

WYBRANE MODERNIZACJE POMP GŁÓWNEGO OBIEGU PARA-WODA ELEKTROWNI

ANDRZEJ BŁASZCZYK
GRZEGORZ KOŻBA
MARIUSZ NAWROCKI
ADAM PAPIERSKI
ARTUR STANISZEWSKI
MARIUSZ SUSIK
DARIUSZ WOŹNIAK



Modernizacje dotyczą:

- poprawy warunków eksploatacyjnych i zwiększenia niezawodności pomp
- dostosowania parametrów przepływowych tj. wydajności bądź wysokości podnoszenia dla potrzeb procesów technologicznych
- podwyższenia sprawności i parametrów H,Q pomp
- podwyższenia trwałości i niezawodności pomp poprzez zmiany wykonania materiałowego łączonego często ze zmianami konstrukcyjnymi i technologią

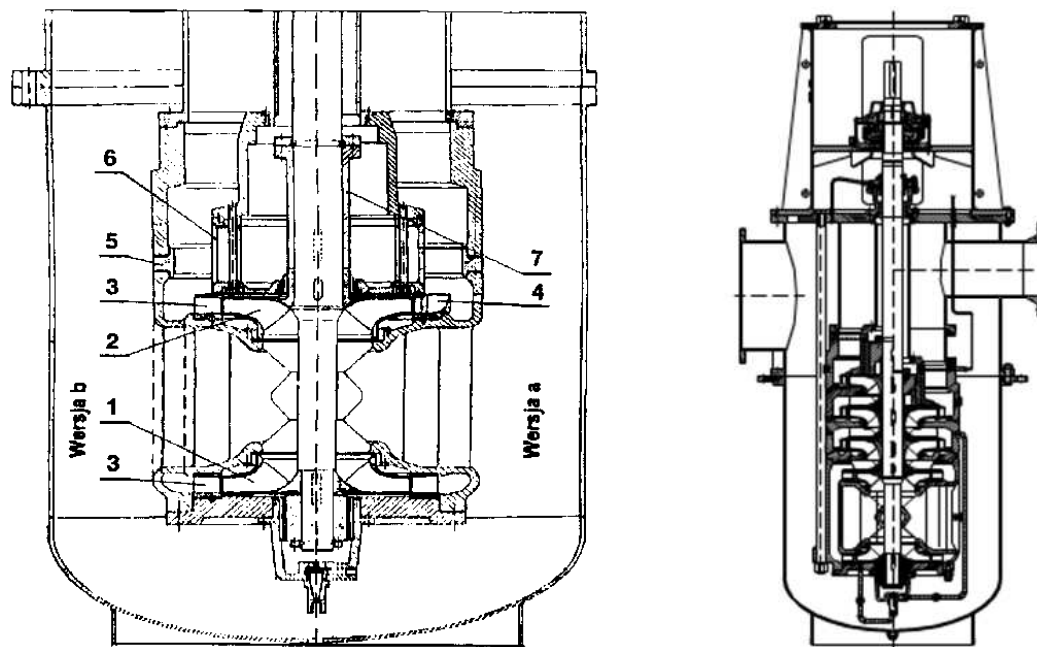
The left drawing is a cross-sectional view of the impeller assembly. It shows a central shaft with a diameter of 300 mm, passing through a hub with a diameter of 134 mm. The hub is mounted on a flange with a diameter of 400 mm. The impeller body is shown with a diameter of 430 mm and a thickness of 18 mm. The mounting flange has a thickness of 18 mm and a diameter of 430 mm. The impeller body has a diameter of 430 mm and a thickness of 18 mm. The mounting flange has a thickness of 18 mm and a diameter of 430 mm. The impeller body has a diameter of 430 mm and a thickness of 18 mm. The mounting flange has a thickness of 18 mm and a diameter of 430 mm.

The right drawing is a plan view of the impeller. It shows a circular outer profile with a diameter of 430 mm. The impeller has seven vanes, labeled "7 vanes". The vanes are curved and have a thickness of 18 mm. The central hub has a diameter of 134 mm. The mounting flange has a diameter of 400 mm. The impeller body has a diameter of 430 mm and a thickness of 18 mm. The mounting flange has a thickness of 18 mm and a diameter of 430 mm. The impeller body has a diameter of 430 mm and a thickness of 18 mm. The mounting flange has a thickness of 18 mm and a diameter of 430 mm.

Zmodyfikowany wirnik pompy typu B

DOSTOSOWANIE PARAMETRÓW PRZEPŁYWOWYCH POMPY DO POTRZEB PROCESÓW TECHNOLOGICZNYCH

Pompa kondensatu

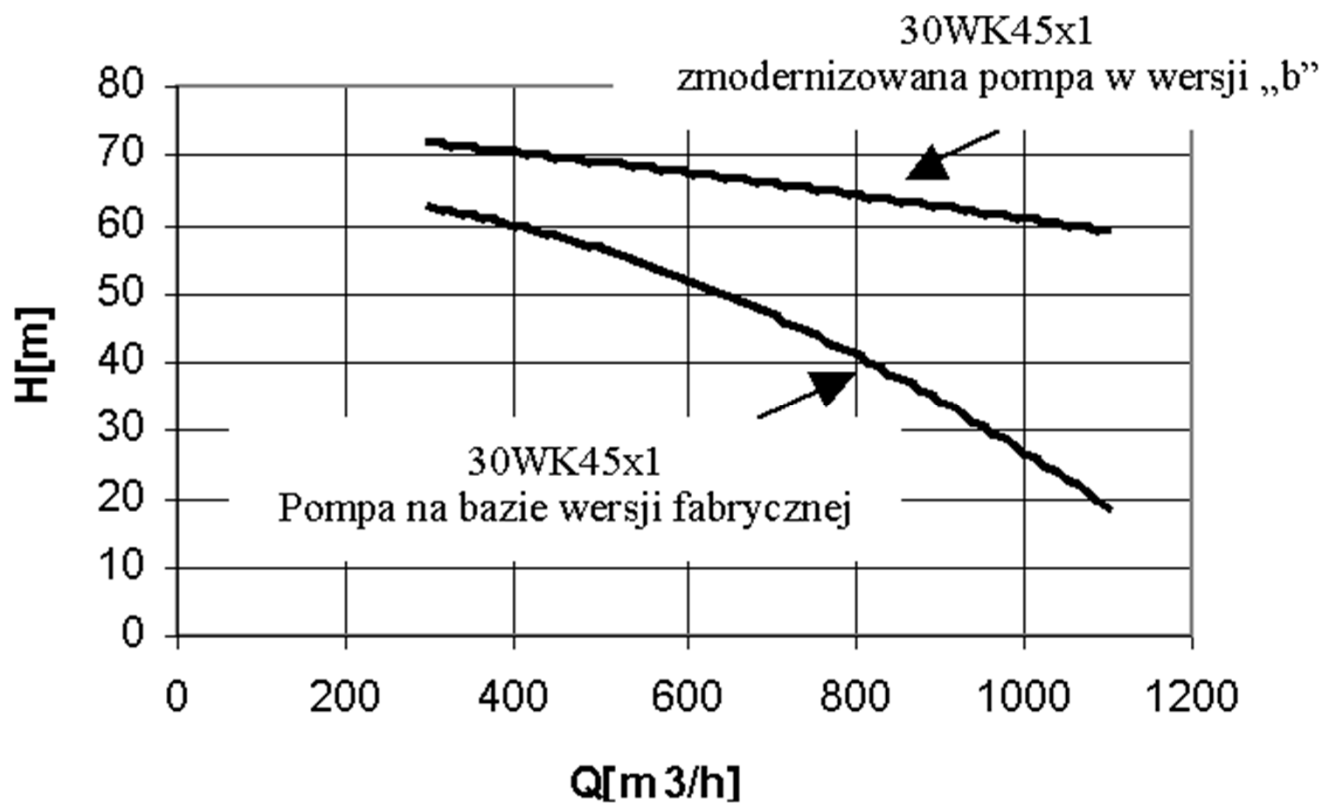


Wyszczególnienie zmodernizowanych elementów przepływowo-konstrukcyjnych obu wersji pompy 30WK45x1

1-wirnik dolny, 2-wirnik górny, 3-promieniowa kierownica odśrodkowa z wypływem promieniowym, 4-promieniowa kierownica odśrodkowa z wypływem osiowym, 5-wkładka ustalająca, 6-wkład wewnętrzny kształtujący kanał odprowadzający i komorę zawirnikową, 7-tuleja ochronna wału.

DOSTOSOWANIE PARAMETRÓW PRZEPŁYWOWYCH POMPY DO POTRZEB PROCESÓW TECHNOLOGICZNYCH

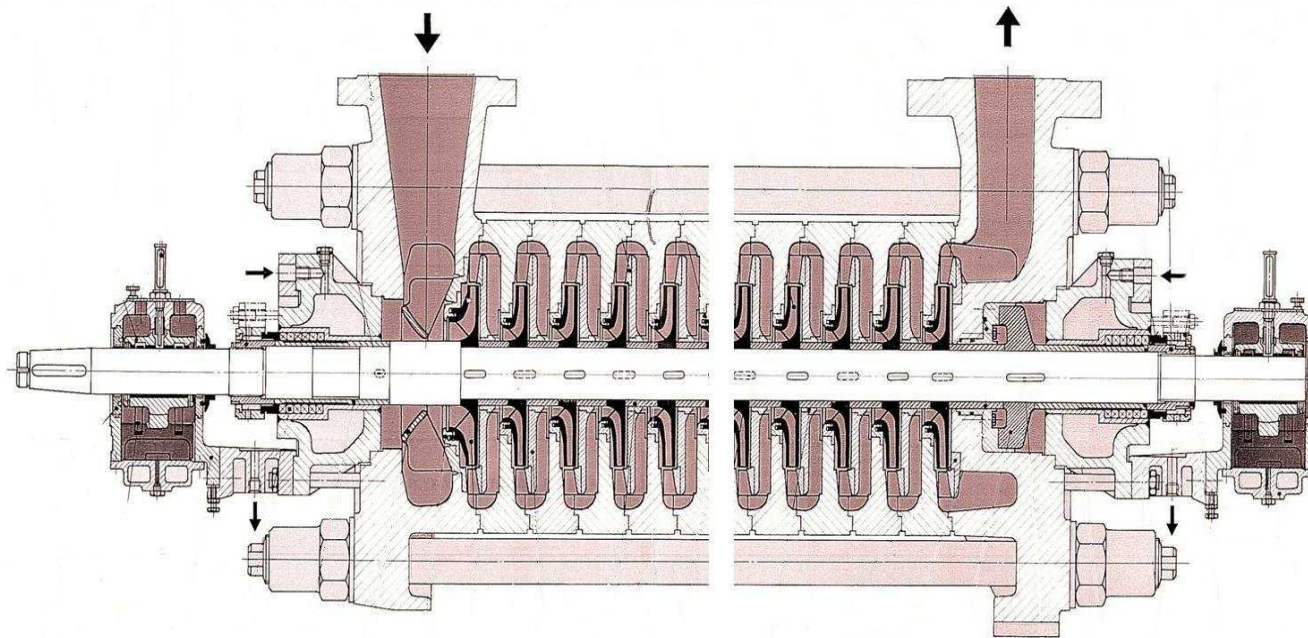
Pompa kondensatu



Charakterystyki przepływowe pomp 30WK45x1 w wersji zmodernizowanej oraz wersji bazującej na rozwiązaniu fabrycznym

