

Poprawa efektywności procesu pompowania na przykładzie Ciepłowni Malbork

Mgr inż. Grzegorz Grzyb¹

Dr inż. Andrzej Misiewicz²

Inż. Jacek Murawski³

¹ Wilo Polska Sp. z o.o.

² ZPME Energom s.c.

³ Elektromontaż Toruń Sp. z o.o.

Streszczenie

W artykule przedstawione zostały działania modernizacyjne w Ciepłowni Malbork, polegające na zmianie technologii pompowania. Pokazano stan przed modernizacją oraz zmiany modernizacyjne – przebudowa wewnętrznego układu technologicznego, dopasowanie pomp do wymagań oraz zmiany w układach zasilania, sterowania i regulacji. Zaprezentowano uzyskane efekty energetyczne, poparte pomiarami porównawczymi i rzeczywistą rejestracją zużycia energii.

Wstęp

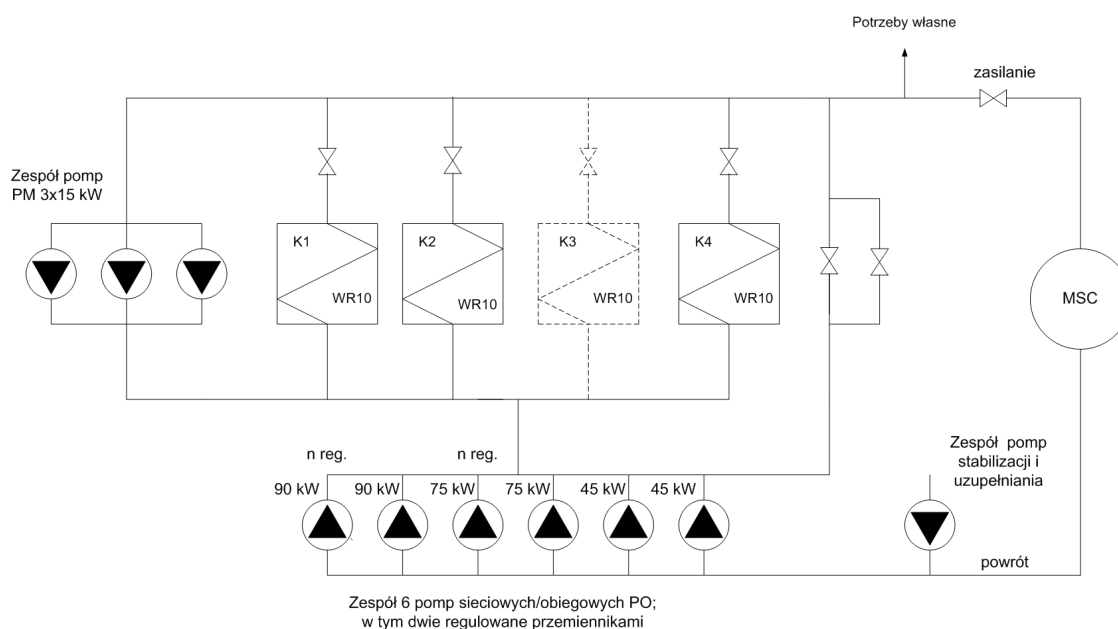
Układy pomp sieciowych ciepłowni muszą zapewnić wymagane ciśnienie dyspozycyjne m.s.c. oraz pokonać opory wewnętrzne instalacji źródła ciepła. Proces pompowania powinien gwarantować pracę układu przy jak najmniejszym poziomie strat energetycznych.

Przy pracy układów pompowych ciepłowni możemy wyróżnić straty:

