbiorowości pomp można wyróżnić dwie zasadnicze grupy: pompy dławnicowe i bezdławnicowe. Mają one różną żywotność, wymagania w zakresie konserwacji, a tym samym komfort użytkowania inny.

Pompa dławnicowa jest typem pompy wirowej z elektrycznym silnikiem napędowym oddzielonym całkowicie od pompowanej cieczy. Istotnym elementem konstrukcji tych pomp jest dławnicowa wału, od której ten typ pomp wziął swoją nazwę<sup>5</sup>. W eksploatowanych pompach tego typu mają zastosowanie dwa typy uszczelnień wału za pomocą specjalnej dławnicy lub uszczelnienia mechanicznego. Zdaniem dławnicy jest uszczelnienie przejścia wału pompy przez korpus. Silnik elektryczny pompy chłodzony jest powietrzem, jego element uszczelniający jest smarowany cieczą, natomiast łożyska wymagają regularnej konserwacji przez smarowanie<sup>6</sup>. W pompach z uszczelnieniem sznurowym jednym z elementów wymagającym częstszej obsługi jest dławnicowa sznurowa (rys. 2). Wymaga ona okresowej regulacji wycieku pompowanego czynnika. Poziomy wyciek reguluje się przez dociągnięcie śrub mocujących dławik dociskający szczeliwo. Prawidłowo wyregulowana dławnicowa powinna posiadać kropelkowy wyciek, co jest wymagane dla zapewnienia

**RYS. 2**  
Uszczelnienie sznurowe pompy  
(Źródło: Internet:  
[http://www.saga.info.pl/files/file/Pompy\\_wirowe\\_jednostopniowe\\_monoblokowe\\_PJM.pdf](http://www.saga.info.pl/files/file/Pompy_wirowe_jednostopniowe_monoblokowe_PJM.pdf))



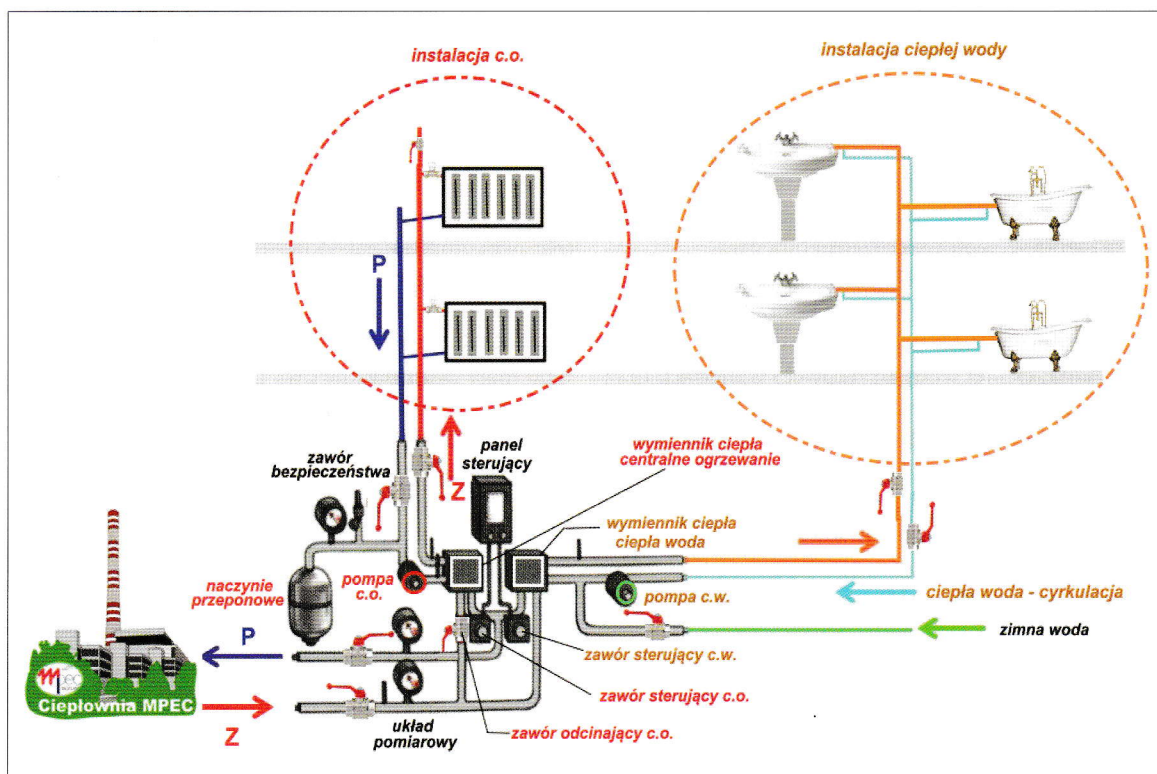




RYS. 3

Uszczelnienie mechaniczne pompy (Źródło: Podstawy techniki pompowej. Elementarz techniki pompowej, Wilo Polska Sp. z o.o., s. 29, Internet: <http://docplayer.pl/1378577-Podstawy-techniki-pompowej-elementarz-techniki-pompowej.html>)

działne są pierścienie ślizgowe. W zabudowie pompy stanowią je dwa pierścienie, z których jeden jest stacjonarny a drugi ruchomy. Pierścień stacjonarny, umieszczony w korpusie pompy przy pomocy uszczelnienia pomocniczego, tzw. oringu. Natomiast drugi pierścień ruchomy jest zamontowany na wale pompy i obraca się wraz z nim. „Mocowanie pierścienia ruchomego zabezpiecza uszczelnienie pomocnicze (wtórne), które zwykle wykonane jest w formie oringu lub miszka gumowego. Odpowiedni docisk powierzchni ślizgowych zapewnia ciśnienie robocze w pompie



RYS. 4

Układ pompowy w węźle cieplnym (Źródło: opracowanie własne z wykorzystaniem części rysunku z: Woda ogrzewana ciepłem sieciowym. Program kompleksowego wykorzystania ciepła z miejskiej sieci ciepłowniczej, MPEC Kraków, s. 9)

smarowania i chłodzenia powierzchni tulei współpracującej ze szczeliwem. Podstawową wadą uszczelnień sznurowych jest konieczność zapewnienia „technologicznego wycieku” pompowanej cieczy, niezbędnego do stałego smarowania powierzchni ślizgowej<sup>7</sup>. Powoduje to ubytki pompowanej cieczy z instalacji. Natomiast zaletą tych uszczelnień jest ograniczenie gwałtownych, dużych wycieków spowodowanych awarią. Właściwy nadzór pomp przez użytkownika pozwala w pełni kontrolować wycieki z pompy.

Uszczelnienia mechaniczne są powszechnie stosowane w pompach dławnicowych. Ideę takiego uszczelnienia zobrazowano na rysunku 3.