DOSTOSOWANIE PARAMETRÓW PRZEPŁYWOWYCH POMPY DO POTRZEB PROCESÓW TECHNOLOGICZNYCH

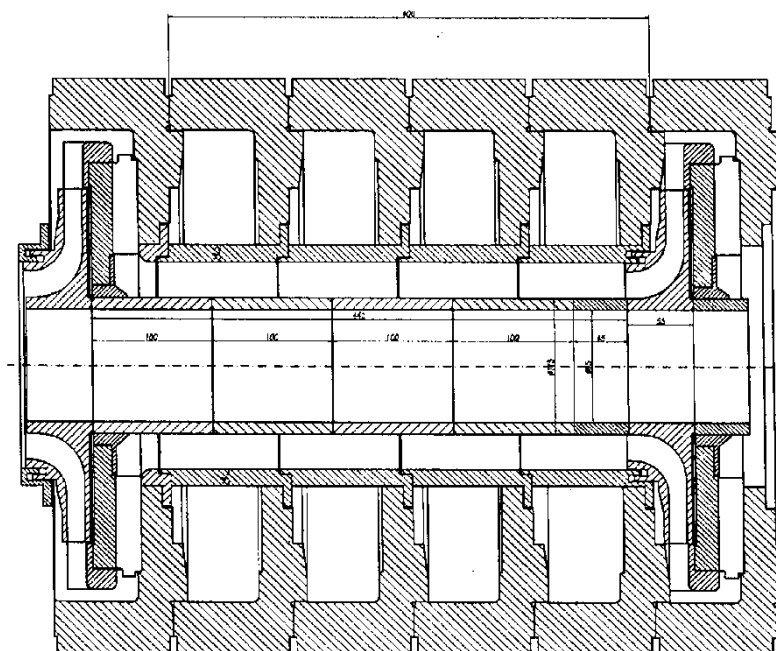
Pompa zasilająca



Konstrukcja pompy CHP125/14

Pompa zasilająca

Pompa zasilająca



Fragment konstrukcji pompy w obszarze wyjęcia czterech wirników

DOSTOSOWANIE PARAMETRÓW PRZEPŁYWOWYCH POMPY DO POTRZEB PROCESÓW TECHNOLOGICZNYCH

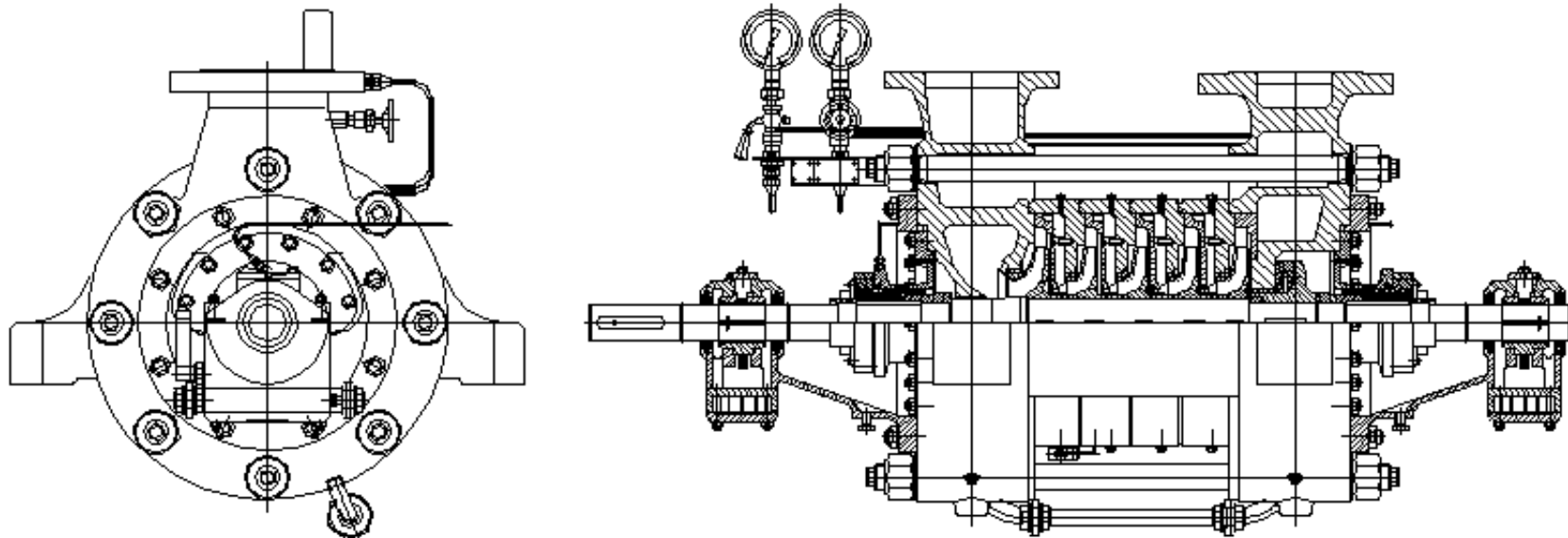
Pompa zasilająca

Zestawione efektów energetycznych i ekonomicznych proponowanych wariantów w stosunku do obecnego rozwiązania dla wydajności pompy $Q=100\text{m}^3/\text{h}$

Zysk				
Wariant	$P_{el}[\text{kW}]$	$E[\text{kWh}/\text{dobę}]$	$\Delta P_{el}[\text{kW}]$	$\Delta E[\text{kWh}/\text{dobę}]$
Wariant obecny	937	22488	-	-
Remont pompy i zmniejszenie do 10stopni	605	14520	332	7968
Modernizacja	425 ÷ 442	10200 ÷ 10608	512 ÷ 495	12288 ÷ 11880

DOSTOSOWANIE PARAMETRÓW PRZEPŁYWOWYCH POMPY DO POTRZEB PROCESÓW TECHNOLOGICZNYCH

Pompa pierwotnego obiegu ciepłowniczego po stronie parowej

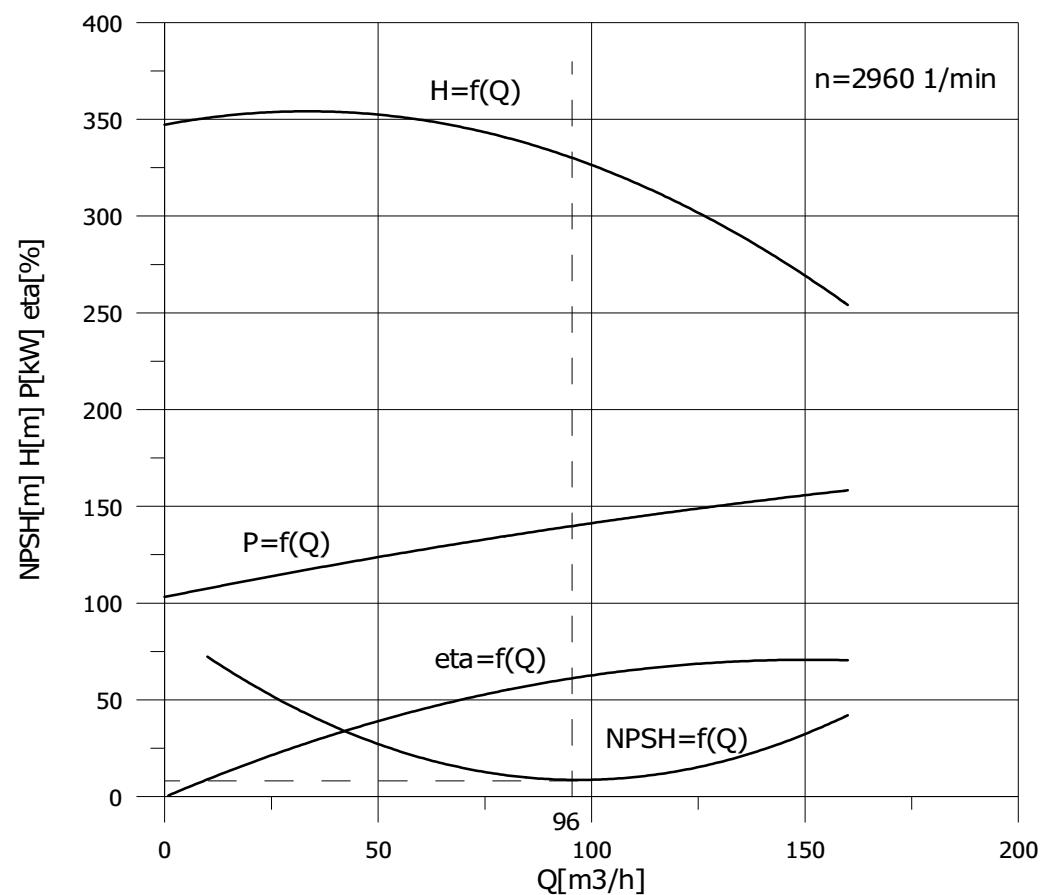


Pompa 125YSbx5 (125YSbx4 po modernizacji HP)

