

STUDIA PODYPLOMOWE

Efektywne użytkowanie energii elektrycznej

„Dobór pomp”

Prowadzący

dr inż. Tadeusz Żaba

Kraków, styczeń 2013

Efektywne Użytkowanie Energii Elektrycznej

Dobór pomp

I. Wstęp.

Jak podają materiały firmy E-Therm Drives Electric około 80 % energii elektrycznej wytworzonej na świecie jest konsumowana przez silniki elektryczne, a znaczna część tych silników napędza różnego rodzaju pompy. Zainstalowane na świecie układy pompowe zużywają $20 \div 30$ % generowanej energii elektrycznej, a w Polsce pompy zużywają 20 % całej ilości produkowanej w kraju ilości energii elektrycznej. Pompy w naszej gospodarce komunalnej oraz w różnych instalacjach domowych pochłaniają ponad 10% całej ilości energii elektrycznej zużywanej przez pompy w Polsce, tj. ponad 3 TWh (3 mld kWh) rocznie. Dane te pokazują, że właściwy dobór pomp ma istotne znaczenie nie tylko dla gospodarki ale w szczególności dla ich użytkowników, których interesują przede wszystkim koszty eksploatacyjne, w których dominują koszty energii oraz koszty związane z utrzymaniem pomp. Według bardzo ostrożnych szacowań co najmniej 25% energii zużywanej przez pompy stanowią niepotrzebne, możliwe do uniknięcia straty, których znaczna część jest skutkiem niewłaściwego doboru pomp do wymagań instalacji.

II. Podstawowe informacje dotyczące pomp.

Pompę charakteryzują następujące parametry główne parametry:

1. Charakterystyka przepływu
2. Charakterystyka mocy
3. Sprawność
4. Nadwyżka antykawitacyjna

Charakterystyka przepływu $H = f(Q)$ – obrazuje zmienność wysokości podnoszenia H od wydajności Q

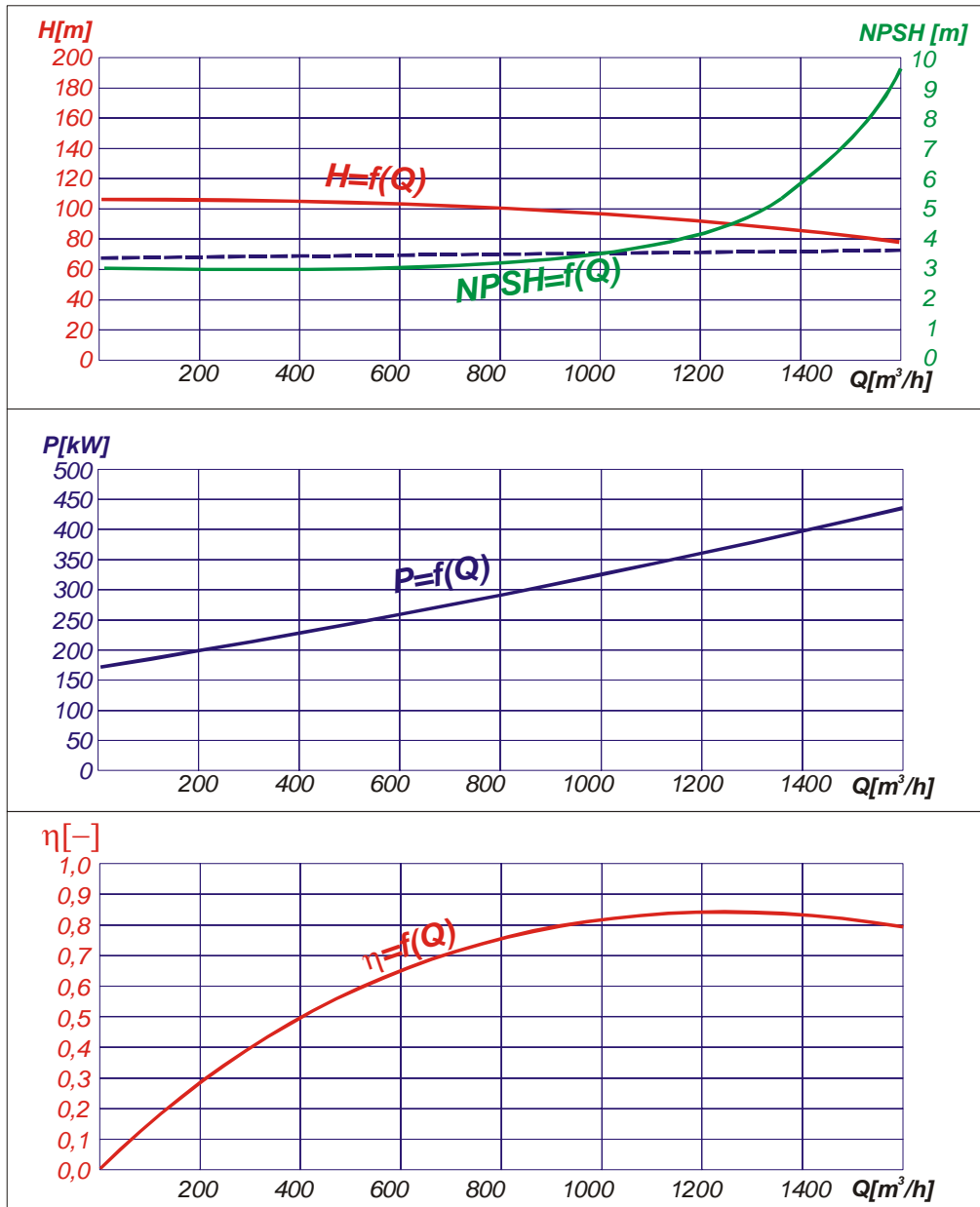
Charakterystyka mocy $P = f(Q)$ – przedstawia przejęcie mocy silnika napędowego przez pompę