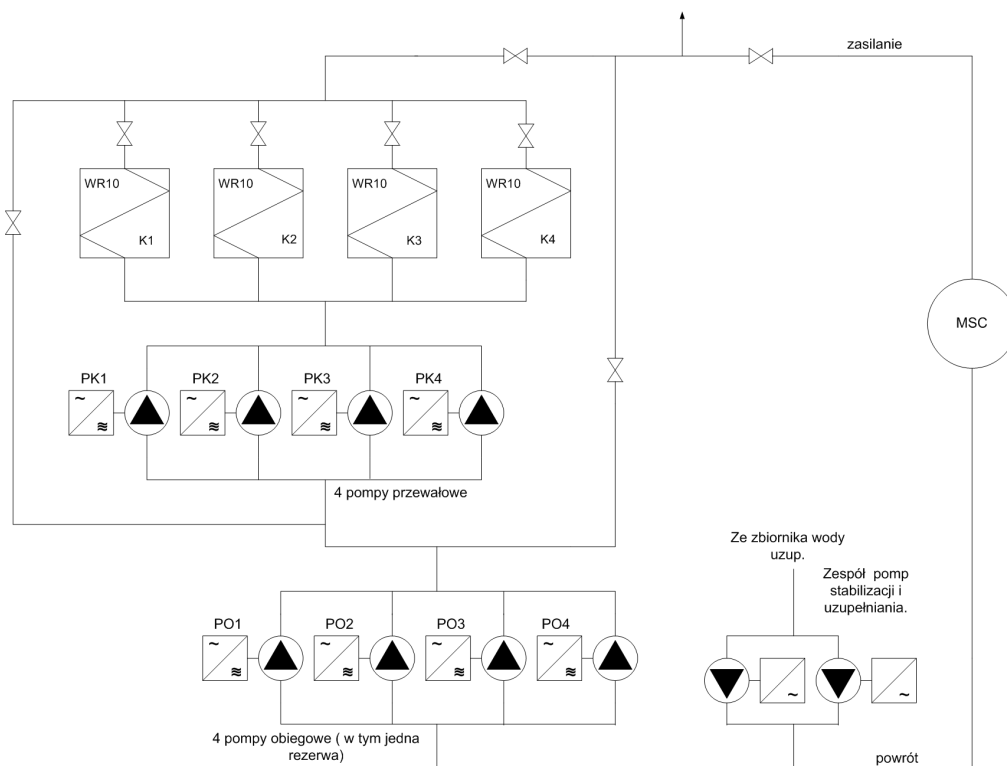
- wynikające z konfiguracji układu i przyjętej technologii (kotły i wymienniki oraz ich wzajemne połączenie, zmieszanie gorące, zmieszanie zimne),
- wynikające ze strat w urządzeniach transportu wody (pompy, silniki, napędy),

- wynikające ze strat hydraulicznych instalacji (opory przepływu źródła),
- wynikające ze współpracy źródła z siecią (dyspozycja i pozostałe parametry pracy sieci).

Pompy źródła ciepła oraz ich konfiguracja powinny być tak dobrane, aby zapewnić wymagane parametry sieci przy jak najmniejszym poziomie strat własnych. Jest to możliwe, gdy układ pompowy pracuje cały czas, lub przez większość czasu w pobliżu punktu najwyższej sprawności. Istotne jest, aby układ nie posiadał zbyt dużych nadwyżek parametrowych, które w eksploatacji muszą podlegać głębokiemu zregulowaniu, co zawsze prowadzi do spadku sprawności zespołów pompowych (pomp, silników i falowników).



Rysunek 1. Układ technologiczny i pompowy Ciepłowni Malbork przed modernizacją



Rysunek 2. Układ technologiczny i pompowy Ciepłowni Malbork po modernizacji

Modernizacja układu technologicznego ciepłowni

Układ technologiczny i pompowy Ciepłowni Malbork (Rysunek 1) był klasycznym układem z pompami sieciowymi (obiegowymi), podającymi wodę do miejskiej sieci ciepłowniczej poprzez zespół kotłów wodnych. Konieczne zmieszanie zimne realizowane było poprzez węzeł obejściowy kotłów. Wymagana temperatura wody na wlocie do kotłów była zapewniana przez zespół pomp zmieszania gorącego. Dwie pompy obiegowe były wyposażone w przemienniki częstotliwości.