DOSTOSOWANIE PARAMETRÓW PRZEPŁYWOWYCH POMPY DO POTRZEB PROCESÓW TECHNOLOGICZNYCH

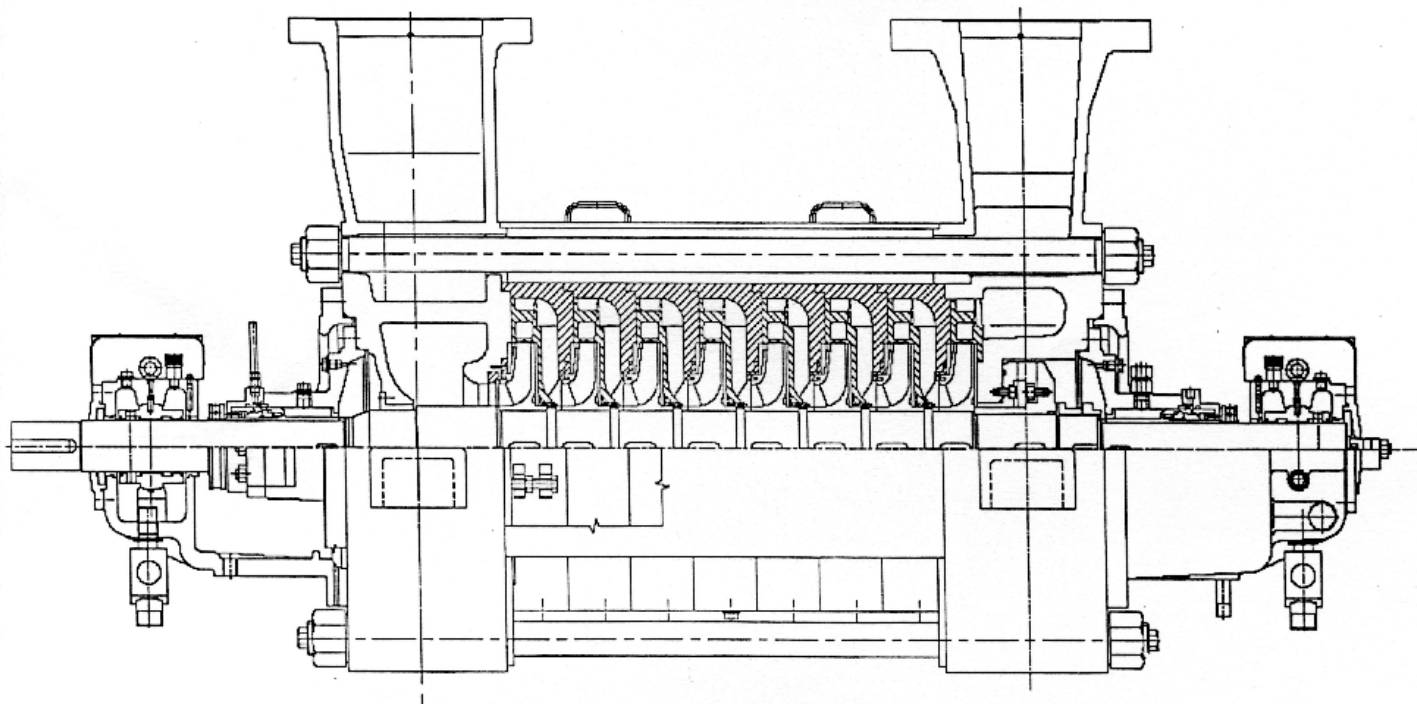
Pompa pierwotnego obiegu ciepłowniczego po stronie parowej

Charakterystyki przeplywowo-energetyczne pompy 125YSbx5 (HPE)