W przedstawionym tam rozwiązaniu za uszczelnienie przejścia wału pompy przez korpus odpowie-

i dodatkowo sprężyna osadzona na wale pompy<sup>8</sup>. Poprawna praca uszczelnienia wymaga zapewnienia stałego smarowania stykających się powierzchni ślizgowych. Czynnikiem smarującym jest pompowana ciecz. Wypełnia ona szczelinę pomiędzy pierścieniami ślizgowymi w efekcie różnicy ciśnień pomiędzy ciśnieniem roboczym pompy a ciśnieniem atmosferycznym. „Przesuwając się w stronę zewnętrzną uszczelnienia (określona ciśnieniem atmosferycznym) ciecz smarująca odparowuje. Dzieje się to na skutek spadku ciśnienia i podwyższenia temperatury (tarcie)<sup>9</sup>. W efekcie obserwacji uszczelnienia od zewnątrz, nie widać żadnego przecieku. W rzeczywistości on istnieje. Jego poziom jest niewielki i zależy od ciśnienia roboczego, średnicy wału i prędkości obrotowej pompy<sup>10</sup>. Przy pracy pom-



py ze ssaniem może dojść w określonych sytuacjach do zasysania powietrza poprzez uszczelnienie i zapowietrzenia pompy.

Konstrukcja bezdławnicowa pomp powoduje, że zarówno silnik pompy, jak i łożyska ślizgowe chłodzone i smarowane są przepływającą wodą. W literaturze przedmiotu nazywane są one również mokrobieżnymi z uwagi na to, że wszystkie ich elementy, które znajdują się wewnątrz silnika, są zanurzone w cieczy lub innym pompowanym przez pompę medium<sup>11</sup>. W związku z tym nie zachodzi konieczność stosowania dodatkowych uszczelnień z wykorzystaniem dławnicy lub uszczelnień mechanicznych. Pompy tego typu charakteryzują się zwartą konstrukcją. Z reguły pracują ciszej niż pompy dławnicowe. Hermetyczna komora silnika zapewnia też lepszą sprawność urządzenia. Do ich obsługi skomplikowane prace konserwacyjne nie są potrzebne.

### Pompy w instalacjach węzłów cieplnych

Przedsiębiorstwo eksploatuje blisko 900 pomp, z czego 350 stanowią pompy ciepłej wody użytkowej. Pompy w węzłach cieplnych w systemie ciepłowniczym przedsiębiorstwa obsługują obiegi technologiczne nośnika ciepła przypisane do instalacji wewnętrznych budynków, które charakteryzują się zmiennym i stałym natężeniem przepływu. Głównym zadaniem pomp zamontowanych w węzłach cieplnych jest pokonanie oporów przepływu wody w instalacjach budynków spowodowanych oporami tarcia w przewodach oraz oporami miejscowymi związanymi z obecnością w instalacjach trójników, kolan oraz armatury<sup>12</sup>. Pompy obiegowe i cyrkulacyjne występujące w instalacjach centralnego ogrzewania, wentylacji oraz ciepłej wody użytkowej są ważnym ich elementem. Z uwagi na charakter i specyfikę swej pracy wymagana jest od nich duża trwałość, niezawodność działania oraz wysoka sprawność<sup>13</sup>. Na rysunku 4 przedstawiono przykład układu pompowego współpracującego z instalacjami centralnego ogrzewania i ciepłej wody użytkowej w budynku.

### Pompy obiegowe w instalacji centralnego ogrzewania

Instalacje centralnego ogrzewania w budynkach ściśle współpracują z urządzeniami wymuszającymi obieg czynnika grzewczego. W węzłach cieplnych pełnią te funkcje pompy obiegowe centralnego ogrze-

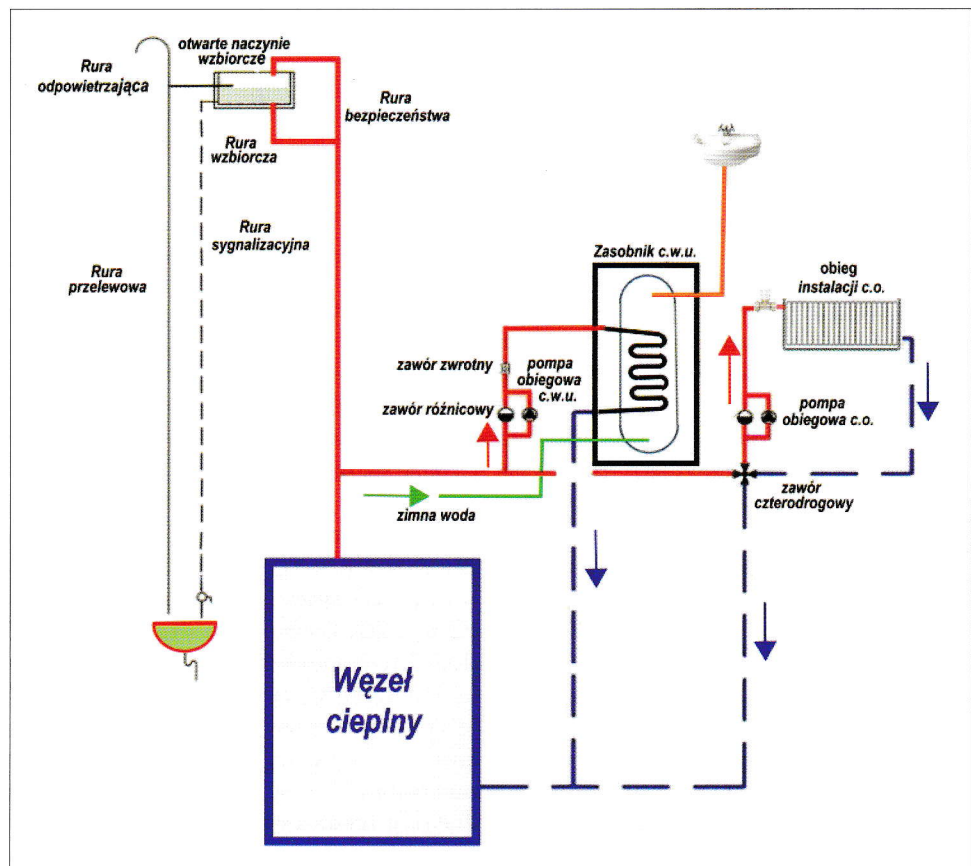
wania. Ich zadaniem jest dostarczenie nośnika ciepła w postaci gorącej wody do każdego grzejnika w budynku i utrzymanie wymaganej temperatury w ogrzewanych pomieszczeniach.

W budynkach, do których przedsiębiorstwo dostarcza ciepło, funkcjonują instalacje centralnego ogrzewania systemu otwartego i zamkniętego. Schemat instalacji typu otwartego zobrazowano na rysunku 5.