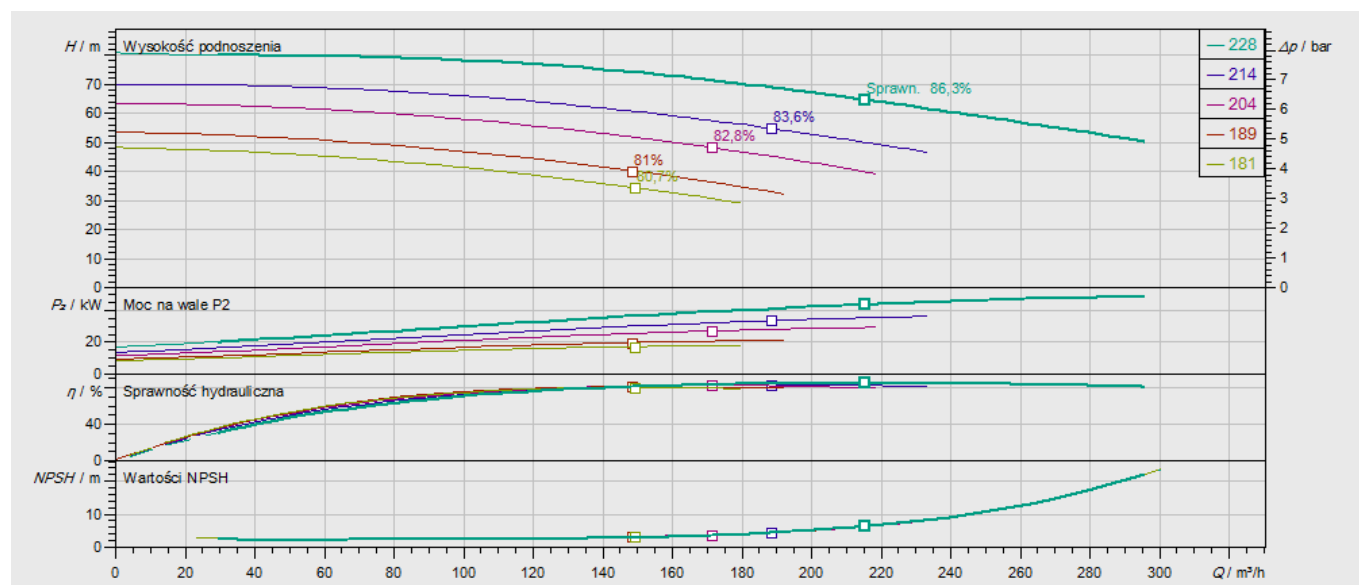
Analiza strat procesu pompowania wykazała, że główne straty układu są spowodowane niską sprawnością pomp

obiegowych, ich różnymi charakterystykami przepływu oraz stratą dławienia na węźle zmieszania zimnego.

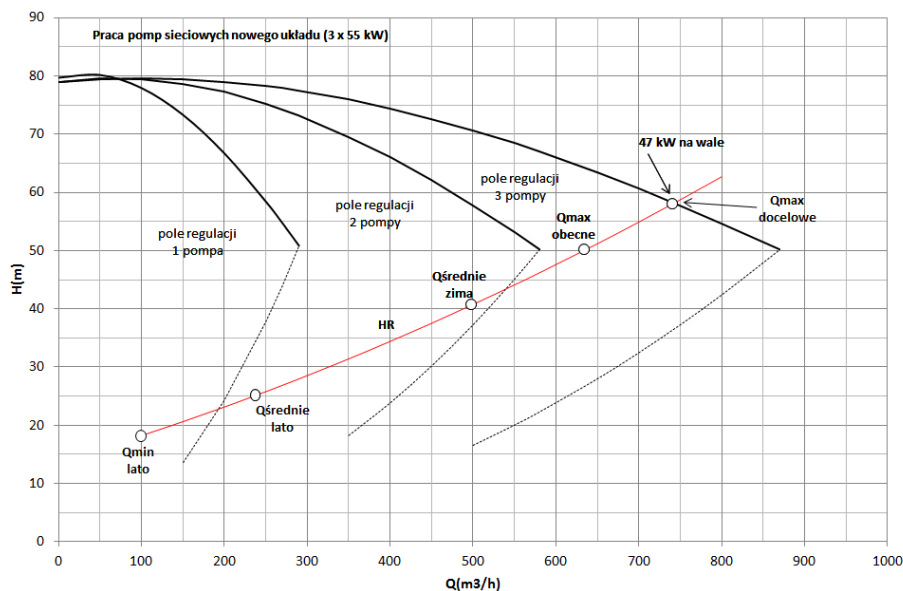
Układ został zmodernizowany do postaci technologicznej pokazanej na Rysunku 2. W nowym układzie:

- zainstalowano pompy przevalowe kotłów w zabudowie gniazdowej,
- zmieniono i ujednolicono hydraulicznie pompy obiegowe,
- wyeliminowano gniazdo pomp zmieszania gorącego,
- rozdławiono węzeł zmieszania zimnego,
- wszystkie pompy zostały wyposażone w przemienniki częstotliwości.

Wszystkie pompy, zarówno obiegowe jak i przevalowe, zostały pod względem energetycznym dopasowane do



Rysunek 3. Charakterystyki pomp obiegowych WILO-Atmos GIGA-N 80/200-55/2



Rysunek 4. Pole pracy pomp obiegowych

wymagań. W ten sposób **uniknięto niepotrzebnych nadwyżek regulacyjnych**. Zastosowano pompy o zdecydowanie wyższej sprawności oraz o płaskim przebiegu pagórka sprawności. Charakterystykę pompy obiegowej pokazuje Rysunek 3.