PODWYŻSZENIE SPRAWNOŚCI I PARAMETRÓW H, Q POMP

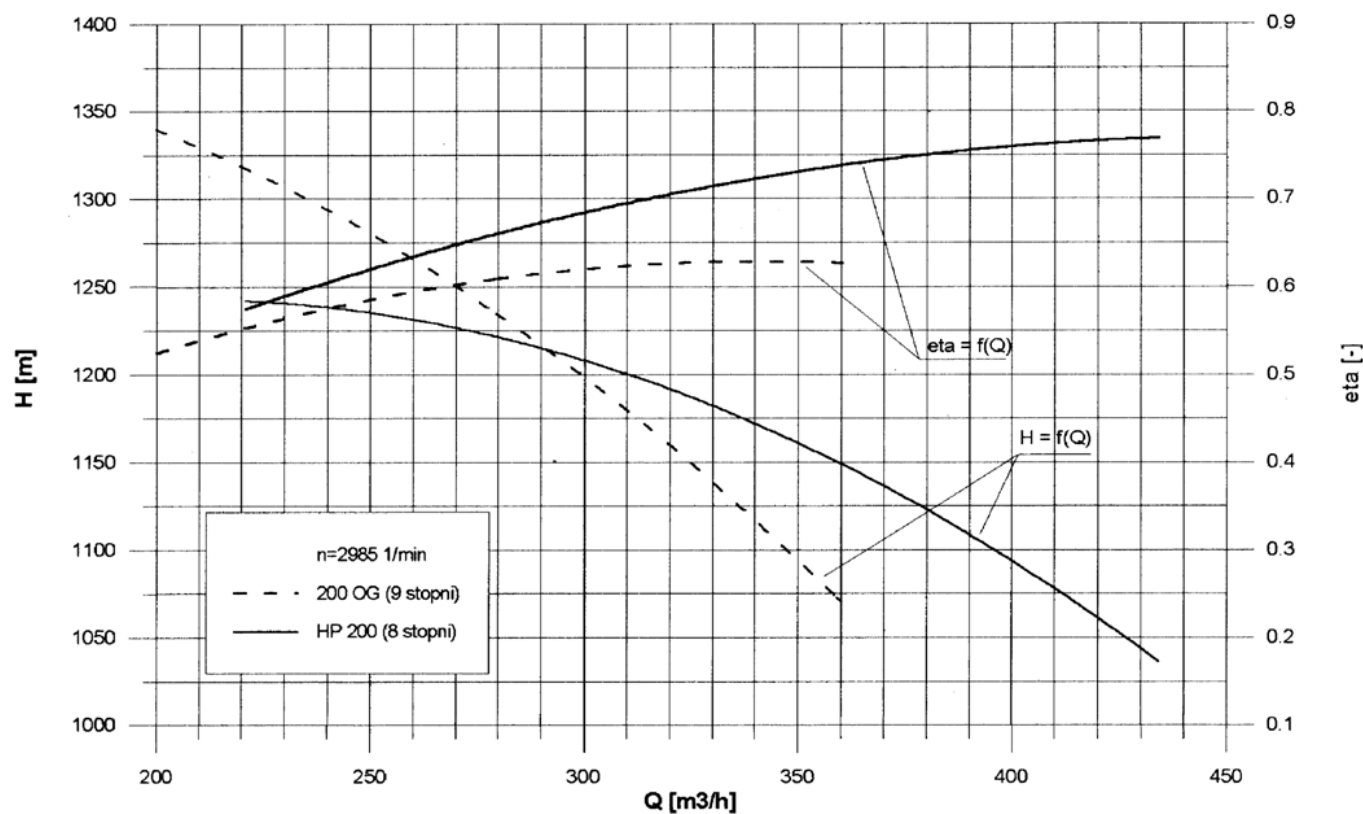
Modernizacja pompy 200OG



Pompa HP200

PODWYŻSZENIE SPRAWNOŚCI I PARAMETRÓW H, Q POMP

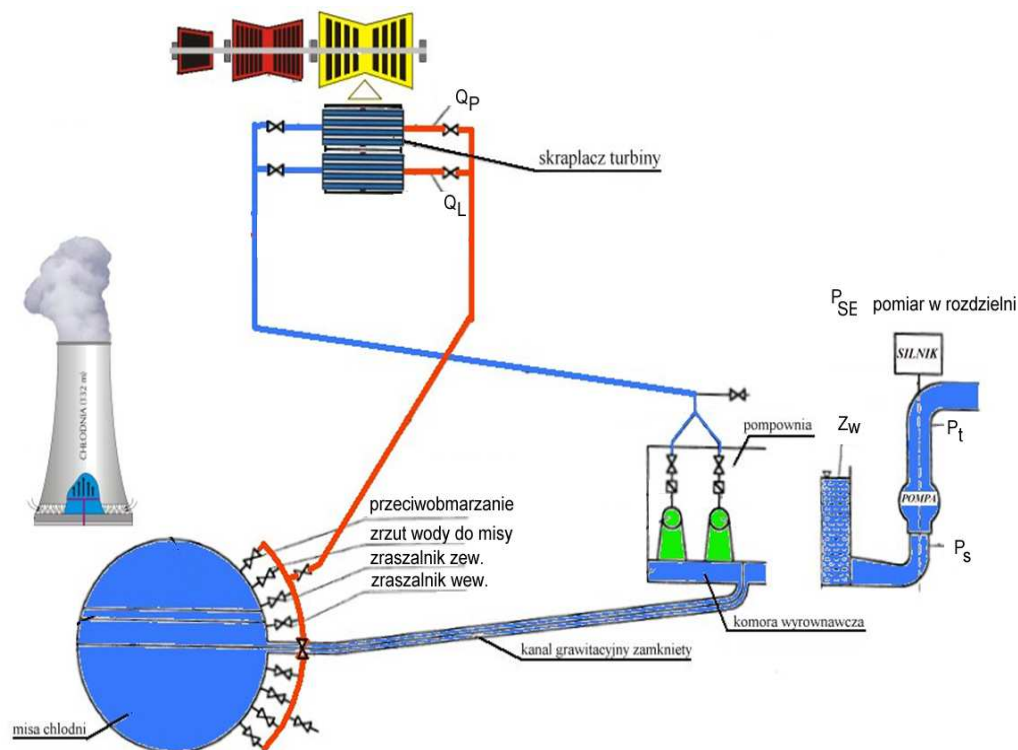
Modernizacja pompy 200OG



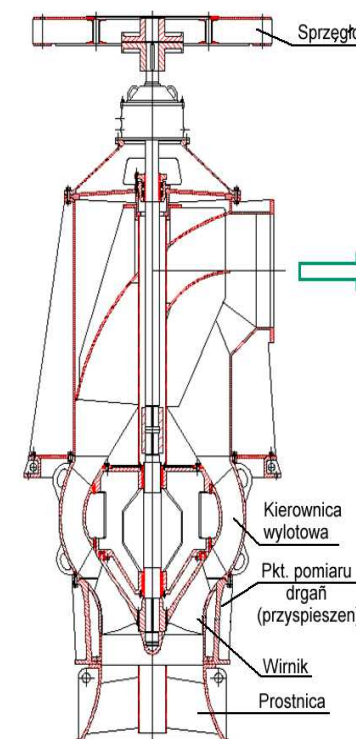
Charakterystyka pompy HP200 i 200OG

PODWYŻSZENIE SPRAWNOŚCI I PARAMETRÓW H, Q POMP

Pompy wody chłodzącej



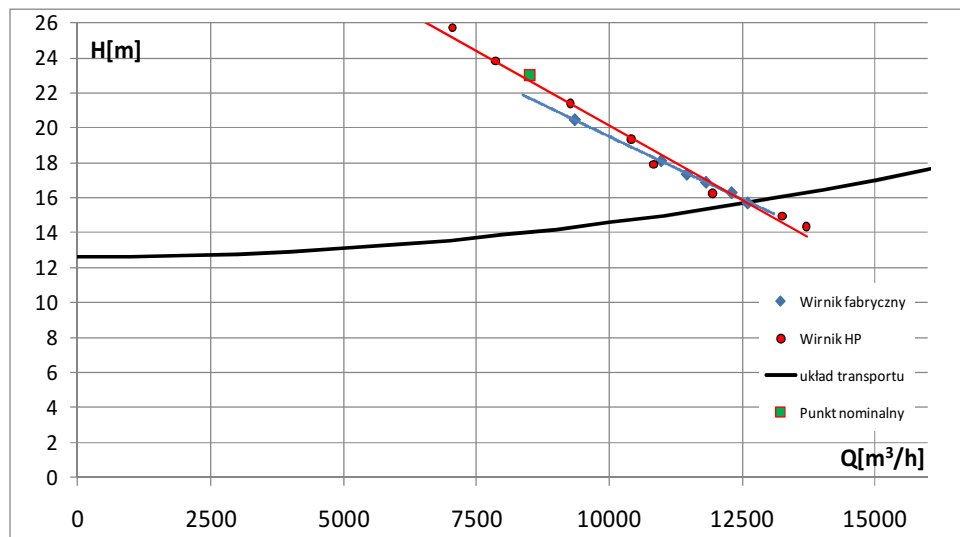
Schemat układu wody chłodzącej



Schemat układu przepływowego pompy

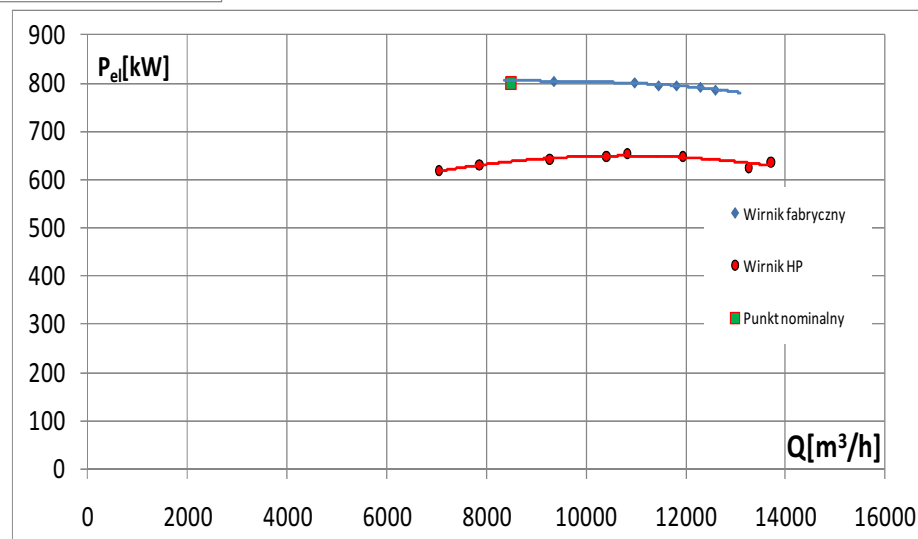
PODWYŻSZENIE SPRAWNOŚCI I PARAMETRÓW H, Q POMP

Modernizacja pompy 100D30



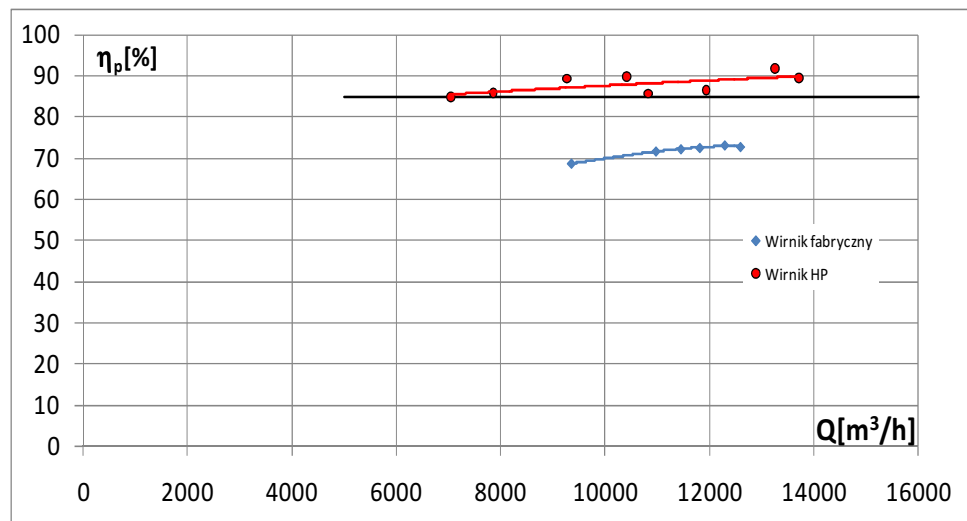
Charakterystyki hydrauliczne pompy wody chłodzącej przed i po modernizacji z wirnikiem HP

Pobór mocy zespołu pompy wody chłodzącej przed i po modernizacji z wirnikiem HP



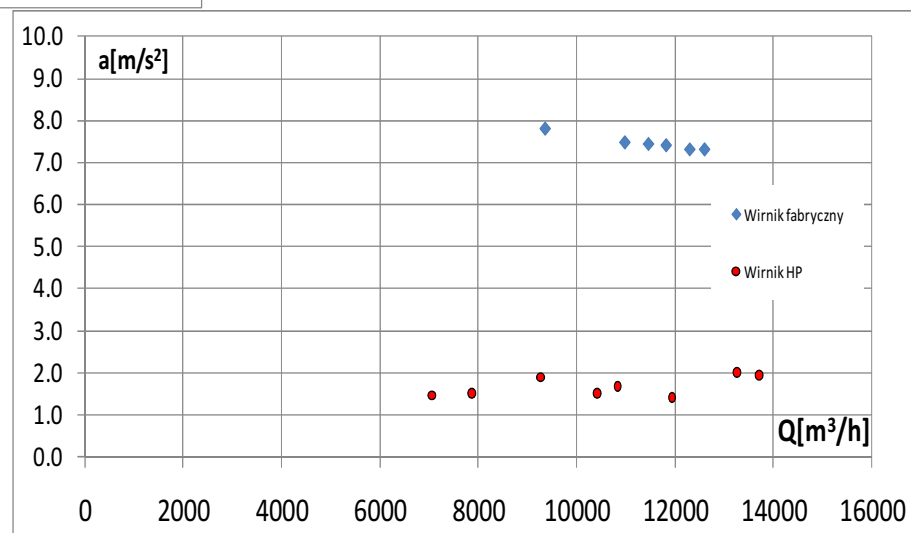
PODWYŻSZENIE SPRAWNOŚCI I PARAMETRÓW H, Q POMP

Modernizacja pompy 100D30



Sprawność pompy wody chłodzącej przed i po modernizacji z wirnikiem HP (przyjęto sprawność silnika elektrycznego równą 94%)

Wartości skuteczne przyspieszeń drgań mierzone na korpusie pompy przed i po modernizacji wirnika



PODWYŻSZENIE SPRAWNOŚCI I PARAMETRÓW H, Q POMP

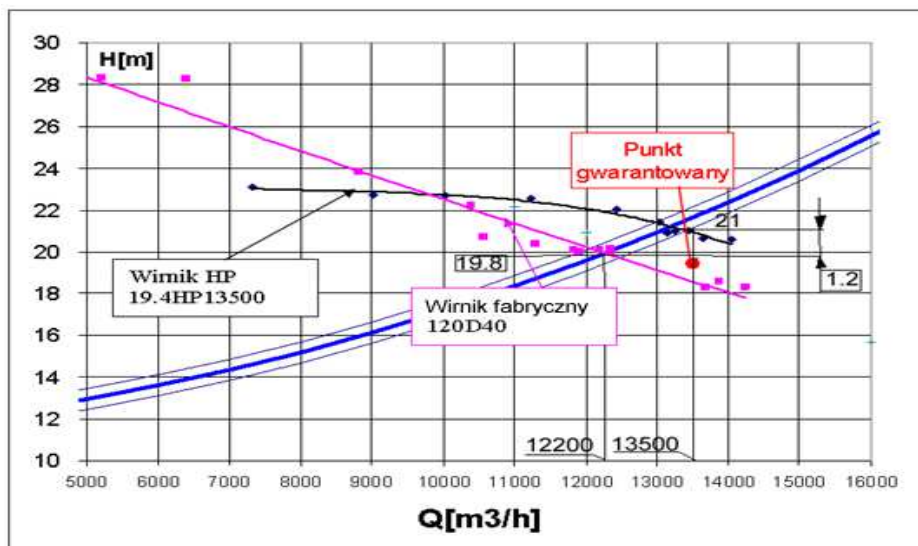
Modernizacja pompy 100D30

Wnioski

- Wysokość podnoszenia badanej pompy wody chłodzącej dla wydajności $Q=8500 \text{ m}^3/\text{h}$ spełnia wymaganą wartość $H=23 \text{ m}$
- Zmniejszono pobór mocy o około 130 kW oraz pobór prądu o około 13 A w całym zakresie pracy pompy
- Drgania (przyspieszenie) mierzone na korpusie pompy spadły do wartości poniżej 2 m/s^2 (poprzednio były większe od 7 m/s^2) co może świadczyć o całkowitym wyeliminowaniu kawitacji
- Sprawność pompy (przy założonej sprawności silnika elektrycznego – 94%) w całym mierzonym zakresie pracy jest powyżej 85%. W punkcie nominalnym osiąga wartość 87%. Maksymalna sprawność wynosi 91.7% dla wydajności $13000 \text{ m}^3/\text{h}$
- Uzyskano wzrost sprawności pompy o około 14% w całym zakresie zmian wydajności pompy
- Maksymalne sprawności uzyskiwane przez czołowych producentów pomp dla tego typu pomp (kinematyczny wyróżnik szybkobieżności $n_q=71.7$) wynoszą w/g [J.F. Gulich, Centrifugal Pumps, Springer Verlag 2007] 94%. Zważywszy, iż pozostawiono niezmienną konstrukcję osiowej kierownicy wylotowej uzyskany wynik należy traktować jako bardzo dobry