W instalacji centralnego ogrzewania systemu otwartego krążąca woda styka się bezpośrednio z powietrzem poprzez naczynie wzbiorcze, umieszczone w najwyższym jej punkcie. W takim rozwiązaniu



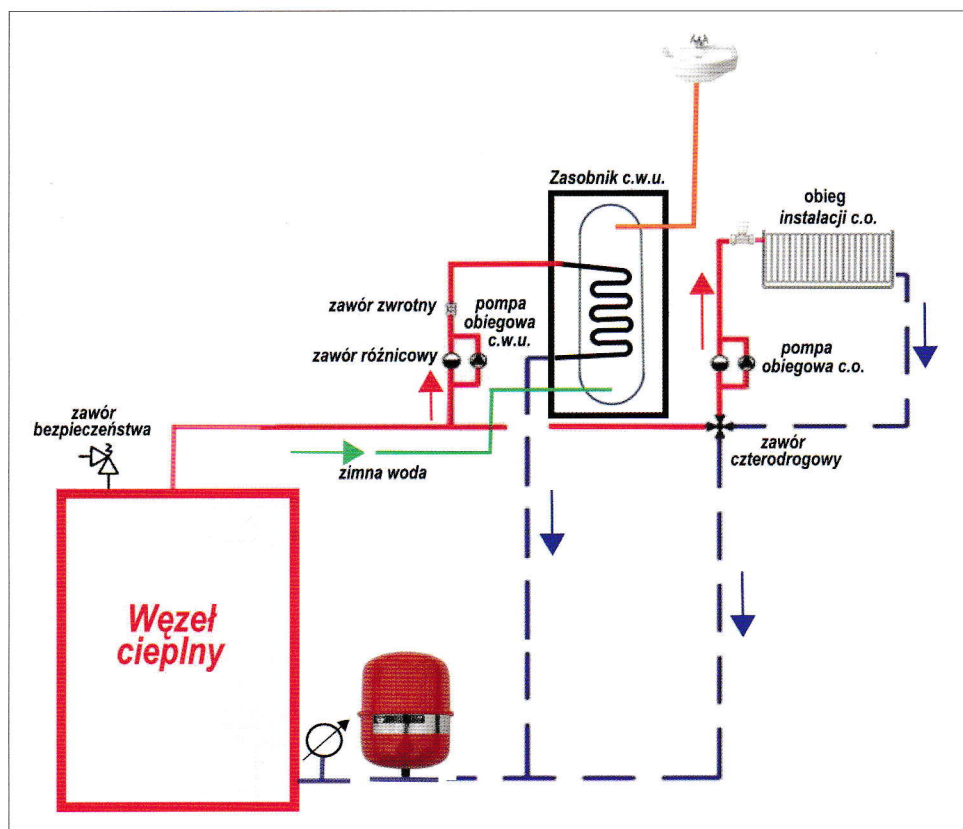
FOT. 1  
Pompa bezdławnicowa  
(Źródło: Internet:  
<http://www.lfp.com.pl/pdf/program/4.pdf>)



RYS. 5  
Instalacja centralnego ogrzewania typu otwartego  
(Źródło: opracowanie własne)

następuje ubytek wody z instalacji przez otwarte naczynie w efekcie parowania i przelewu, co wymusza potrzebę okresowego jej uzupełniania. Powoduje też wzrost korozyjności instalacji oraz przyspieszone zużywanie się grzejników. Zaletą jest większe bezpieczeństwo użytkownika w przypadku zaniku lub braku energii elektrycznej. W omawianym typie instalacji centralnego ogrzewania, pompy są zainstalowane na przewodzie, którym woda powraca z instalacji centralnego ogrzewania do węzła, lub na przewodzie, którym woda gorąca płynie do grzejników<sup>14</sup>. Montaż pompy na przewodzie powrotnym jest rozwiązaniem bardziej





RYS. 6

Instalacja centralnego ogrzewania w układzie zamkniętym  
(Źródło: opracowanie własne)

korzystnym dla pompy, gdyż w takim przypadku pompa pracuje w strefie niższej temperatury, co zwiększa jej trwałość. Wadą tego rozwiązania jest możliwość powstawania podciśnienia w niekorzystnych punktach instalacji i zasysanie powietrza do przewodów. W przypadku pomp montowanych na zasilaniu uzyskuje się korzystny rozkład ciśnień. Ten sposób montażu pompy jest zalecany dla instalacji z otwartym naczyniem wzbiorczym. W tym rozwiązaniu położenie naczynia wzbiorczego uzależnione jest od miejsca zainstalowania pompy obiegowej. „Montaż pompy na zasilaniu pozwala na niższe usytuowanie naczynia wzbiorczego, tj. w odległości co najmniej 0,3 m nad najwyższym punktem obiegu wody lub najwyższym grzejnikiem. Pompa montowana na powrocie wymusza jego usytuowanie na wysokości równoważnej 70% wartości wysokości podnoszenia pompy”<sup>15</sup>. Rysunek 6 ukazuje istotę instalacji centralnego ogrzewania systemu zamkniętego.

W systemie zamkniętym krążąca woda w instalacji centralnego ogrzewania nie styka się z powietrzem. Tak zaprojektowana instalacja zapewnia większą jej trwałość oraz wymusza niższą częstotliwość uzupełniania wody w zładzie niż instalacja typu otwartego. Przyrost objętości wody powodowany wzrostem jej temperatury przejmowany jest przez ciśnieniowe naczynie przeponowe zamontowane na powrocie. W tych rozwiązaniach we wszystkich punktach instalacji panuje nadciśnienie. Ta cecha powoduje, że w instalacjach systemu zamkniętego mogą mieć zastosowanie różne (niekonwencjonalne) rozwiązania. W systemie ciepłowniczym MPEC we Włocławku

w tego typu instalacjach spotyka się pompy montowane na powrocie lub zasilaniu.

Większość instalacji centralnego ogrzewania obsługiwana przez przedsiębiorstwo jest wyposażona w zawory termostacyjne. W instalacjach tego rodzaju występują zmienne warunki hydrauliczne, powodowane samoczynnym przyamykaniem i otwieraniem zaworów pod wpływem zmian temperatury, w ogrzewanych pomieszczeniach. Konsekwencją pracy zaworów termostacyjnych jest wzrost ciśnienia w instalacji grzewczej budynku oraz głośna praca. Aby zapobiec temu zjawisku, coraz częściej w układach węzłów przedsiębiorstwa z instalacją centralnego ogrzewania z zaworami termostacyjnymi są stosowane elektroniczne pompy z płynną regulacją obrotów silnika. Dostosowują się one samoczynnie do zmiennych przepływów wody w instalacji grzewczej i utrzymują stałą zadaną wartość ciśnienia.

W asortymencie pomp obiegowych w węzłach ciepłych przedsiębiorstwa znajdują się pompy jednobiegowe, wielobiegowe oraz elektroniczne z płynną regulacją obrotów, posiadające zintegrowaną przetwornicę częstotliwości. Pompy jednobiegowe spotyka się jeszcze w instalacjach centralnego ogrzewania niektórych węzłów grupowych<sup>16</sup>. Pompy wielobiegowe są coraz częściej stosowane jako zamiennik pomp starszej generacji. Dostępność kilku biegów pozwala na osiągnięcie najbardziej ekonomicznych parametrów pracy w instalacjach wiekowych. Najmniejszą liczebnością charakteryzują się pompy elektroniczne. W węzłach ciepłych w układach centralnego ogrzewania występują pompy bezdławnicowe i dławnicowe. Dominują pompy bezdławnicowe, których jest blisko 70% ogółu pomp.