Wysoka sprawność nominalna (86%) oraz płaski pagórek w szerokim zakresie zmian przepływów spowodował znaczne zwiększenie efektywności pompowania. Niezależnie od wymaganego przepływu, pompa/pompy pracują w zakresie swoich sprawności optymalnych. Praca układu pomp obiegowych została pokazana na Rysunku 4.

Wobec jednakowych charakterystyk przepływu pomp obiegowych, przy regulacji synchronicznej został zapewniony wyrównany poziom obciążeń oraz praca wszystkich jednostek z taką samą sprawnością własną. W celu pokonania oporów kotłów wykorzystano pompy przewałowe (Rysunek 5) o **sprawności nominalnej 83%** i o tak dobranych parametrach, żeby było możliwe zasilanie każdego kotła. Zrezygnowano z zabudowy indywidualnej na rzecz zabudowy gniazdowej, ze względu na niższe koszty oraz

lepsze rezerwowanie.

Pompy przewałowe również mają płaskie przebiegi sprawności, co jest istotne przy pracy kotłów w zakresie zmiennych obciążeń. W pompach przewidziano pewną nadwyżkę parametrową (Rysunek 6) do wykorzystania w sytuacjach ruchowo koniecznych (np. przy konieczności zapewnienia wymaganego ciśnienia blokady przy pracy kotłów z ich maksymalną temperaturą wylotową).

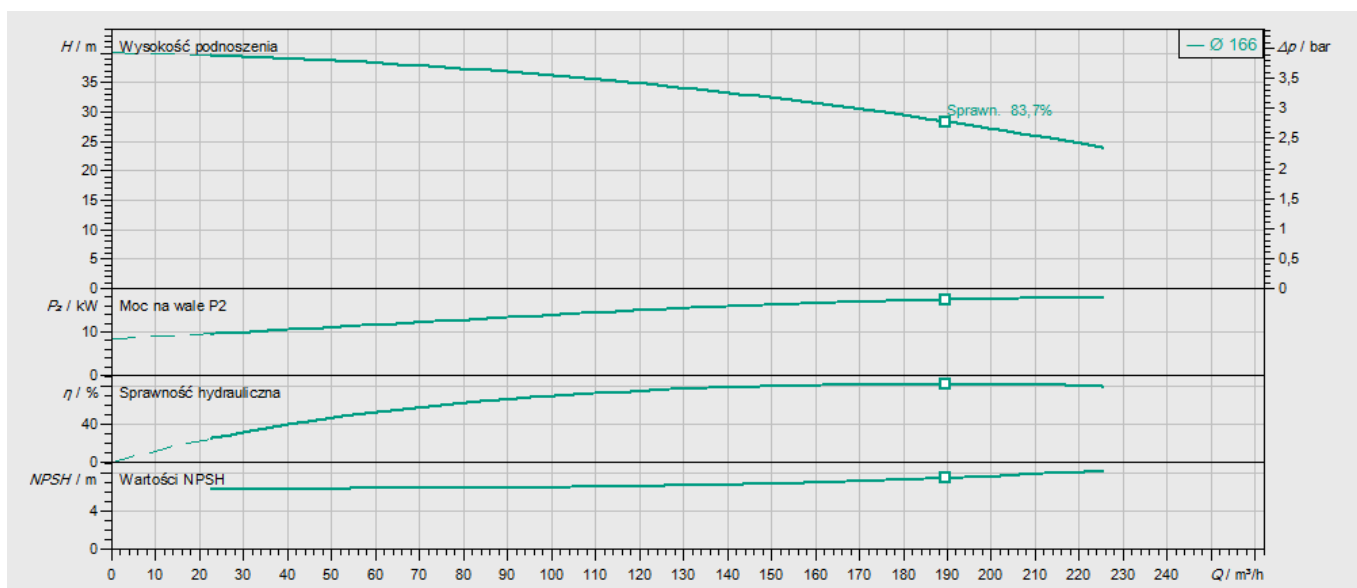
Tak zmieniona konfiguracja oraz dopasowanie parametrowe pomp spowodowały **zmniejszenie mocy zainstalowanej w pompach z 465 kW do 294 kW, czyli o ponad 35%**. Lepsze dopasowanie pomp do wymagań, wyższa sprawność oraz likwidacja strat dławienia na zmieszaniu zimnym, przyniosły znaczące sumaryczne efekty energetyczne.