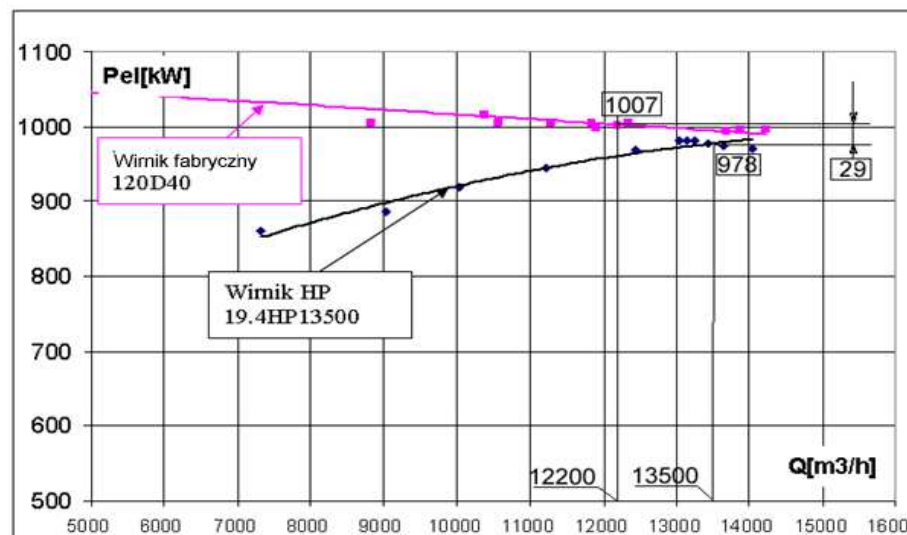
PODWYŻSZENIE SPRAWNOŚCI I PARAMETRÓW H, Q POMP

Modernizacja pompy 120D40



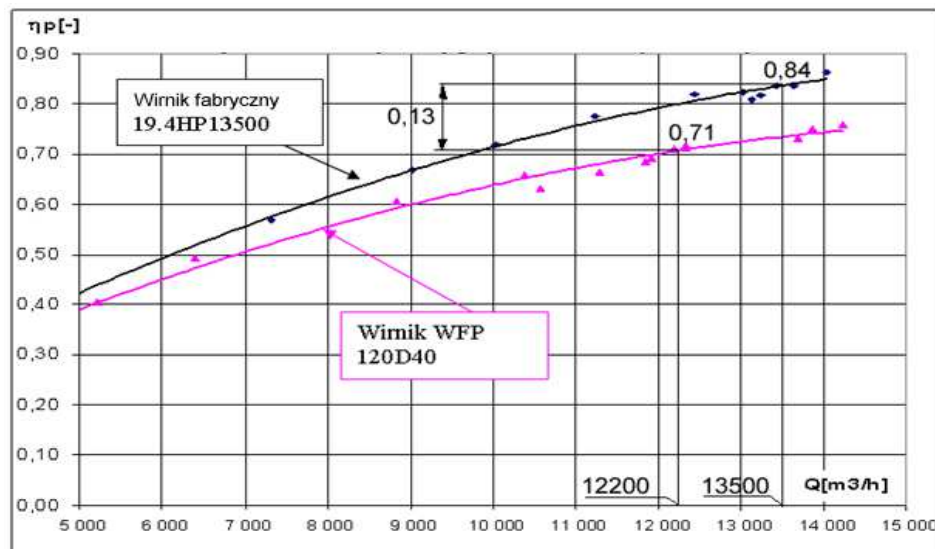
Charakterystyka hydrauliczna pompy wody chłodzącej z wirnikiem fabrycznym oraz zmodernizowanym

Pobór mocy zespołu pompy wody chłodzącej z wirnikiem fabrycznym oraz zmodernizowanym



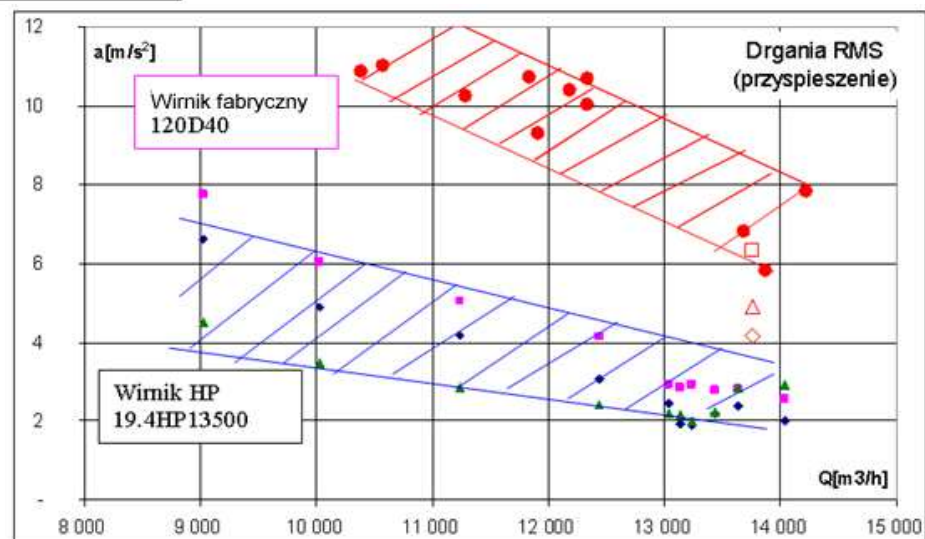
PODWYŻSZENIE SPRAWNOŚCI I PARAMETRÓW H, Q POMP

Modernizacja pompy 120D40



Sprawność pompy wody chłodzącej z wirnikiem fabrycznym oraz zmodernizowanym (przyjęto sprawność silnika elektrycznego równą 94%)

Wartości skuteczne przyspieszeń drgań mierzone w punktach na korpusie pompy przed i po modernizacji wirnika



PODWYŻSZENIE SPRAWNOŚCI I PARAMETRÓW H, Q POMP

Modernizacja pompy 120D40

Wnioski

- Porównując rzeczywiste parametry pracy pompy z wirnikiem fabrycznym w istniejącym układzie transportu w odniesieniu do parametrów podanych w katalogu pomp Producenta badana pompa wykazuje następujące różnice parametrów:

$$\Delta H = -1.6m$$

$$\Delta Q = -1200m^3 / h$$

- $\Delta \eta = -3\%$

Natomiast dla pompy z wirnikiem 19.4HP13500 tak samo zdefiniowane różnice wynoszą odpowiednio:

- $\Delta H = +1.2m$

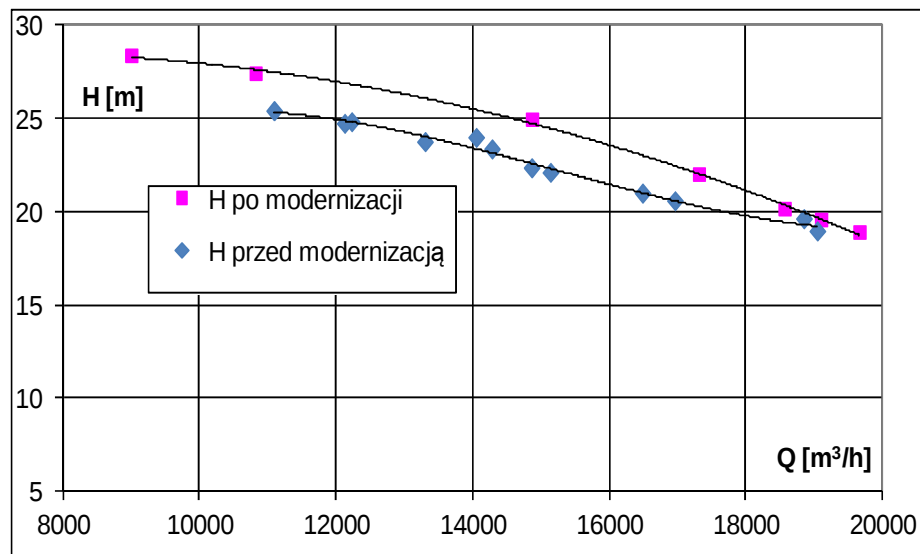
$$\Delta Q = +1200m^3 / h$$

$$\Delta \eta = +13\%$$

- Na podstawie przeprowadzonych analiz numerycznych i otrzymanych wyników obliczeń można stwierdzić, że opracowana konstrukcja wirnika oznaczona symbolem 19.4HP13500 zapewni bezpieczną i bezawaryjną pracę pomp wody chłodzącej.
- Pełny efekt ekonomiczny modernizacji można byłoby ocenić mając charakterystyki skraplacza oraz wartości optymalnych próżni dla różnych obciążeń bloku.
- Pompa w wirnikiem zmodernizowanym uzyskuje poziomy przyspieszeń drgań na poziomie dopuszczalnym. Wirnik tej pompy po trzech latach pracy nie ma śladu zużycia kawitacyjnego