### Pompy w instalacji ciepłej wody użytkowej

Dostawa ciepłej wody użytkowej do mieszkańców w budynkach wielorodzinnych jest realizowana za pośrednictwem instalacji c.w.u. Instalacje te są wyposażane w urządzenia, które zapewniają wodzie nieprzerwany obieg na drodze od węzła ciepłowniczego do punktów, z których ma być ona czerpana. W instalacji ciepłej wody użytkowej taką funkcję spełnia pompa cyrkulacyjna. W budynkach z ciepłą wodą użytkową instalacja cyrkulacyjna pełni ważną rolę. Zapobiega wychładzaniu wody w przewodach oraz utrzymuje wymaganą jej temperaturę przed punktami poboru.

Wadliwie działająca skutkuje zaniżeniem temperatury wody w punktach czerpalnych, co z kolei prowa-



dzi do strat energii cieplnej, która musi być ponownie dostarczona na podgrzanie wody do wymaganej temperatury<sup>17</sup>. Taka sytuacja generuje również straty wody wodociągowej. Układ cyrkulacji ciepłej wody użytkowej powoduje jej przepływ nawet wtedy, gdy nie występuje jej rozbiór. Efektem pracy pomp cyrkulacyjnych jest zapewniony dostęp wody o stałej temperaturze w punktach czerpalnych z chwilą odkręcenia zaworu przez jej konsumenta. Pracujące w węzłach ciepłych przedsiębiorstwa pompy cyrkulacyjne charakteryzują się niewielką wysokością podnoszenia zależną od wielkości instalacji. W niektórych mniejszych instalacjach maksymalne ciśnienia robocze wynoszą 0,5 MPa (5 barów), a większych nie przekraczają z reguły 1,0 MPa (10 barów) i służą tylko do pokonania oporów instalacji. Pompy cyrkulacyjne pracujące w układach ciepłej wody użytkowej charakteryzują się stałą wydajnością oraz wysokością podnoszenia. Przepływ i opory hydrauliczne są w miarę stałe i nie zachodzi potrzeba regulacji natężenia przepływu pompowanego medium. W węzłach ciepłych przedsiębiorstwa z instalacją ciepłej wody użytkowej przeważają pompy ze stałą ilością obrotów. Występują też w niewielkich ilościach pompy wielobiegowe z ręczną regulacją obrotów. Mogą one pracować z kilkoma prędkościami obrotowymi. Pozwala to na dopasowanie pompy do instalacji. W początkowym okresie pompa może pracować na najniższym biegu. Z chwilą zarośnięcia rur ciepłej wody kamieniem kotłowym, powodującym wzrost oporu przepływu, można ją przełączyć na wyższy bieg. Spotyka się też węzły ciepłe z pompami elektronicznymi z płynną regulacją obrotów, posiadające zintegrowaną przetwornicę częstotliwości. W węzłach ciepłych przedsiębiorstwa dominują pompy bezdławnicowe. W małych obiektach z ciepłą wodą mają też zastosowanie hermetyczne pompy bezdławnicowe, gdzie pompowana woda przepływając smaruje łożyska ślizgowe i chłodzi silnik. W przeciwieństwie do pomp dławnicowych nie wymagają one ciągłej konserwacji – smarowania, wymiany uszczelnień.

Pompy cyrkulacyjne w węzłach ciepłych przedsiębiorstwa na terenie miasta przetłaczają wodę o różnym stopniu agresywności i poziomie zawartości zanieczyszczeń i osadów. Z tego też powodu zamontowane w węzłach ciepłych pompy mają wirniki oraz elementy bezpośrednio stykające się z pompowaną wodą, odporne na działanie korozji oraz zanieczyszczenia zawarte w wodzie. Natomiast korpusy pomp posiadają najczęściej wykonane z brązu, mosiądzu lub ze stali nierdzewnej.

### Montaż pomp

Przystępując do montażu pompy należy dokładnie przepłukać instalację. Użytkownik pompy powinien się zapoznać z jej instrukcją obsługi lub dokumentacją techniczno-ruchową. W dokumentach tych zawarte są podstawowe informacje i zalecenia dotyczące pompy. Należy się do nich bezwzględnie stosować podczas jej

montażu oraz w czasie eksploatacji i konserwacji. Położenie pompy w instalacji (poziome lub pionowe) wynika z konstrukcji danego modelu. Na rysunku 7 ukazano przykładowe pozycje montażowe pompy w instalacji.

Producenci pomp precyzyjnie określają podstawowe zasady montażu pompy oraz pozycje w jakich może być ona ustawiona<sup>18</sup>. Pompy w instalacjach należy montować zgodnie z tymi zaleceniami. Pompy bezdławnicowe należy zawsze mocować tak, aby wał pompy był poziomo. Inna pozycja dla tego typu pomp jest niedopuszczalna. Niezależnie od rodzaju pompy, czy jej konstrukcji, pompa powinna być zamontowana na rurociągu w taki sposób, aby kierunek przepływu cyrkulującego czynnika grzewczego był zgodny z oznaczeniem umieszczonym na korpusie pompy. Pompy mogą być montowane na przewodzie zasilającym lub na rurociągu powrotnym. Łączy się je z instalacją za pomocą dwuzłazek gwintowanych (śrubunków) lub połączeń kołnierzowych. Średnice otworów przewodów instalacji powinny odpowiadać średnicy otworów króćców pompy. Przed i za pompą powinny być zamontowane zawory odcinające. Umożliwią one odcięcie pompy od instalacji oraz pozwolą na ewentualną obsługę, naprawę lub wymianę. Po stronie tłocznej należy zamontować zawór zwrotny<sup>19</sup>. Jeśli w rurociągu zamontowany jest zawór zwrotny, to minimalne ciśnienie tłoczenia pompy zawsze musi być wyższe od ciśnienia zamknięcia zaworu zwrotnego. Należy o tym pamiętać zwłaszcza przy pompach z regulacją punktu pracy (pompy elektroniczne), gdzie w warunkach obliczeniowych nie będzie problemów eksploatacyjnych, ale przy ograniczeniu przez regulator wysokości podnoszenia pompy, zawór zwrotny może całkowicie zablokować przepływ<sup>20</sup>. Pompa w instalacji winna być zabudowana w takim miejscu, aby był do niej łatwy dostęp w celu okresowego monitorowania jej pracy, dokonywania obsługi eksploatacyjnej oraz ewentualnych napraw.