Zasilanie, sterowanie i regulacja

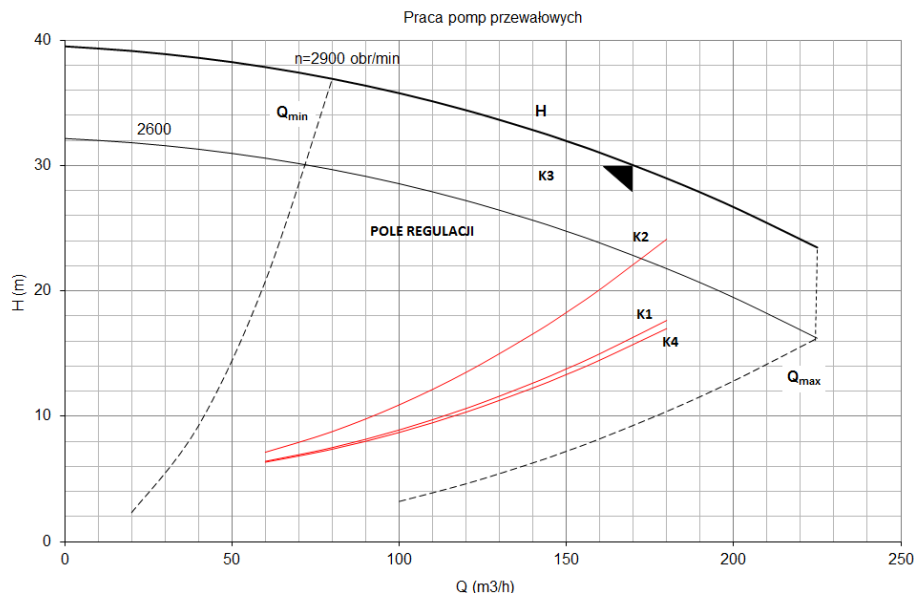
W celu zasilenia nowych silników pomp obiegowych i przewałowych zdecydowano o wymianie wyeksploatowanych rozdzielnic elektrycznych na rzecz aktualnie stosowanych rozwiązań technicznych. Zaprojektowano nowy układ rozdziału energii elektrycznej oraz nowe szafy, w których umieszczono przemienniki częstotliwości zasilające silniki pomp. Poprawiono w ten sposób funkcjonalność układu, bezpieczeństwo obsługi, zapewniając komfort eksploatacyjny całego układu.

Nowe rozdzielnice elektryczne oraz szafy z przemiennikami umieszczono w pompowni, w bezpośrednim sąsiedztwie stanowisk pompowych, zapewniając im właściwe warunki chłodzenia.

Wszystkie, wymagane przez technologię pracy Ciepłowni układy sterowania, regulacji i blokad umieszczono w nowym sterowniku części ciepłowniczej. Zaprojektowane sygnały pomiarowe z przetworników i czujników



Rysunek 5. Charakterystyki pomp przewałowych WILO-Atmos GIGA-B 80/140-18,5/2 18,5/2



Rysunek 6. Pole pracy pomp przewalowych

objektowych wprowadzono do sterownika. Z sterownika wyprowadzono sygnały sterujące układami wykonawczymi na obiekcie, komunikaty o przekroczeniach oraz sygnalizacje statusu i awarii urządzeń.

W procesie sterowania pośredniczy szafa automatyki, na której umieszczono aparaty sterujące sygnalizacyjne oraz wskaźniki pomiaru wielkości fizycznych. Ponadto szafę automatyki wyposażono w panel operatorski umożliwiający pełną kontrolę nad wszystkimi układami technologicznymi części ciepłowniczej oraz kolumnę sygnalizacyjną do komunikowania zdarzeń obiektowych Operatorowi.

Dodatkowo, do systemu komputerowego wprowadzono łączem LAN informacje o parametrach elektrycznych z wszystkich zamontowanych przemienników.

Zmieniona technologia pracy Ciepłowni wymagała wprowadzenia nowych układów automatycznej regulacji,

takich jak:

- regulacja ciśnienia dyspozycyjnego wody do sieci miejskiej,
- regulacja przepływu wody przez kotły wodne,
- regulacja temperatury wody na wlocie do kotłów wodnych.