Charakterystyka sprawności – określa zmianę stosunku efektywnej mocy zużytej na zmianę parametrów pracy do mocy pobieranej przez pompę

Sprawność pompy – uwzględnia wszystkie straty związane z przekazywaniem energii pompowanej cieczy. Można je podzielić na:

- straty hydrauliczne – straty ciśnienia na skutek tarcia i oporów miejscowych przy ruchu cieczy wewnątrz pompy
- straty objętościowe – wycieki przez nieszczelności
- straty mechaniczne – tarcie w łożyskach, dławicach, a także tarcie zewnętrznej powierzchni wirnika o ciecz wypełniającą wnętrze pompy.

Efektywne Użytkowanie Energii Elektrycznej Dobór pomp



rys. Przykładowa charakterystyka pompy 30B52.

Kawitacja:

Podczas pracy pompy obiegowej w centralnej części wirnika następuje spadek ciśnienia cieczy, co powoduje napływ cieczy przez króciec ssawny. W przypadku nadmiernego spadku tego ciśnienia w niektórych częściach wirnika ciśnienie może być niższe niż ciśnienie nasycenia, odpowiadające temperaturze pompowanej cieczy, co jest przyczyną tzw. kawitacji, tj. odparowania cieczy. Aby temu zapobiec ciśnienie cieczy w krótcu ssawnym (na dopływie do p.o.) powinno być wyższe niż ciśnienie nasycenia odpowiadające temperaturze cieczy o tzw. wymaganą nadwyżkę antykawitacyjną (ang. *Net Positive Suction Head* – NPSH).

Efektywne Użytkowanie Energii Elektrycznej Dobór pomp

Symptomami wskazującymi na powstanie kawitacji w pompie są:

- zwiększony hałas i drgania spowodowane znacznymi pulsacjami ciśnień,
- widoczne obniżenie się parametrów pracy, zwłaszcza wysokości podnoszenia, a nawet zerwanie słupa cieczy i spadek wydajności do zera,
- zniszczenia spowodowane erozją kawitacyjną, będące najbardziej oczywistym dowodem wystąpienia kawitacji.

Eksploatacyjne sposoby zapobiegania kawitacji w pompach wirowych:

- pompowanie możliwie chłodnego medium – czyli jeśli nie ma przeciwwskazań, pompę należy instalować na powrocie, zapewnienie małych oporów na przewodzie ssawnym,
- praca pompy w pobliżu nominalnej wydajności,
- instalowanie pomp w ten sposób, by wysokość ssania była możliwie najmniejsza, a dla pomp tłoczących ciecze gorące zapewnienie odpowiedniej wysokości napływu.