### Eksploatacja pomp

W węzłach ciepłych przedsiębiorstwa występują pompy różnej konstrukcji, wielkości gabarytowej oraz przeznaczeniu. Z biegiem czasu w ich układach technologicznych pojawia się coraz więcej pomp nowej generacji. Wysoka dyspozycyjność, bezpieczna praca oraz trwałość urządzeń pompowych zależna jest w wysokim stopniu od jakości bieżącego serwisowania. Podstawowymi dokumentami będącymi w dyspozycji przedsiębiorstwa w zakresie eksploatacji pomp są Instrukcje obsługi (w przypadku małych pomp) oraz Dokumentacje Techniczno-Ruchowe (DTR) (w przypadku dużych pomp). Opisane w tych dokumentach zalecenia w zupełności wystarczają dla zapewnienia



FOT. 2

(Źródło: Internet: [http://www.wilo.pl/fileadmin/pl/Z\\_NOVA\\_A\\_DL\\_2015\\_04\\_17.pdf](http://www.wilo.pl/fileadmin/pl/Z_NOVA_A_DL_2015_04_17.pdf))



bezpiecznej pracy pomp w systemie ciepłowniczym przedsiębiorstwa. Niemniej jednak w tej części publikacji przedstawiamy praktyczne rady będące efektem wieloletniej eksploatacji znacznych ilości pomp niezależnie od ich wielkości czy rozwiązań konstrukcyjnych. Wykonywanie wszelkich czynności obsługowych przy pompach winno być poprzedzone najpierw znajomością, a potem ścisłym przestrzeganiem zaleceń montażowych i eksploatacyjnych zawartych w instrukcjach obsługi lub dokumentacji techniczno-ruchowej. Zapewnienie bezpiecznej i bezawaryjnej pracy pomp w dłuższym okresie czasu wymaga przede wszystkim:

- bieżącego monitorowania parametrów pracy,
- ciągłej kontroli parametrów hydraulicznych,
- sprawdzania stanu zamocowania pompy,
- kontroli uszczelnienia wału,
- kontroli stan łożysk.

W eksploatacji pomp bardzo istotnym elementem jest obserwacja parametrów pracy pompy przez osoby prowadzące nadzór. Zawyżony pobór mocy oraz rosnące zużycie energii elektrycznej przez pompę, o ile nie jest to związane ze zmianą jej wydajności, jest sygnałem zwiastującym występowanie nieprawidłowości w jej pracy oraz może być oznaką np. przycierania wewnętrznych elementów pompy<sup>21</sup>. Proces monitorowania pracy pompy należy wspomóc kontrolą parametrów hydraulicznych pompy w zakresie jej wydajności i wysokości podnoszenia. Spadek ciśnienia jest zwykle równoznaczny z obniżeniem jej wydajności, co może świadczyć o pogorszeniu stanu pompy. „W przypadku znacznych odchyłeń jej podstawowych parametrów od wartości nominalnych, a nie jest to wywołane przebudową układu pompowego (jak np. wzrost oporu przepływu spowodowany przymknięciem zaworów), jest to objaw niepokojący, wskazujący na problem natury technicznej. Pompa powinna charakteryzować się pracą w jak najbliższym zakresie parametrów nominalnych. Praca z dala od nich powoduje wzrost drgań i hałasu, co przyspiesza zużycie węzłów konstrukcyjnych, a szczególnie łożysk<sup>22</sup>. Ważną czynnością w trakcie eksploatacji pomp jest obserwacja wielkości ciśnienia na ssaniu pomp. Jego nadmierny spadek może powodować niebezpieczeństwo wystąpienia zjawiska kawitacji<sup>23</sup>. Przyczyn tego stanu może być kilka. Wśród nich należy wymienić: zbyt niski poziom

wody w instalacji, zatkany rurociąg ssawny albo zbyt wysoka wydajność pompy.

Istotnym zagadnieniem w eksploatacji pomp jest kontrola stanu mocowania pompy. Polega ona na sprawdzeniu stanu połączeń gwintowanych oraz kołnierzowych z instalacją. Nieszczelności w połączeniach gwintowanych oraz w kołnierzowych śrub mocujących rurociąg ssawny do kołnierza pompy grożą jej zapowietrzeniem. W pompach mocowanych do fundamentu należy sprawdzać stan dokręcenia śrub do podłoża oraz przeprowadzać kontrolę osiowania z silnikiem. Poluzowanie śrub mocujących pompę do podłoża prowadzi do zwiększenia poziomu drgań. Niewłaściwy montaż zespołu pompowego charakteryzujący się niedostatecznie dokładnym osiowaniem pompy i silnika lub uszczelnienia zewnętrznego może prowadzić do zwiększenia zużycia energii elektrycznej przez zespół pompy. Sprawdzanie osiowania z silnikiem jest przeprowadzane w przedsiębiorstwie okresowo przez specjalistyczne firmy. Wynika to z faktu, że początkowe właściwe wyosiowanie pompy i silnika może ulec pogorszeniu w trakcie jej użytkowania.

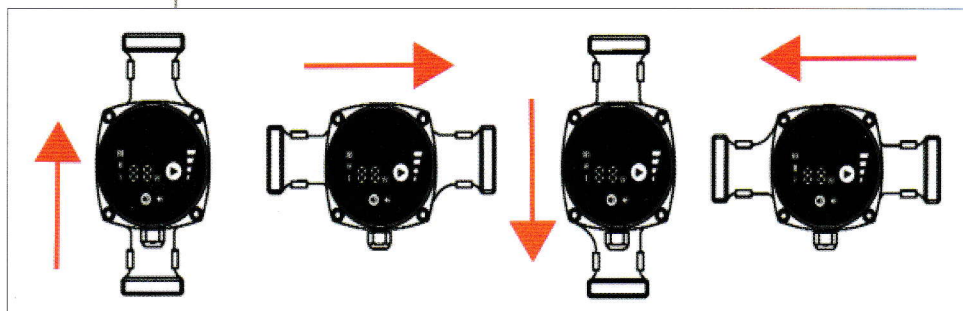
W pompach dławnicowych elementem wymagającym szczególnego zainteresowania jest dławnicowa sznurowa. W przypadku nadmiernego wycieku, niedającego się ograniczyć przez dokręcenie dławika, zachodzi konieczność wymiany sznurów uszczelniających. W pewnych okolicznościach wymiana samego szczeliwa nie przyniesie pożądanego efektu, jeśli powierzchnia tulei na wale będzie zbyt zniszczona, nierównomiernie wytarta lub skorodowana. W takim przypadku należy tuleję wymienić, co wiąże się z częściowym demontażem pompy. Należy zwrócić też uwagę na to, że zbyt silne dociśnięcie dławika, powodujące całkowite wstrzymanie wycieku, skutkuje przegrzaniem i uszkodzeniem dławnic<sup>24</sup>.

W układach pompowych z mechanicznym, ślizgowym uszczelnieniem wału pompy nie jest wymagana praktycznie żadna bieżąca obsługa uszczelnienia. Eksploatacja pomp przy tego rodzaju uszczelnieniach ogranicza się do obserwacji wycieku, który powinien być niewidoczny. Uszczelnienia te są bardziej wrażliwe na niekorzystne warunki pracy niż uszczelnienia dławnicowe sznurowe. Łatwo ulegają one uszkodzeniu w przypadku pracy na sucho. Eksploatując pompy wyposażone w tego rodzaju uszczelnienia, należy kontrolować i ograniczać poziom drgań. Przed rozruchem pompy należy starannie odpowietrzyć. W przypadku pojawienia się wycieku trzeba naprawić uszczelnienie w pompie. Z uwagi na precyzję tego urządzenia ta czynność w przedsiębiorstwie jest powierzana serwisowi producenta pompy.