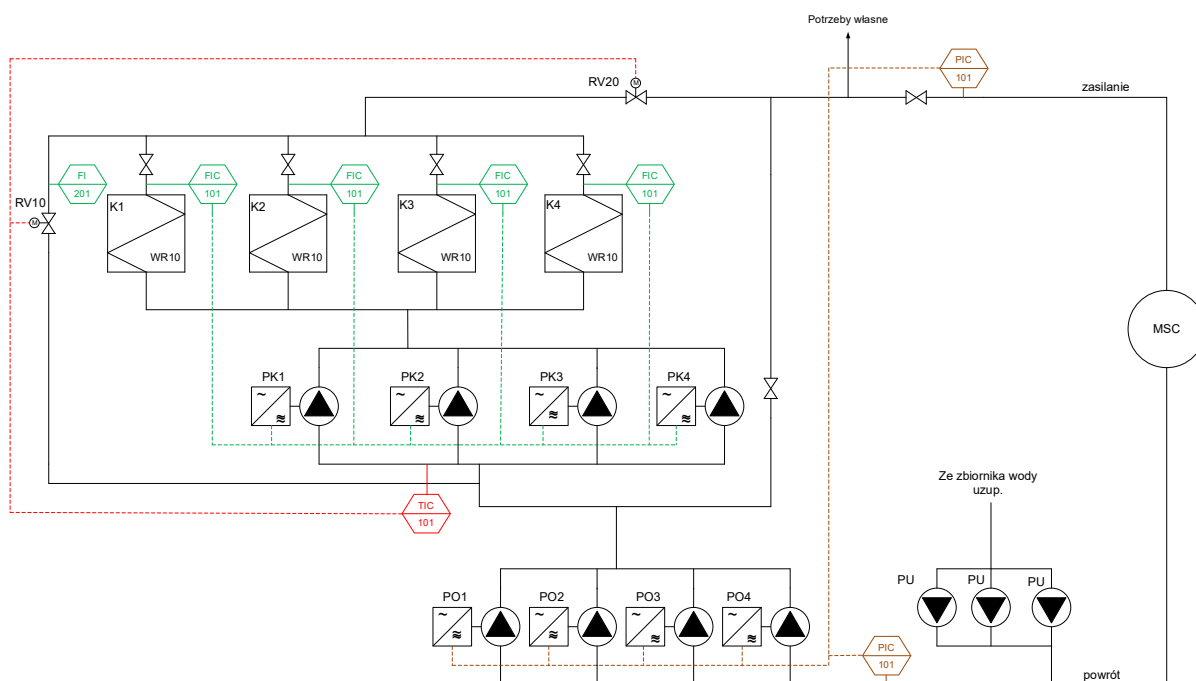
Wszystkie układy regulacji (Rysunek 7) zrealizowano w nowym sterowniku części ciepłowniczej. Wizualizację pracy układów umieszczono w stacji operatorskiej i na panelu operatorskim. Będące w ruchu pompy są sterowane tym samym sygnałem sterującym – pracują z taką samą prędkością obrotową.

Regulacja ciśnienia dyspozycyjnego (PIC 101) do sieci miejskiej sprowadza się do utrzymania

zadanej wartości różnicy ciśnienia zasilania i powrotu. Układ automatycznej regulacji dostosowuje parametry pomp obiegowych do wymaganego w danej chwili ciśnienia w sieci miejskiej.

Regulacja przepływu przez kotły wodne (FIC 101) zapewnia stałość zadanego przez Operatora przepływu w tych urządzeniach. Elementami wykonawczymi układu są pompy przewalowe z napędami o zmiennej prędkości obrotowej, a sygnałem regulacji jest przepływ przez pracujący kocioł o największym oporze hydraulicznym.

Regulacja temperatury wody przed kotłami wodnymi (TIC 101) pozwala na uzyskanie stałej temperatury wody na wlocie do kotłów dla zapewnienia prawidłowej eksploatacji kotłów. Proces regulacji temperatury wody mieszanina gorących kotłów prowadzony jest przez przepustnice regulacyjne wyposażone w napędy elektryczne.



Rysunek 7. Schemat regulacji układu technologicznego i pompowego Ciepłowni Malbork

Wykonanie

Prace obiektowe (Fotografia 1) wykonane były podczas ruchu Ciepłowni. Nowe układy pompowe zostały wbudowane w starą technologię. Stanowiło to wyzwanie podczas wszystkich prac montażowych ze względu na ograniczoną ilość miejsca, natomiast gwarantowało ciągłą dostawę ciepła do odbiorców, co było priorytetem dla władz ECO Malbork. Stary układ został zdemontowany dopiero po uruchomieniu nowego i uzyskaniu sprawności parametrowej układu pompowego oraz sieci ciepłowniczej.