Całkowita wysokość podnoszenia lub całkowite ciśnienie, które pompa powinna wytworzyć składa się z:

1. geometrycznej wysokości ssania
2. strat ciśnienia na rurociągu ssawnym wskutek oporów powstających przy przepływie w tym rurociągu
3. geometrycznej wysokości tłoczenia
4. strat ciśnienia w rurociągu tłocznym wskutek oporów powstających przy przepływie w rurociągu

Całkowitą wysokość podnoszenia obliczamy ze wzoru:

$$H = H_s + \sum \Delta h_s + H_t + \sum \Delta h_t$$

Gdzie:

H_s – geometryczna wysokość ssania – jest pionową odległością osi pompy od zwierciadła wody w zbiorniku czerpalnym

$\sum \Delta h_s$ – suma strat ciśnienia w rurociągu ssawnym

H_t – geometryczna wysokość tłoczenia - jest pionową odległością zwierciadła wody w zbiorniku odbiorczym do osi pompy

$\sum \Delta h_t$ – suma strat ciśnienia wskutek oporów przepływu w rurociągu tłocznym

Straty ciśnienia w rurociągach ssawnym i tłocznym ($\sum \Delta h_s$ oraz $\sum \Delta h_t$) składają się z ze strat ciśnienia na pokonanie oporu w samej rurze, wynikającego z tarcia przepływającej cieczy o ścianki rury oraz ze strat na pokonanie oporów miejscowych przy przepływie cieczy przez armaturę.

Efektywne Użytkowanie Energii Elektrycznej Dobór pomp

Obliczenia sprawności pomp.

Obliczeń sprawności pomp można dokonać korzystając ze wzoru

$$\eta_p = \frac{\gamma \cdot Q \cdot H}{N_{el} \cdot \eta_s}$$

gdzie:

γ – ciężar właściwy wody [N / m³]

Q – wydajność [m³/s]

H – wysokość podnoszenia [m]

N_{el} – pobór mocy silnika

η_s – sprawność silnika. W obliczeniach przyjęto sprawność silnika jako 93% co jest typową wartością dla silników w tym zakresie mocy znajdujących się w przeciętnym stanie technicznym.

Z kolei wysokość podnoszenia można obliczyć ze wzoru

$$H = \frac{(p_t - p_s)}{\gamma} + \frac{(c_t^2 - c_s^2)}{2g + \Delta h}$$

gdzie:

p_t, p_s – odpowiednio ciśnienia na tłoczeniu i na ssaniu pompy [Pa]

Δh – geometryczna różnica wysokości pomiędzy punktem pomiaru ciśnienia na tłoczeniu i na ssaniu (w obliczeniach wielkość tę pominięto, gdyż manometry do pomiaru ciśnienia na tłoczeniu i na ssaniu były podłączone w przybliżeniu na tej samej wysokości).

g – przyspieszenie ziemskie [m/s²]

c_t, c_s – prędkości przepływu odpowiednio w króćcu tłocznym i ssawnym pompy. Prędkości te zostały obliczone przez podzielenie wydajności przez odpowiednie pola przekroju króćców.

W celu precyzyjnego określenia rzeczywiście wymaganej mocy silników można posłużyć się zależnością:

Efektywne Użytkowanie Energii Elektrycznej Dobór pomp

$$P = \frac{Q \cdot H \cdot \rho}{367,2 \cdot \mu_p}$$

gdzie:

P – zapotrzebowanie na moc w kW

Q – wydajność w m³/h

H – wysokość podnoszenia w m

ρ – gęstość pompowanego medium w kg/m³

μ_p – sprawność pompy

III. Dobór pomp.

Dobór pomp możemy podzielić na trzy etapy;

1. Dobór realizowany przez projektanta w trakcie prac projektowych związanych z budową obiektu.
2. Dobór, a właściwie sprawdzenie poprawności doboru w trakcie eksploatacji.
3. Dobór przy wykonywaniu remontów i modernizacji.

Przy doborze pomp należy uwzględnić nie tylko parametry techniczne ale również parametry eksploatacyjne takie jak:

- *Wymiary zespołu pompowego*
- *natężenie hałasu generowanego przez pompę*
- *łatwość i możliwość montażu*
- *wymagania eksploatacyjne*

Przystępując do doboru pomp, dla ułatwienia dokonania analizy procedurę doboru można podzielić na poszczególne etapy, które dla dokonania właściwego wyboru powinniśmy prześledzić. Oczywiście na wstępie należy dokonać ustaleń parametrów oczekiwanych przez pompę. Zwykle dane takie otrzymujemy od technologa lub możemy je uzyskać z dokumentacji technicznej. Na tym etapie można również poczynić ustalenia czy pompa ma być pompą pracującą z regulowaną prędkością obrotową, czy ze stałą.

Etap I obejmuje właściwy dobór pompy wraz z armaturą na ssaniu i tłoczeniu.