Sprawną pracą pompy jest w wysokim stopniu zależna od stanu technicznego łożysk. W tym

#### RYS. 7

Pozycje montażowe pompy  
(Źródło: Instrukcja montażowa i obsługi pompy cyrkulacyjnej WITA Delta HE35, WITA, s. 8)





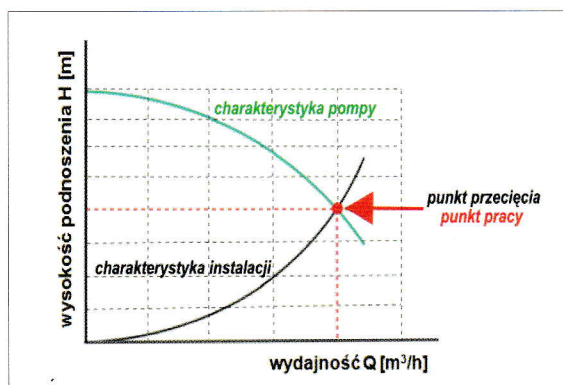
przypadku sygnałem alarmowym jest wzrost temperatury łożysk. Jedną z przyczyn tego zjawiska jest niedostateczna ilość czynnika smarującego w układzie smarującym. Wzrost temperatury łożysk może też wynikać z nadmiernego obciążenia łożysk, powodowanego brakiem osiowości pompy i silnika. Może być efektem pracy pompy przy parametrach mocno różniących się od nominalnych. Również może świadczyć o pogarszającym się stanie technicznym łożysk. Obsługa łożysk sprowadza się do utrzymania właściwego poziomu czynnika smarującego (smaru stałego lub oleju) oraz do jego wymiany z częstotliwością zalecaną przez producenta. Ważne znaczenie ma poziom, czynnika smarującego w układzie smarowania. Zarówno zbyt niski jego poziom jak i zbyt wysoki prowadzi do niewłaściwej pracy łożysk objawiającej się wzrostem temperatury<sup>25</sup>. Istotnym elementem w eksploatacji pomp jest utrzymanie czystości czynnika smarującego, co wymaga kontroli uszczelnień komory łożyskowej zainstalowanych w miejscu, gdzie wychodzi z niej wał. Warunki, w jakich pompa pracuje, mają wpływ na jej trwałość i żywotność. Niedopuszczalna jest eksploatacja pompy, na którą leje się woda lub która znajduje się w otoczeniu nadmiernego zapylenia, gdyż grozi to po pewnym czasie jej pracy uszkodzeniem komory łożyskowej, a w konsekwencji samych łożysk. Nie wolno uruchamiać pompy przy zamkniętych zaworach odcinających, gdyż takie postępowanie może być przyczyną poważnego jej uszkodzenia. Ciśnienie w instalacji nie może przekraczać dopuszczalnego ciśnienia roboczego.

### Dobór pomp do instalacji

Eksploatując węzły ciepłownicze nie raz w działalności przedsiębiorstwa zdarza się, że zachodzi konieczność dokonania doboru pompy spowodowanej przebudową instalacji lub wymiany pompy na inną, bardziej nowoczesniejszą. Z reguły czynność ta w przedsiębiorstwie jest powierzana specjalistom posiadającym odpowiednie przygotowanie zawodowe oraz doświadczenie praktyczne w tym zakresie. Niemniej jednak przystępując do doboru pompy, należy też zwrócić uwagę na takie czynniki, jak trwałość, niezawodność pracy, jakość wykonania oraz cenę. Pompy obiegowe do instalacji dobiera się w oparciu o dwa podstawowe parametry, którymi są wielkość przepływu oraz wymagana wysokość podnoszenia<sup>26</sup>.

W pierwszym kroku postępowania moc grzewczą instalacji przelicza się na natężenie przepływu czynnika grzewczego. Obliczone natężenie przepływu równe jest niezbędnej wydajności pompy obiegowej. Drugim parametrem ważnym dla doboru pompy jest ustalenie jej wysokości podnoszenia. Jest to konieczne ciśnienie służące do pokonania oporu przepływu wody w obiegu najbardziej niekorzystnym w instalacji.

Podstawą doboru i oceny pompy są charakterystyki hydrauliczne. Stanowią one graficzne odwzorowanie zależności wysokości podnoszenia od wydajności pompy<sup>27</sup>. Z wykresu obrazującego tę zależność od-



RYS. 8  
Punkt pracy pompy obiegowej  
(Źródło: opracowanie własne)

czytuje się parametry jej pracy. Pompy należy tak dobierać, aby przy zadanych parametrach wydajności i wysokości podnoszenia pracowały z optymalną sprawnością. Punkt pracy znajdował się w obszarze maksymalnej sprawności oraz w obszarze pracy bez kawitacji<sup>28</sup>. Niedopasowanie pompy do instalacji powoduje różne skutki i komplikacje. Zainstalowanie urządzenia pompowego o zbyt dużej mocy skutkuje zawyżonym w stosunku do potrzeb poborem energii elektrycznej, wzrostem kosztów pompowania, przyspiesza niszczenie elementów pompy i powoduje głośniejszą pracę instalacji<sup>29</sup>. Ponadto pracująca w instalacji „przewymiarowana pompa” będzie się charakteryzowała zbyt dużą wysokością podnoszenia. W zależności od rodzaju pompy będzie to powodowało różne komplikacje w eksploatacji instalacji. W przypadku pracy pompy z napędem o stałej prędkości obrotowej zajdzie konieczność dławienia przepływu, co będzie powodować mało efektywną jej pracę i generować straty. W instalacji z pompą z regulacją zmienną obrotową spowoduje pracę pompy z nadmiernie obniżoną prędkością obrotową i niższą sprawnością zespołu pompowego. Efektem takiej pracy będzie źle funkcjonująca instalacja centralnego ogrzewania. Z kolei zbyt mała pompa nie będzie w stanie zapewnić odpowiedniego przepływu wody w tych obiegach, które mają największe opory przepływu. Wystąpi problem z niedogrzewaniem mieszkań w chłodniejsze dni sezonu grzewczego. Pompa przez znaczny okres będzie pracowała w maksymalnym obciążeniu, co może zakłócić jej bezawaryjną eksploatację, a także skrócić jej żywotność.