Jako pompy sieciowe (obiegowe) zostały zabudowane cztery zespoły pompowe, normowe WILO-Atmos GIGA-N 80/200-55/2 (Fotografia 3) pracujące w układzie kolektorowym.

Jako pompy kotłowe zastosowano blokowe pompy WILO-Atmos GIGA-B 80/140-18,5/2 (Fotografia 2). Blokowa konstrukcja charakteryzuje się zwartą budową pozwalającą na oszczędność miejsca w maszynowni.

Wszystkie jednostki pompowe zostały posadowione na stalowych ramach z wibroizolatorami, które znacznie ułatwiły i przyspieszyły montaż oraz serwisowanie pomp, szczególnie tych o konstrukcji blokowej.

Podczas prac obiektowych wyzwanie stanowiła również wymiana starej infrastruktury elektrycznej. Nowe szafy zasilające i sterujące przewidziane były w miejscu starych jednostek, w związku z tym należało wykonać zasilanie rezerwowe dla wciąż pracujących starych układów pompowych, zapewniających sprawność ruchową obiektu.

Gdy nowe układy hydrauliczne, elektryczne i sterowania były zmontowane i przeszły testy funkcjonalne, przystąpiono do przełączenia układów. Przerwa w pracy Ciepłowni trwała kilka godzin, podczas którego nowe instalacje zostały podłączone do infrastruktury obiektu i nastąpiło ponowne uruchomienie Ciepłowni. Następnie zdemontowano stary układ technologiczny.

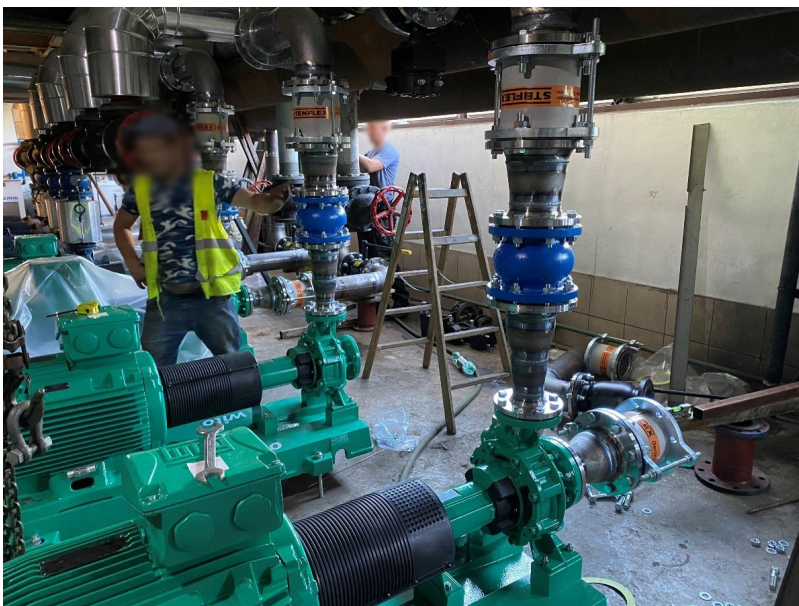
Efekty energetyczne

W trakcie prac koncepcyjnych szacowano uzyskanie efektu energetycznego poprzez redukcję zużycia energii elektrycznej o ok. 30%. W warunkach eksploatacyjnych uzyskano redukcję zużycia energii elektrycznej **od 31,9% do 43%** w zależności od roku odniesienia (Tabela 1).

Podsumowanie

Modernizacja ciepłowni, zaprojektowanych i wybudowanych w latach 70–90-tych ubiegłego stulecia, w oparciu o trzy główne zasady:

- zmianę technologii pompownia,
- zastosowanie pomp o wysokich sprawnościach z płaskim przebiegiem charakterystyki sprawności,