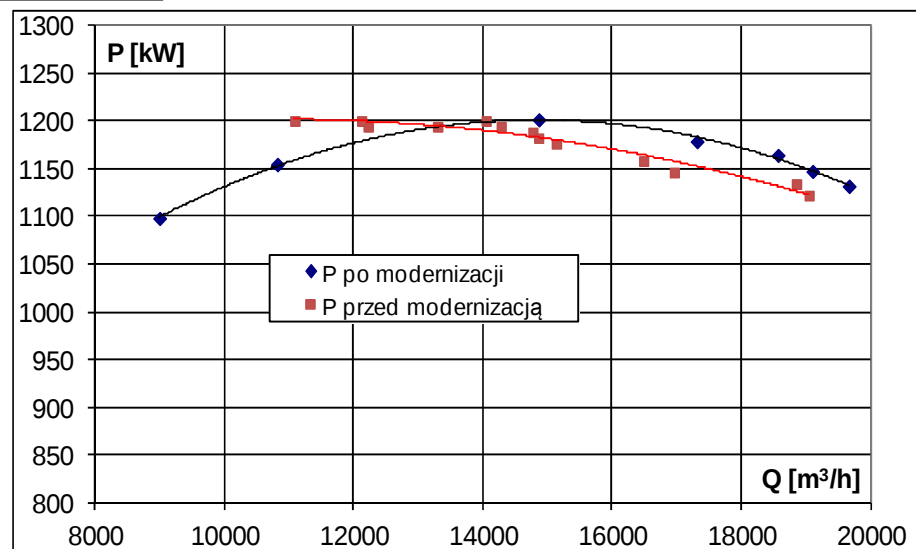
PODWYŻSZENIE SPRAWNOŚCI I PARAMETRÓW H, Q POMP

Modernizacja pompy 140D40



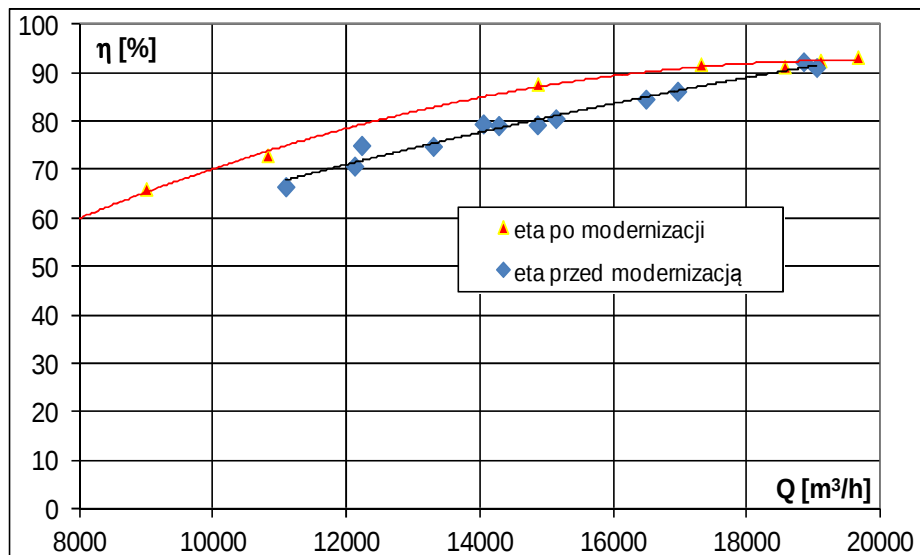
Charakterystyki hydrauliczne
pompy wody chłodzącej
(wysokość podnoszenia)

Pobór mocy zespołu pompy wody
chłodzącej (moc elektryczna)



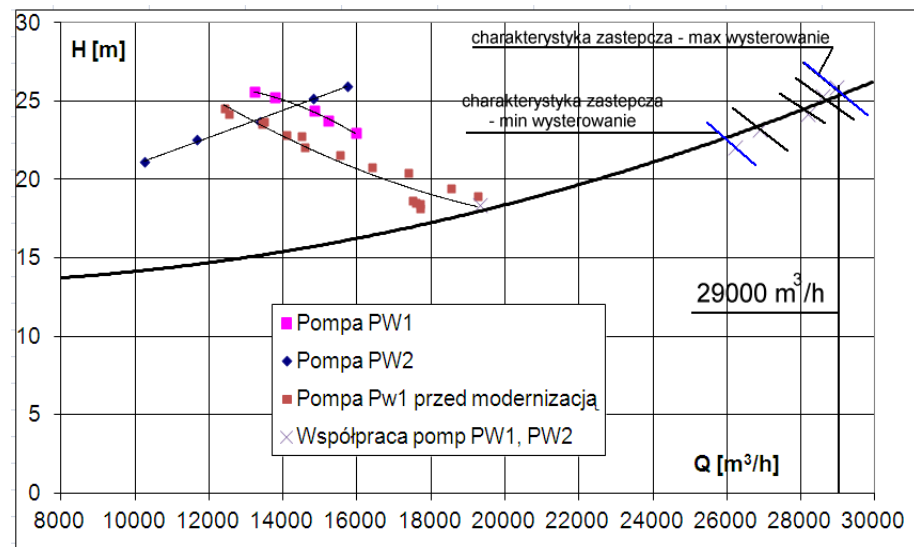
PODWYŻSZENIE SPRAWNOŚCI I PARAMETRÓW H, Q POMP

Modernizacja pompy 140D40



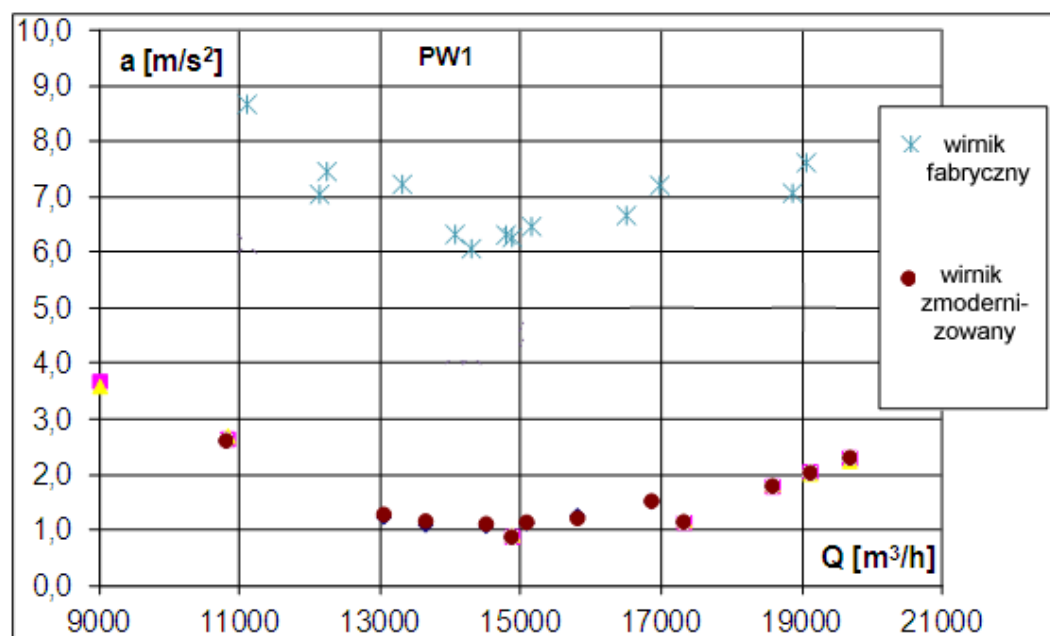
Sprawność pompy wody chłodzącej
(Przyjęto sprawność silnika 0,96%)

Współpraca równoległa pompy typu
Deriaz (PW2) i pompy ze
zmodernizowanym wirnikiem (PW1)



PODWYŻSZENIE SPRAWNOŚCI I PARAMETRÓW H, Q POMP

Modernizacja pompy 140D40



Wartości skuteczne przyspieszeń drgań mierzone na korpusie pompy przed i po modernizacji

PODWYŻSZENIE SPRAWNOŚCI I PARAMETRÓW H, Q POMP

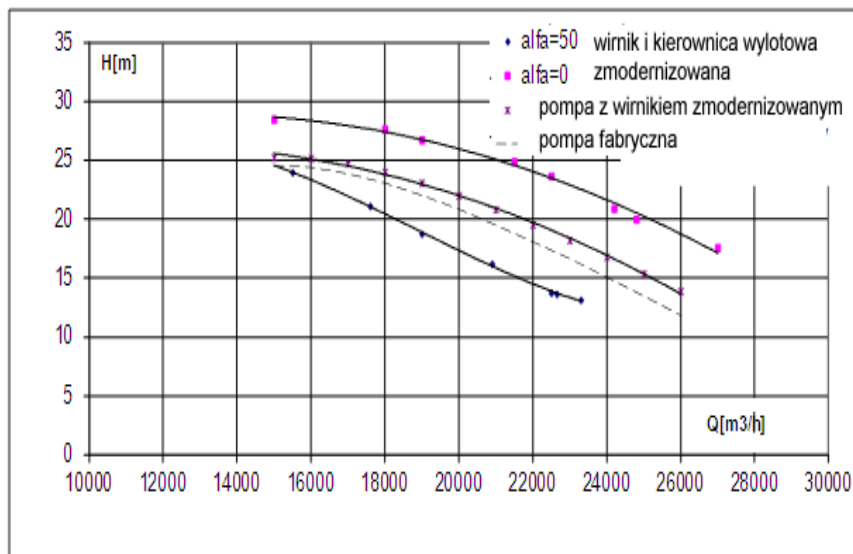
Modernizacja pompy 140D40

Wnioski

- Wysokość podnoszenia badanej pompy wody chłodzącej z wirnikiem wykonanym przez PBW HYDRO-POMP w całym zakresie wydajności jest wyższa od o około 2 do 3 m w stosunku do pompy z wirnikiem przed modernizacją.
- Obliczana na podstawie pomiarów maksymalna sprawność pompy wynosi $\eta_p=91,4\%$. Po modernizacji wirnika charakterystyka sprawności jest płaska w zakresie wydajności od 15500 do 19000 m³/h i wynosi od 87 do 91,4 %.
- W przedziale pomiędzy 12000÷19000 m³/h sprawność pompy jest powyżej 81%.
- W przedziale pomiędzy 12000÷19000 m³/h poziom drgań jest mniejszy od 2 m/s² i jest czterokrotnie niższy niż z wirnikiem przed modernizacją. Świadczy to o wyeliminowaniu kawitacji.
- Pobór mocy pompy jest obecnie nieco wyższy niż przed modernizacją maksymalnie o około 40 kW . Związane jest to ze znacznie wyższymi parametrami pompy. Wysokość podnoszenia jest obecnie wyższa o około 2,5 do 3m. Przekłada się to na wyższą wydajność (o 1000 m³/h) przy współpracy obu pomp. Obecnie uzyskuje się wydajność 29000 m³/h, a przed modernizacją 28000 m³/h. Większa wydajność wody chłodzącej powinna skutkować wzrostem sprawności turbiny (niższy poziom próżni w skraplaczu). Jednak ze względu na brak odpowiednich badań nie można oszacować wielkości wzrostu sprawności bloku.
- Obniżenie poziomu przyspieszeń drgań świadczące o wyeliminowaniu kawitacji pozwoliło na wyłączenie powietrza doprowadzonego na wlot pompy w celu ograniczenia wpływu zjawiska kawitacji na żywotność wirnika pompy.