\*\*\*

Układy pompowe w węzłach ciepłych obsługują obiegi technologiczne czynnika grzewczego przypisane do instalacji wewnętrznych w budynkach. Ważnym czynnikiem mającym bezpośredni wpływ na żywotność pomp oraz bezawaryjną ich pracę jest jakość krążącej wody w poszczególnych obiegach. Pompy obiegowe w instalacjach centralnego ogrzewania i wentylacji tłoczą przez cały czas odpowiednio przygotowaną wodę do celów energetycznych<sup>30</sup>. Natomiast pompy cyrkulacyjne ciepłej wody o różnym poziomie agresywności, stopniu zanieczyszczenia i zawartości



osadów. Z racji specyficznych warunków pracy pompy ciepłej wody w przedsiębiorstwie posiadają solidniejsze wykonanie niż pompy pracujące w instalacjach centralnego ogrzewania i wentylacji. W zależności od przeznaczenia pracujące pompy posiadają różne wykonania materiałowe. Korpusy pomp, ich wirniki oraz elementy bezpośrednio stykające się z pompowaną wodą są w wysokim stopniu odporne na działanie korozji, zanieczyszczeń i osadów zawartych w wodzie oraz na temperaturę.

Pozytywnym zjawiskiem coraz częściej obserwowanym w działalności przedsiębiorstwa jest zastępowanie wyeksploatowanych pomp bardziej nowoczesnymi. Zużycie energii elektrycznej przez zespoły pompowe stanowi jedno z kluczowych kryteriów w doborze pomp obiegowych i cyrkulacyjnych oraz wytycznych w projektowaniu nowych węzłów cieplnych. Energooszczędne pompy w instalacjach węzłów cieplnych mają ograniczać poziom zużycia energii elektrycznej w przedsiębiorstwie.

Gwarancją skutecznej bezawaryjnej długoletniej pracy pomp jest ich prawidłowy dobór w fazie projektowania węzłów, właściwy montaż w instalację zgodny z zaleceniami producentów oraz dobra jakościowo eksploatacja i okresowe serwisowanie. Niska awaryjność pomp oraz związana z tym ich wysoka dyspozycyjność przekłada się na stosunkowo niskie koszty eksploatacji oraz napraw. Profesjonalna obsługa pomp, doświadczona kadra oraz właściwy proces serwisowania pomp to główne czynniki zapewniające długoletnią bezpieczną pracę pomp w przedsiębiorstwie.

## Literatura

1. A. Adamczewski, *Małe pompy w instalacjach c.o. i ciepłej wody*, InstalReporter 15/2011.
2. T. Berowski, *Eksploatacja pomp w przedsiębiorstwie ciepłowniczym, cz.1*. Internet: <http://www.kierunekpompy.pl/artukul,15291,eksploatacja-pomp-w-przedsiębiorstwie-cieplowniczym-cz-1.html>
3. K. Buczek, *Egzamin kwalifikacyjny osób zajmujących się eksploatacją urządzeń, instalacji i sieci cieplnych, (w pytaniach i odpowiedziach)*, Wydawnictwo i Handel Książkami, „KaBe” s.c., Krosno 2003.
4. W. Grzegorzczak, *Montaż instalacji centralnego ogrzewania, Poradnik dla ucznia*, Instytut Technologii Eksploatacji-Państwowy Instytut Badawczy, Radom 2006, Internet: [http://biblioteka.cyfrowaszkoła.waw.pl/biblioteka/monter\\_instalacji/pdf/12.pdf](http://biblioteka.cyfrowaszkoła.waw.pl/biblioteka/monter_instalacji/pdf/12.pdf)
5. W. Grzegorzczak, *Wykonywanie i eksploatacja instalacji centralnego ogrzewania i ciepłej wody użytkowej. Poradnik dla ucznia*, Instytut Technologii Eksploatacji – Państwowy Instytut Badawczy, Radom 2007, Internet: <http://www.tb.resman.pl/bud/technikum/10i.pdf>
6. R. Gawronek, *Uszczelnienia mechaniczne w pompach wirowych*, Internet: <http://www.instalator.pl/2015/11/uszczelnienia-mechaniczne-w-pompach-wirowych/>
7. Z. Katolik, D. Tomaszewski, *Głębokie, a nawet głębokie oszczędności. Ograniczenie zużycia energii elektrycznej w transporcie wody przemysłowej. Studium przypadku MPEC we Włocławku*, POMPY POMPOWNI 1/2016.
8. Z. Katolik, U. Milcarek, *Po pierwsze ... woda*, Energetyka Ciepła i Zawodowa Nr 6/2016.
9. Z. Katolik, D. Tomaszewski, *Sieć w kolizji. System dystrybucji ciepła. Studium przypadku MPEC we Włocławku cz. 1*, Energetyka Ciepła i Zawodowa Nr 3/2015.
10. Z. Katolik, D. Tomaszewski, *W rytmie miasta. System dystrybucji ciepła. Studium przypadku MPEC Włocławek cz. 2*, Energetyka Ciepła i Zawodowa Nr 4/2015.
11. Z. Katolik, D. Tomaszewski, *System ciepły MPEC we Włocławku*, Energetyka Ciepła i Zawodowa 2/2008.
12. I. Malecka, *Sprawność użytkowa systemu przygotowania ciepłej wody w węzłach ciepłowniczych*, Internet: [http://www.biswbs.pb.edu.pl/2010\\_01/10.pdf](http://www.biswbs.pb.edu.pl/2010_01/10.pdf)

13. G. Pakuła, *Bieżąca obsługa pomp*, Internet: <http://kronikatechnikpompej.pl/2014/09/23/biezaca-obsługa-pomp/>
14. A. Szkarowski, Ł. Łatowski, *Ciepłownictwo*, Wydawnictwo Naukowo-Techniczne, Warszawa 2006.
15. E. Zaborowska, M. Zaborowski, *Pompa na zasileniu czy na powrocie? Bezpieczna instalacja*, Magazyn Instalatora, Internet: <http://www.instalator.pl/2005/05/pompa-na-zasileniu-czy-na-powrocie-bezpieczna-instalacja/>
16. *Pompy obiegowe dławnicowe i bezdławnicowe - różne*, ITP Internet: <http://itp.org.pl/pompy-obiegowe-dławnicowe-i-bezdławnicowe-roznicze>
17. *Prawidłowy montaż pompy centralnego ogrzewania*, Poradniki, Internet: <http://www.e-heat.pl/prawidlowy-montaz-pompy-centralnego-ogrzewania-n-28.html>
18. *Pompujemy ciepło*, Fachowy Instalator 1.2013, Internet: [http://www.lfp.com.pl/web/home.nsf/041614c89d9030f-8c125724500362b46/41b7b3f85f62099fc1257b3300478b02/\\$FILE/Artykul%C5%82.pdf](http://www.lfp.com.pl/web/home.nsf/041614c89d9030f-8c125724500362b46/41b7b3f85f62099fc1257b3300478b02/$FILE/Artykul%C5%82.pdf)
19. Instrukcja montażowa i obsługi pompy cyrkulacyjnej WITA Delta HE 35, WITA.
20. *Woda ogrzewana ciepłem sieciowym. Program kompleksowego wykorzystania ciepła z miejskiej sieci ciepłowniczej*, MPEC Kraków.
21. *Podstawy techniki pompowej. Elementarz techniki pompowej*, Wilo Polska Sp. z o.o., Internet: <http://docplayer.pl/1378577-Podstawy-techniki-pompowej-elementarz-techniki-pompowej.html>
22. *Pompa bezdławnicowa*, Internet: <http://www.lfp.com.pl/pl/pdf/program/4.pdf>
23. Internet: [http://www.wilo.pl/fileadmin/pl/Z\\_NOVA\\_A\\_DL\\_2015\\_04\\_17.pdf](http://www.wilo.pl/fileadmin/pl/Z_NOVA_A_DL_2015_04_17.pdf)
24. Internet: [http://www.saga.info.pl/files/file/Pompy\\_wirowe\\_jednostopniowe\\_monoblokowe\\_PJM.pdf](http://www.saga.info.pl/files/file/Pompy_wirowe_jednostopniowe_monoblokowe_PJM.pdf)