Fotografia 1. Prace montażowe pomp sieciowych Wilo Atmos GIGA-N



Fotografia 2. Pompy kotłowe K1- K4 WILO-Atmos GIGA-B 80/140-18,5/2



Fotografia 3. Pompy obiegowe PO1 – PO4 WILO-Atmos GIGA-N 80/200-55/2

Tabela 1. Efekt energetyczny - porównanie do lat 2020–2023

Zużycie energii elektrycznej na pompowanie w latach 2020–2024 w Ciepłowni Miejskiej przy ul. Piaskowej 1 w Malborku (w związku z modernizacją układu pompowego w 2023 r.)													
Parametr	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	SUMA [kWh]
2020													
Całość	207801	185992	183859	144061	116612	50032	38214	36503	55031	137095	164021	203907	1523128
Pompowanie	141460	124820	132070	104080	85720	35810	26190	24340	37760	98770	114230	130640	1055890
Przepływ [m³/h]	548	514	487	406	332	177	129	126	194	414	503	559	362
Wskaźnik transportu [kWh/m³]	0,347	0,362	0,364	0,356	0,347	0,281	0,274	0,259	0,270	0,320	0,316	0,314	0,333
2021													
Całość	218075	200227	184632	141070	100300	47952	50775	54589	74513	140367	181558	234835	1628892
Pompowanie	133550	117760	117670	102680	74040	33200	38050	42450	55580	97850	118610	140930	1072370
Przepływ [m³/h]	585	553	496	452	326	224	238	247	296	435	510	562	407
Wskaźnik transportu [kWh/m³]	0,307	0,317	0,319	0,316	0,305	0,206	0,215	0,231	0,261	0,302	0,323	0,337	0,301
2022													
Całość	229391	197400	191384	175349	116130	47016	43346	41271	75642	115513	161697	208431	1602770
Pompowanie	137290	120650	121810	111320	74250	41130	33040	29220	47750	73560	90180	115110	995310
Przepływ [m³/h]	555	543	493	455	310	239	182	162	254	356	455	514	372
Wskaźnik transportu [kWh/m³]	0,332	0,330	0,332	0,340	0,322	0,239	0,244	0,242	0,261	0,277	0,276	0,301	0,305
2023													
Całość	201425	179779	183096	135221	67131	32474	27446	29751	27383	80685	143434	180805	1288631
Pompowanie	125110	120650	115270	95850	54970	31000	26790	26450	26000	70000	80000	67408	839498
Przepływ [m³/h]	502	506	461	396	267	224	195	183	172	366	463	488	349
Wskaźnik transportu [kWh/m³]	0,335	0,355	0,336	0,336	0,277	0,192	0,184	0,194	0,210	0,257	0,240	0,186	0,275
2024													
Całość	189648	148829	144867	102409	40353	20940	16878	18443	19728	94156	140904	157795	1094949
Pompowanie	92154	70866	69902	56438	29503	18075	13540	14091	13149	48191	63023	70245	559177
Przepływ [m³/h]	510	464	432	384	260	196	177	195	186	373	463	470	339
Wskaźnik transportu [kWh/m³]	0,243	0,227	0,217	0,204	0,152	0,128	0,103	0,097	0,098	0,174	0,189	0,201	0,188
Procentowe zmniejszenie wskaźnika zużycia energii elektrycznej zużytej na pompowanie w roku 2024 w stosunku do lat ubiegłych [kWh/GJ]													
W stosunku do roku 2020							43,0%						
W stosunku do roku 2021							37,3%						
W stosunku do roku 2022							39,8%						
W stosunku do roku 2023							31,9%						
Dane z koncepcji z września 2022 r. Wskaźnik kosztu transporty wody sieciowej - porównanie													
					Okres			Grzewczy			Letni		
					Q (m³/h)			500			240		
Stan obecny					K (kWh/m³)			0,322			0,267		
Stan po modernizacji					K (kWh/m³)			0,212			0,108		

— zastosowanie odpowiednich urządzeń i algorytmów sterowania układami pompowymi, daje bardzo dobre wyniki w zakresie poprawy efektywności energetycznej procesu pompowania, nawet przewyższające założenia koncepcyjne i projektowe. Nie bez znaczenia jest również opracowany i wdrożony nowy standard eksploatacji obiektu, co wpływa bezpośrednio na bezpieczeństwo i dyspozycyjność eksploatacyjną źródła.

Autorzy niniejszego artykułu, będący jednocześnie odpowiedzialni za przygotowanie koncepcji, projektów wykonawczych oraz realizację opisaną w artykule modernizacji, składają gorące podziękowania Władzom ECO Malbork, w szczególności Panu Prezesowi Janowi Hałuszczakowi, za okazane zaufanie, współpracę podczas realizacji zadania oraz za podzielenie się danymi pozwalającymi ocenić finalny efekt energetyczny i ekonomiczny modernizacji. Przeprowadzona, udana modernizacja nie byłaby możliwa bez ścisłej współpracy technicznej ze służbami obiektu, szczególnie z szefem ciepłowni Panem Bolesławem Czerwińskim oraz Pawłem Wójcikiem i Robertem Otta.