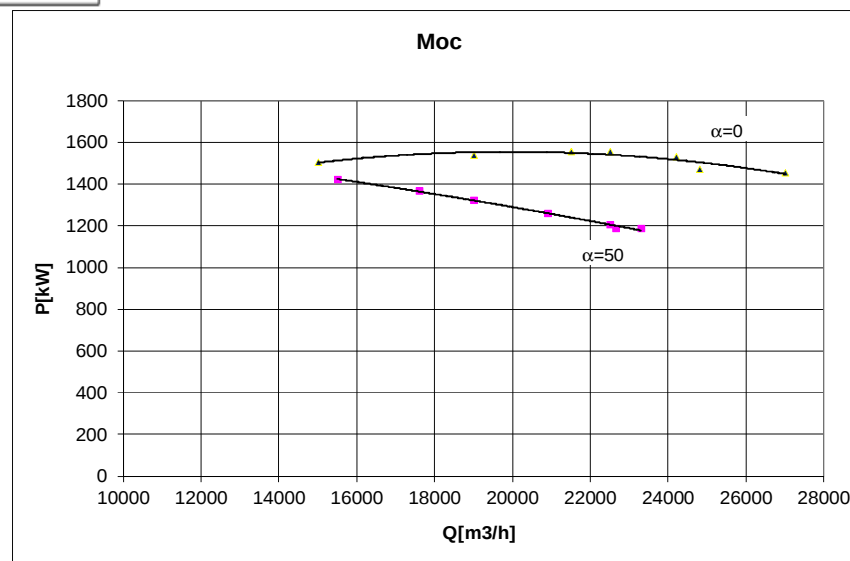
PODWYŻSZENIE SPRAWNOŚCI I PARAMETRÓW H, Q POMP

Modernizacja pompy 160D30



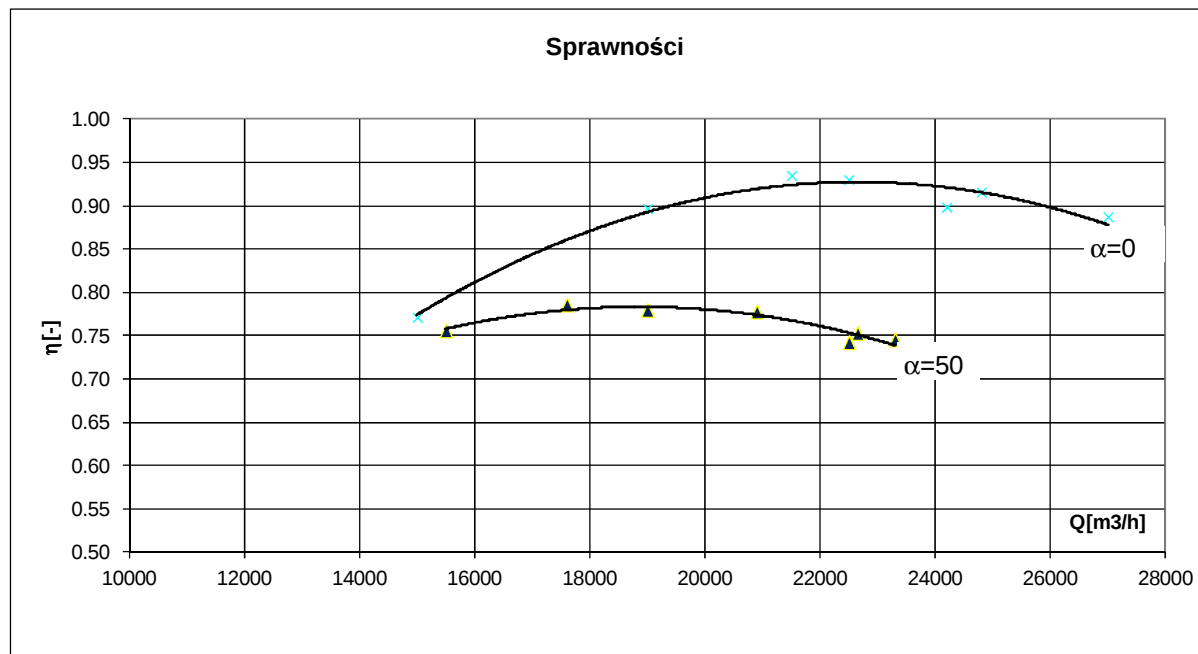
Charakterystyki przepływowe pompy wody chłodzącej przed i po modernizacji

Pobór mocy pompy wody chłodzącej po modernizacji dla dwóch ustawień kierownicy wstępnej
Pompa z układem przepływowym fabrycznym uzyskuje sprawność 83%, a po modernizacji układu 93%



PODWYŻSZENIE SPRAWNOŚCI I PARAMETRÓW H, Q POMP

Modernizacja pompy 160D30



Sprawność pompy wody chłodzącej po modernizacji dla dwóch ustawień kierownicy wstępnej

PODWYŻSZENIE SPRAWNOŚCI I PARAMETRÓW H, Q POMP

Modernizacja pompy 160D30

Wnioski

- Charakterystyki przepływowo-energetyczne pompy po modernizacji leżą powyżej charakterystyk przed modernizacją.
- Sprawność pompy podniesiono z 83% do 93%.
- Wyeliminowaną kawitację.
- Zakres regulacji pomp umożliwia pracę turbiny z optymalną próżnią w skraplaczu przez cały rok.
- Efekty ekonomiczne regulacji za pomocą kierownic wstępnych zestawiono poniżej w tabeli T-1 dla różnych rodzajów pracy chłodni.

PODWYŻSZENIE SPRAWNOŚCI I PARAMETRÓW H, Q POMP

Modernizacja pompy 160D30

Wnioski

Efekty
ekonomiczne
regulacji

Rodzaj pracy chłodni		Wydajność minimalna	Wydajność maksymalna	Zysk mocy wynikający z regulacji kierownicą wstępną
		m ³ /h	m ³ /h	kW
Praca 2 pomp 6VC11, 6VC12 w ruchu bloku 6	Zraszalnik zewnętrzny i wewnętrzny (Lato)	34500	43000	2*260=520
	Zraszalnik Zewnętrzny (Lato)	34000	41000	2*250=500
	Zraszalnik zewnętrzny i przeciwobmarzanie (Zima)	32000	37000	2*210=420
Praca 2 pomp 6VC11, 5VC11 w ruchu bloku 6	Zraszalnik zewnętrzny i wewnętrzny (Lato)	37500	42000	1*345=345
	Zraszalnik zewnętrzny i przeciwobmarzanie (Zima)	33500	36000	1*185=185
Praca 3 pomp 6VC11, 6VC12 oraz 5VC12 w ruchu bloku 6 i 5	Zraszalniki zewnętrzne i wewnętrzne (Lato)	62000	72000	2*340=680
	Zraszalniki zewnętrzne i przeciwobmarzanie (Zima)	55000	62000	2*240=480
Praca czterech pomp 6VC11, 6VC12, 5VC11 oraz 5VC12 w ruchu bloku 6 i 5	Zraszalniki zewnętrzne i wewnętrzne (Lato)	80000	90000	2*330=660
	Zraszalniki zewnętrzne i przeciwobmarzanie (Zima)	70000	76000	2*225=450

POPRAWA DYNAMIKI POMPY DIAGONALNEJ

Modernizacja pompy 180D40

Pompa wody chłodzącej 180D40 jest pompą diagonalną o parametrach podawanych przez producenta:

- wysokość podnoszenia
- wydajność
- prędkość obrotowa
- sprawność nominalna pompy
- moc napędowego silnika elektrycznego

$H=23\text{m},$
 $Q=30000\text{m}^3/\text{h},$
 $n=370\text{obr}/\text{min},$
 $\eta_N=85\%,$
 $P_{el}=3150\text{kW}$