Efektywne Użytkowanie Energii Elektrycznej

Dobór pomp

Czynniki decydujące o wyborze pompy:

1. Przeznaczenie
2. Parametry cieczy
3. Właściwości cieczy
4. Warunki otoczenia
5. Nadwyżka antykawitacyjna
6. Konfiguracja obiektu

Etap II to analiza układu pompa – zbiornik górny.

W etapie tym sprawdzamy, czy dobrana pompa będzie w stanie spełnić oczekiwane wymagania. Przy doborze należy uwzględnić pewne rezerwy na pokonanie nieoczekiwanych lub wyższych niż spodziewane oporów tłoczenia

Etap III stanowi badanie fragmentu zbiornik dolny pompa.

W etapie tym sprawdzamy dobór armatury na ssaniu i również tutaj należy uwzględnić pewne rezerwy na możliwe obniżenie poziomu w zbiorniku dolnym.

Etap IV to sprawdzenie i analiza zastosowanego wyposażenia w całym układzie pompowym.

IV. Diagnostyka układów pompowych

Zarówno pompy wirowe bezpośrednio po procesie produkcji jak i w trakcie eksploatacji poddawane są badaniom. Badania te mają na celu wyznaczenie wytwarzanej przez pompę wysokości podnoszenia wydajności pompy, pobieranej mocy i sprawności, a również znalezienie zależności wysokości podnoszenia i pobieranej mocy od natężenia przepływu.

Badania przeprowadzamy w sposób następujący:

Przy stałej prędkości obrotowej pompy mniej lub bardziej otwieramy zasuwę na rurociągu tłocznym otrzymując wskutek tego różne natężenia przepływu i odpowiadające im wysokości podnoszenia. Następnie na osi odciętych nanosimy w określonej skali pomierzone natężenia przepływu, zaś na osi rzędnych — wysokości podnoszenia obliczone na podstawie wskazań manometru na tłoczeniu i manometru na ssaniu. Łącząc otrzymane punkty za pomocą ciągłej linii otrzymujemy charakterystykę $Q-H$ przy danej prędkości obrotowej.

Ponadto w czasie badania mierzymy na wale moc pobieraną przez pompę N_w dla każdego badanego natężenia przepływu Q . Następnie odkładamy wartości N_w na prostopadłych przechodzących przez odpowiadające im punkty natężeń przepływu Q , a łącząc otrzymane punkty ciągłą linią otrzymujemy krzywą $Q-N_w$. Znajac dla każdego punktu krzywej $Q-H$ moc oddawaną (użyteczną) N_u oraz moc pobieraną (na wale) N_w obliczamy wartości sprawności pompy i wykreślamy krzywą $Q-n$

Otrzymane krzywe $Q-H$, $Q-N$ i $Q-n$ wyrażają wykreślnie zależność pomiędzy

Efektywne Użytkowanie Energii Elektrycznej Dobór pomp

wydajnością, wytwarzaną wysokością podnoszenia, mocą i sprawnością przy stałej prędkości obrotowej. Krzywe te nazywają się charakterystykami pomp wirowych.