## Przypisy

1. Zob. więcej: Z. Katolik, D. Tomaszewski, *Sieć w kolizji. System dystrybucji ciepła. Studium przypadku MPEC we Włocławku cz.1*, Energetyka Ciepła i Zawodowa Nr 3/2015, s. 36-39. Z. Katolik, D. Tomaszewski, *W rytmie miasta. System dystrybucji ciepła. Studium przypadku MPEC Włocławek cz.2*, Energetyka Ciepła i Zawodowa Nr 4/2015, s. 46-52.
2. Zob. więcej: Z. Katolik, D. Tomaszewski, *System ciepły MPEC we Włocławku*, Energetyka Ciepła i Zawodowa 2/2008, s. 67-70.
3. Zob. A. Szkarowski, Ł. Łatowski, *Ciepłownictwo*, Wydawnictwo Naukowo-Techniczne, Warszawa 2006, s. 187.
4. K. Buczek, *Egzamin kwalifikacyjny osób zajmujących się eksploatacją urządzeń, instalacji i sieci cieplnych, (w pytaniach i odpowiedziach)*, Wydawnictwo i Handel Książkami, „KaBe” s.c., Krosno 2003, s. 243.
5. R. Gawronek, *Uszczelnienia mechaniczne w pompach wirowych*, Internet: <http://www.instalator.pl/2015/11/uszczelnienia-mechaniczne-w-pompach-wirowych/>
6. *Pompy obiegowe dławnicowe i bezdławnicowe - różne*, ITP, Internet: <http://itp.org.pl/pompy-obiegowe-dławnicowe-i-bezdławnicowe-roznicze>
7. R. Gawronek, *Uszczelnienia mechaniczne...*, op., cit.
8. R. Gawronek, *Uszczelnienia mechaniczne...*, op., cit.
9. R. Gawronek, *Uszczelnienia mechaniczne...*, op., cit.
10. R. Gawronek, *Uszczelnienia mechaniczne...*, op., cit.
11. *Pompy obiegowe dławnicowe i bezdławnicowe...*, op., cit.
12. W. Grzegorzczak, *Montaż instalacji centralnego ogrzewania*, Poradnik dla ucznia, Instytut Technologii Eksploatacji-Państwowy Instytut Badawczy, Radom 2006, s.8, Internet: [http://biblioteka.cyfrowaszkoła.waw.pl/biblioteka/monter\\_instalacji/pdf/12.pdf](http://biblioteka.cyfrowaszkoła.waw.pl/biblioteka/monter_instalacji/pdf/12.pdf)
13. Z. Katolik, D. Tomaszewski, *Głębokie, a nawet głębokie oszczędności. Ograniczenie zużycia energii elektrycznej w transporcie wody przemysłowej. Studium przypadku MPEC we Włocławku*, POMPY POMPOWNI 1/2016, s. 34.
14. W. Grzegorzczak, *Wykonywanie i eksploatacja instalacji centralnego ogrzewania i ciepłej wody użytkowej. Poradnik dla ucznia*, Instytut Technologii Eksploatacji – Państwowy Instytut Badawczy, Radom 2007, s.51, Internet: <http://www.tb.resman.pl/bud/technikum/10i.pdf>
15. E. Zaborowska, M. Zaborowski, *Pompa na zasileniu czy na powrocie? Bezpieczna instalacja*, Magazyn Instalatora, Internet: <http://www.instalator.pl/2005/05/pompa-na-zasileniu-czy-na-powrocie-bezpieczna-instalacja/>
16. *Węzły grupowe w przedsiębiorstwie są stopniowo likwidowane*
17. I. Malecka, *Sprawność użytkowa systemu przygotowania ciepłej wody w węzłach ciepłowniczych*, s. 63, Internet: [http://www.biswbs.pb.edu.pl/2010\\_01/10.pdf](http://www.biswbs.pb.edu.pl/2010_01/10.pdf)
18. *Prawidłowy montaż pompy centralnego ogrzewania*, Poradniki, Internet: <http://www.e-heat.pl/prawidlowy-montaz-pompy-centralnego-ogrzewania-n-28.html>
19. Podstawową funkcją zaworu zwrotnego jest zagwarantowanie właściwego kierunku przepływu wody zgodnego z kierunkiem przepływu wody przez pompę.
20. *Prawidłowy montaż pompy centralnego...*, op., cit.
21. Zob. G. Pakuła, *Bieżąca obsługa pomp*, Internet: <http://kronikatechnikpompej.pl/2014/09/23/biezaca-obsługa-pomp/>
22. G. Pakuła, *Bieżąca obsługa...*, op., cit.
23. Podaje za: K. Buczek, *Egzamin kwalifikacyjny osób...*, op., cit., s. 249-250. Kawitacja nazywamy zjawisko tworzenia się pęcherzyków pary w miejscach, gdzie ciśnienie obniżyło się poniżej ciśnienia pary nasyconej dla danej temperatury, które przeniesione strumieniem cieczy do obszarów o wyższym ciśnieniu gwałtownie się skraplają. Zjawisko kawitacji zachodzi wewnątrz pompy i towarzyszy mu szum lub trzaski, a nawet drgania.
24. G. Pakuła, *Bieżąca obsługa...*, op., cit.
25. G. Pakuła, *Bieżąca obsługa...*, op., cit.
26. A. Adamczewski, *Małe pompy w instalacjach c.o. i ciepłej wody*, InstalReporter 15/2011, s. 13.
27. A. Adamczewski, *Małe pompy w instalacjach...*, op., cit., s.13.
28. T. Berowski, *Eksploatacja pomp w przedsiębiorstwie ciepłowniczym, cz.1*, Internet: <http://www.kierunekpompy.pl/artukul,15291,eksploatacja-pomp-w-przedsiębiorstwie-cieplowniczym-cz-1.html>
29. *Pompujemy ciepło*, Fachowy Instalator 1.2013, s. 39, Internet: [http://www.lfp.com.pl/web/home.nsf/041614c89d9030f8c125724500362b46/41b7b3f85f-62099fc1257b3300478b02/\\$FILE/Artykul%C5%82.pdf](http://www.lfp.com.pl/web/home.nsf/041614c89d9030f8c125724500362b46/41b7b3f85f-62099fc1257b3300478b02/$FILE/Artykul%C5%82.pdf)
30. Z. Katolik, U. Milcarek, *Po pierwsze ... woda*, Energetyka Ciepła i Zawodowa Nr 6/2006, s. 28-34.