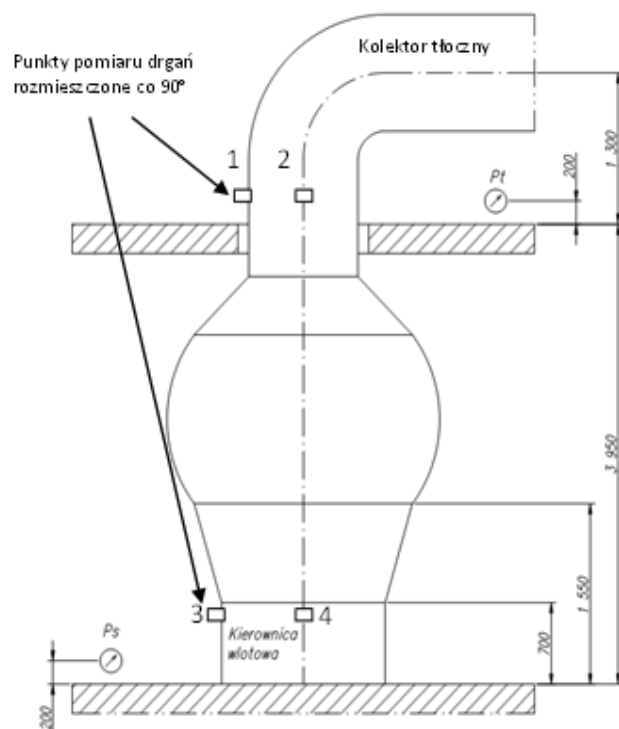
Model geometryczny
wirnika pompy 180D40



Wykonany zmodernizowany
wirnik pompy 180D40

POPRAWA DYNAMIKI POMPY DIAGONALNEJ

Modernizacja pompy 180D40



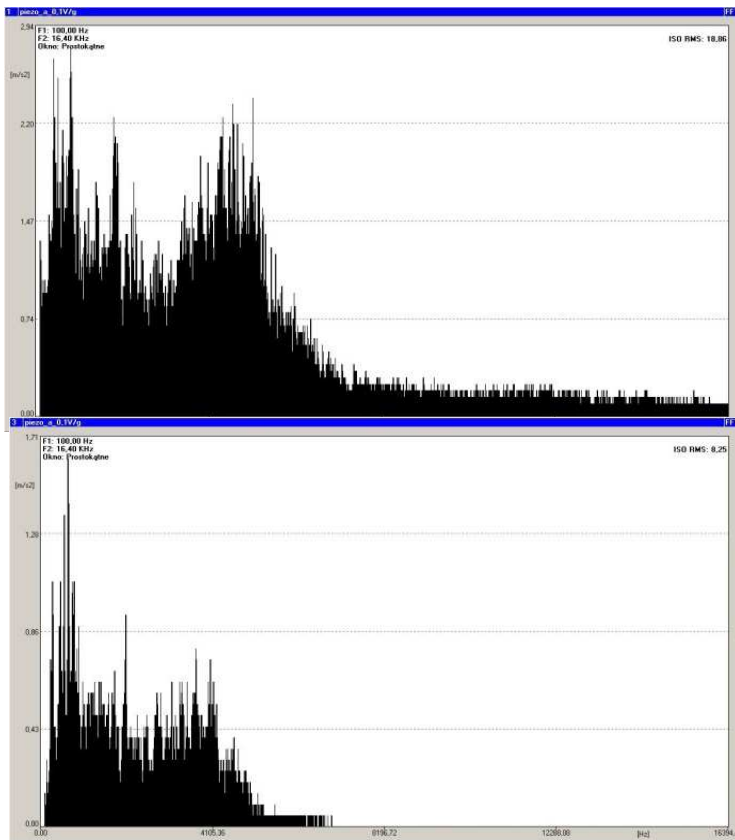
Rozmieszczenie punktów pomiarowych

Punkt pomiarowy	Przed modernizacją	Po modernizacji	
	RMS a1	RMS a2	a1/a2
	mm/s2	mm/s2	-
1	18,86	8,25	2,3
2	17,59	8,15	2,2
3	5,30	2,35	2,3
4	4,88	2,34	2,1

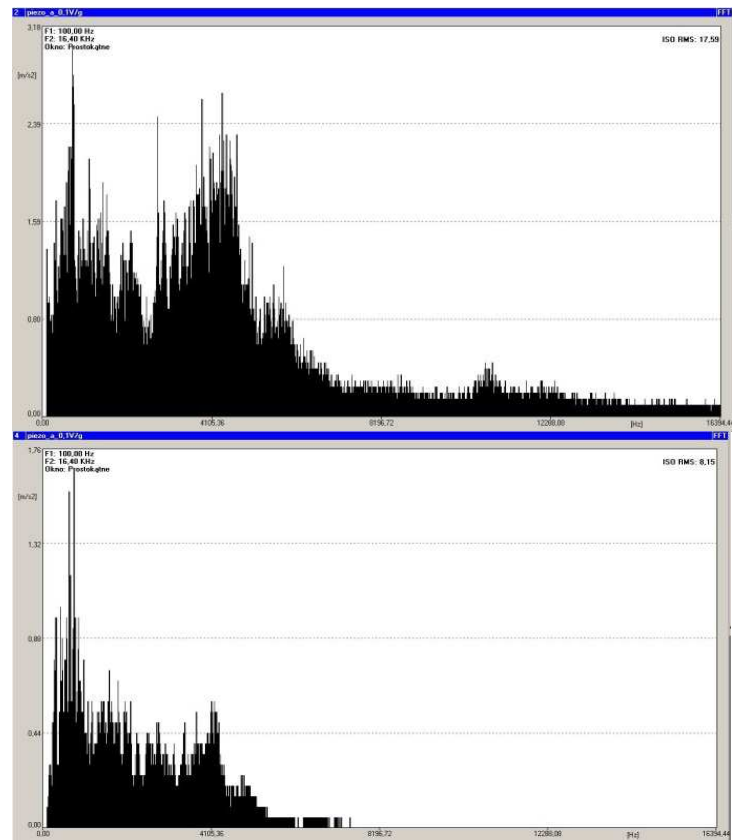
Pomiary wartości skutecznej przyspieszenia drgań przed i po modernizacji

POPRAWA DYNAMIKI POMPY DIAGONALNEJ

Modernizacja pompy 180D40



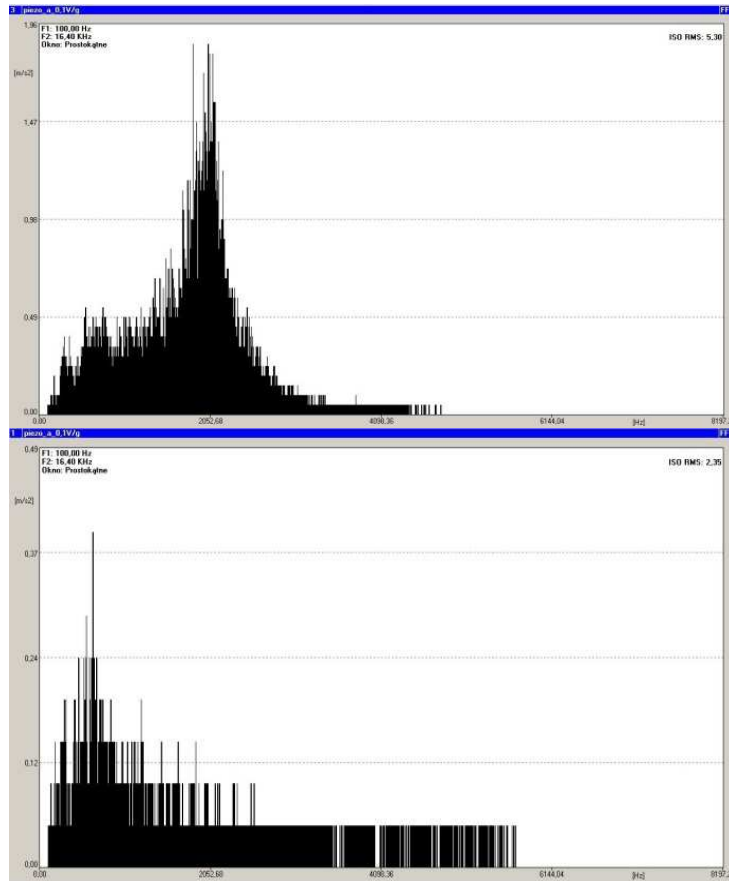
Przyspieszenia drgań. Pomiar 1 - przed i po modernizacji (rurociąg tłoczny)



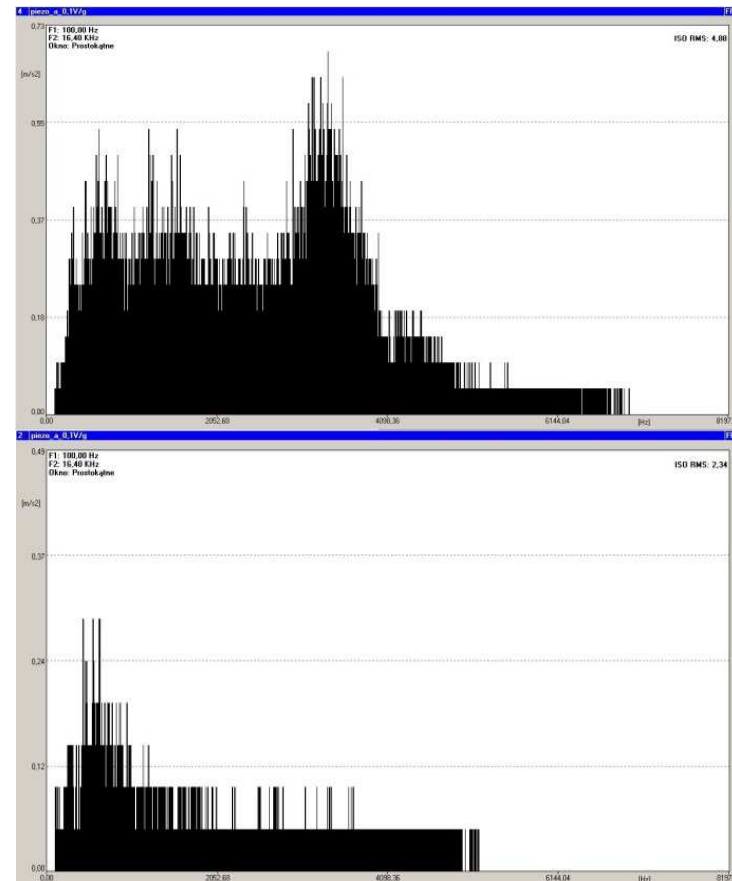
Przyspieszenia drgań. Pomiar 2 - przed i po modernizacji (rurociąg tłoczny)

POPRAWA DYNAMIKI POMPY DIAGONALNEJ

Modernizacja pompy 180D40



Przyspieszenia drgań. Pomiar 3 - przed i po modernizacji (ssanie pompy)



Przyspieszenia drgań. Pomiar 4 - przed i po modernizacji (ssanie pompy)

POPRAWA DYNAMIKI POMPY DIAGONALNEJ

Modernizacja pompy 180D40

Wnioski

- Modernizacja wirnika pompy 180D40 przyczyniła się do znacznego ($2,1 \div 2,3$ razy) zmniejszenia przyspieszeń drgań mierzonych na korpusie ssawnym i rurociągu wylotowym pompy, co świadczy o znaczym zmniejszeniu intensywności kawitacji.
- Dzięki wyeliminowaniu kawitacji zmodernizowany wirnik nie wymaga obecnie doprowadzenia powietrza na ssanie pompy, co daje duże korzyści finansowe związane z wyeliminowaniem produkcji sprężonego powietrza.
- PBW HYDRO-POMP proponuje wykonanie projektu modernizacji pozostałych elementów układu hydraulicznego pompy 180D40 (kierownica wlotowa oraz wylotowa) mających wpływ na stan dynamiczny pompy oraz wartości osiąganych parametrów przepływowych w tym sprawności.
- Likwidacja doprowadzenia powietrza na ssanie pompy poprawia wymianę ciepła w skraplaczu między kondensującą parą a wodą chłodzącą. Umożliwia to realizację większych próżni w skraplaczu umożliwiającą realizację większych mocy przez turbozespół.
- Przedstawione zagadnienia stanowią jedynie fragment prac realizowanych przez PBW HYDRO-POMP Łódź w zakresie doskonalenia pomp stosowanych w energetyce.