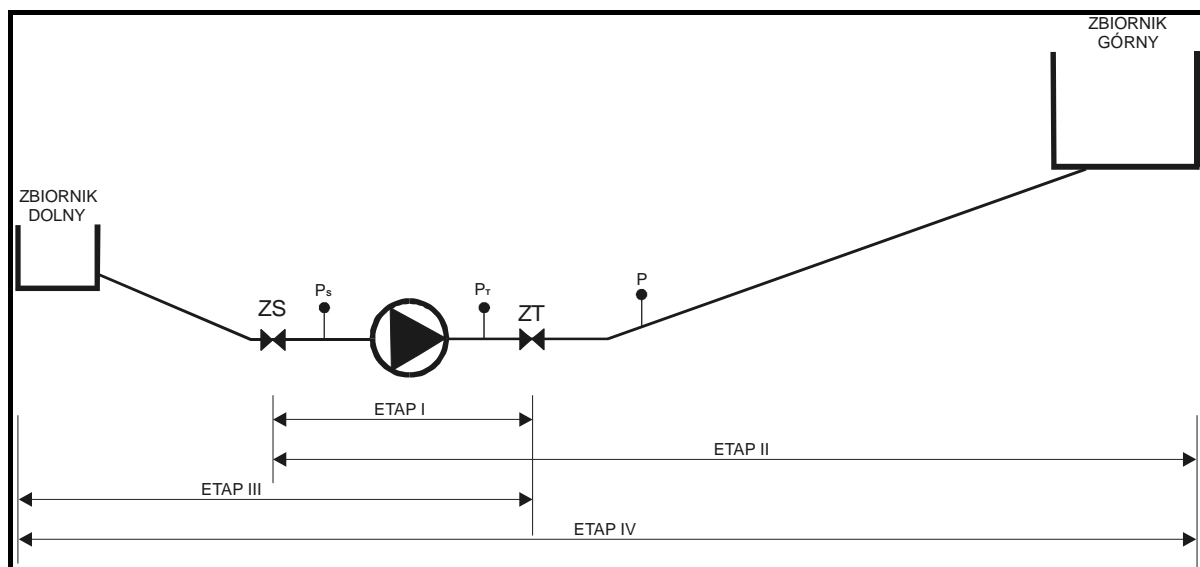
Zwykle moc pobierana przez pompę przy zamkniętej zasuwie stanowi około 30% normalnej mocy. Cała ta moc zużywa się na straty mechaniczne w łożyskach i dławnicach oraz na nagrzewanie cieczy wewnątrz pompy. Dlatego nie należy pozostawiać uruchomionej pompy przez dłuższy czas z zamkniętą zasuwą. Po otwarciu zasuw, tj. na początku pompowania cieczy, wysokość pompowania nieco się powiększa, osiąga maksimum i następnie zaczyna maleć. Podnosząca się część krzywej $Q-H$ odpowiada niestatecznemu obszarowi pracy pompy. Ta podnosząca się część krzywej $Q-H$ odzwierciedla pracę pompy przebiegającą niespokojnie i z silnym hałasem.

Wstępujący odcinek krzywej $O-H$ powinien być możliwie mały. Jest szczególnie ważne, aby ciśnienie przy zamkniętej zasuwie nie było mniejsze od ciśnienia w punkcie odpowiadającym największej sprawności, bowiem w przeciwnym przypadku uruchomienie pompy będzie uciążliwe. Charakterystyki $Q-H$ mogą opadać stromo lub łagodnie.

Pochylenie łagodnej charakterystyki wynosi zazwyczaj 8-12%. Przy łagodnej charakterystyce natężenie przepływu zmienia się w szerokich granicach przy stosunkowo nieznacznych zmianach wysokości podnoszenia.

Pochylenie stromych charakterystyk wynosi 25-30%. Charakterystyki te są dogodne w pompowniach, w których pożądanym jest mały zakres, - wahania wydajności przy znacznych wahaniami wysokości podnoszenia pomp.

Propozycja postępowania przy diagnostyce pomp:



- Etap I obejmuje badanie pompy wraz z armaturą na ssaniu i tłoczeniu.
- Etap II to analiza układu pompa – zbiornik górny.
- Etap III stanowi badanie fragmentu zbiornik dolny pompa.
- Etap IV badanie całości układu pompowego.

Efektywne Użytkowanie Energii Elektrycznej Dobór pomp

Analizę należy poprzedzić zapoznaniem się z Dokumentacją Techniczno Ruchową (DTR) oraz projektem technicznym.

Analizę pracy wytypowanego układu pompowego wykonujemy według następującej procedury:

Etap I

1. Wykonujemy diagnostykę agregatu pompowego zgodnie z zaleceniami DTR. Dla osiągnięcia prawidłowych wyników zarówno pompa jak i silnik nie powinny posiadać widocznych uszkodzeń technicznych.
2. Kontrola stanu technicznego układu pompowego.
 - a) sprawdzenie stanu ułożyskowania
 - b) kontrola oporów toczenia które nie powinny odbiegać od standardowych
 - c) sprawdzenie ewentualnych wycieków z układu
3. W przypadku stwierdzenia nieprawidłowości realizacja niezbędnych napraw
4. Wyznaczenie drogi przepływu cieczy dla badanej pompy.
5. Kontrola układu armatury na rurociągu ssącym - punkt należy do etapu III
 - a). Sprawdzenie prawidłowości położenia zasuw
 - b). Sprawdzenie szczelności zasuw
 - c). Kontrola innych elementów zabudowanych na sieci takich jak filtry, zawory zwrotne itp.
6. Kontrola układu armatury na rurociągu tłocznym
7. Doprowadzenie rurociągów do stanu właściwego. Punkt ten jest bardzo istotny dla wiarygodności wyników osiąganych w trakcie pomiaru.

Etap II

8. Teoretyczna analiza wysokościowa układu w celu ustalenia wymaganych parametrów pracy układu pompowego. Analiza ta jest niezbędna dla określenia parametrów pracy układu takich, jak wysokość podnoszenia oraz wydajność.
9. Weryfikacja istniejących strat w rurociągu uwzględniając aktualne uwarunkowania takie, jak stan rurociągu oraz natężenie przepływu (parametry te zwykle znacznie odbiegają od założeń projektowych)
10. Wyznaczenie charakterystycznych punktów w układzie w których będą realizowane pomiary i regulacje z uwzględnieniem istniejących możliwości montażu dodatkowych urządzeń pomiarowych.
11. Określamy minimalne parametry ciśnienia na wejściu i wyjściu układu pompowego.

Efektywne Użytkowanie Energii Elektrycznej Dobór pomp

12. Weryfikacja istniejącej ewentualnie montaż dodatkowej aparatury do pomiaru ciśnienia i przepływu. Wyznaczenie miejsca pomiaru energii elektrycznej pobieranej przez silnik. Należy zwrócić uwagę, aby pomiar ciśnienia był zamontowany przed zasuwą regulacyjną, którą będziemy dokonywać regulacji przy zdejmowaniu charakterystyki.
13. Wykonujemy badania na obiekcie.

Na podstawie wyników pomiarów wyznaczamy charakterystykę pompy.

14. Sprawdzamy, czy pompa pracuje w zakresie optymalnym. Jeżeli tak, to należy rozważyć, czy poprzez przeprowadzenie dodatkowych działań technicznych istnieje możliwość zmiany punktu pracy dla uzyskania wyższej sprawności układu. Jeżeli nie, to staramy się stwierdzić, który z parametrów znajduje się poza optymalnym zakresem.
15. Następnie analizujemy wysokość podnoszenia układu pompowego.
16. Sprawdzamy, czy można przetoczyć wirnik i w przypadku twierdzącej odpowiedzi dokonujemy redukcji wymiarów wirnika, przez wykonanie niezbędnych obróbek tokarskich w celu zredukowania jego średnicy.
17. Natomiast jeżeli nie można przeprowadzić zmniejszenia średnicy wirnika, rozważamy wykonanie dławienia na toczeniu. Analizujemy możliwość, sposób i miejsce wykonania dławienia pompy.
18. Wykonujemy odpowiednie czynności dla uzyskania dławienia.
19. Jeżeli nie ma możliwości wykonania dławienia, rozważamy możliwość zwiększenia średnicy wirnika i dokonujemy zamówienia nowego wirnika z tzw. nadwymiarom.
20. Analizujemy sprawność układu.
21. Dokonujemy dodatkowych niezbędnych pomiarów w układzie.
22. Następnie przystępujemy do analizy wytycznych dotyczących napełniania górnego zbiornika i sprawdzamy możliwość zmian sposobów napełniania zbiornika.

Etap III

23. Jeżeli stwierdzamy osiągnięcie przez układ zakładanej sprawności, to dokonujemy analizy pracy zbiornika początkowego pod kątem zwiększenia możliwości zwiększenia poziomu napełnienia, co wpłynie na spadek wysokości podnoszenia.

Etap IV

Możemy rozpatrywać:

- a). wymianę układu pompowego na „lepszy”
- b). montaż przetwornicy częstotliwości
- c). wymianę silnika na bardziej optymalny

Opisana procedura stanowi proponowany schemat działania. Przed jej zastosowaniem należy rozważyć czy dla badania danego układu pompowego jest możliwe jej zastosowanie. Przy ustalaniu parametrów pracy pomp należy wziąć pod uwagę również sytuacje skrajne w których również może zachodzić konieczność pracy układu pompowego. Jest to szczególnie istotne w przypadku zmian mocy silników lub wymiany pomp na inne. Algorytm powyższy może być również stosowany dla badania pomp pracujących w układach hydroforowych. Wówczas przed rozpoczęciem badań należy dokonać adaptacji algorytmu do aktualnych potrzeb.

V. Podsumowanie.

Właściwy i optymalny dobór pomp przekłada się na oszczędności zużycia energii elektrycznej. Analizując koszty cyklu życia (Life Cycle Cost – LCC) w typowej, tradycyjnej instalacji z pompa nieregulowaną składają się z kosztów zakupu które wynoszą 5%, kosztów serwisowania i konserwacji osiągających 10% oraz kosztów zużycia energii elektrycznej, stanowiącego 85% kosztów całkowitych. W związku z czym zapewnienie optymalnej pracy pomp stanowi bardzo istotny aspekt w działalności każdego przedsiębiorstwa.