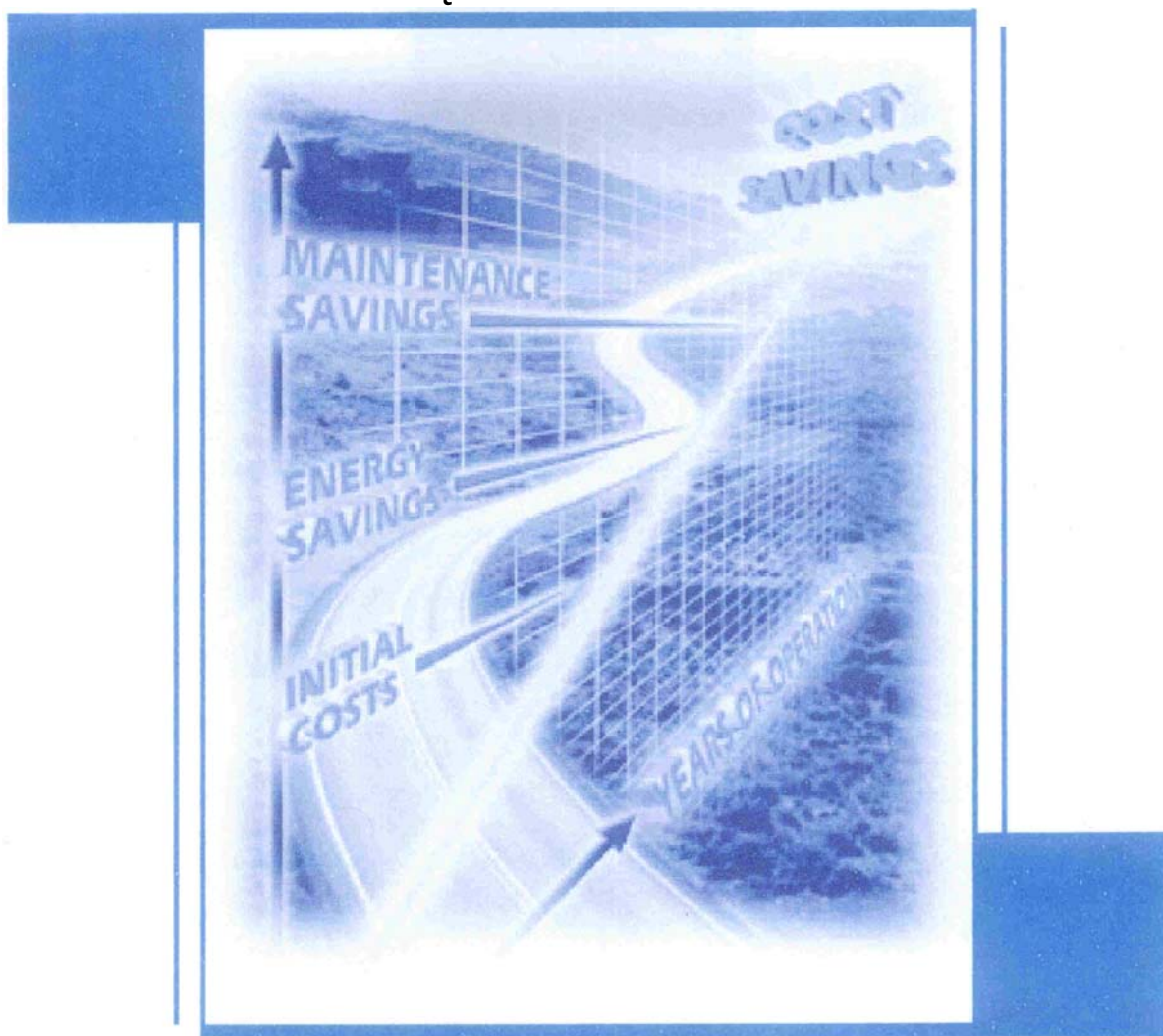


# PUMP LIFE CYCLE COST: KOMPENDIUM WIEDZY O ANALIZIE LCC UKŁADÓW POMPOWYCH

## ZWIĘŻŁE STRESZCZENIE



## **Wprowadzenie**

*Koszt Cyklu Życia Pompy: Kompendium Wiedzy o Analizie LCC Układów Pompowych* powstał w wyniku współpracy pomiędzy Hydraulic Institute (NY, USA), Europump i Biurem Technologii Przemysłowych (OIT) Departamentu Energetyki Rządu USA.

## **Spis treści**

<b>Poprawa parametrów pracy układu pompowego . . . . .</b>	<b>1</b>
<b>Czym jest koszt cyklu życia (LCC) ?. . . . .</b>	<b>2</b>
<b>Dlaczego Organizacje powinny troszczyć się o koszt cyklu życia ? . . . . .</b>	<b>3</b>
<b>Zanim dokonamy wyboru . . . . .</b>	<b>3</b>
<b>Analiza kosztów cyklu życia . . . . .</b>	<b>3</b>
<b>Projekt układu pompowego . . . . .</b>	<b>9</b>
<b>Przykład: Układ pompowy z problemem zaworu regulacyjnego . . . . .</b>	<b>12</b>
<b>Więcej informacji . . . . .</b>	<b>16</b>

## Poprawa parametrów pracy układu pompowego: Przeoczona możliwość ?

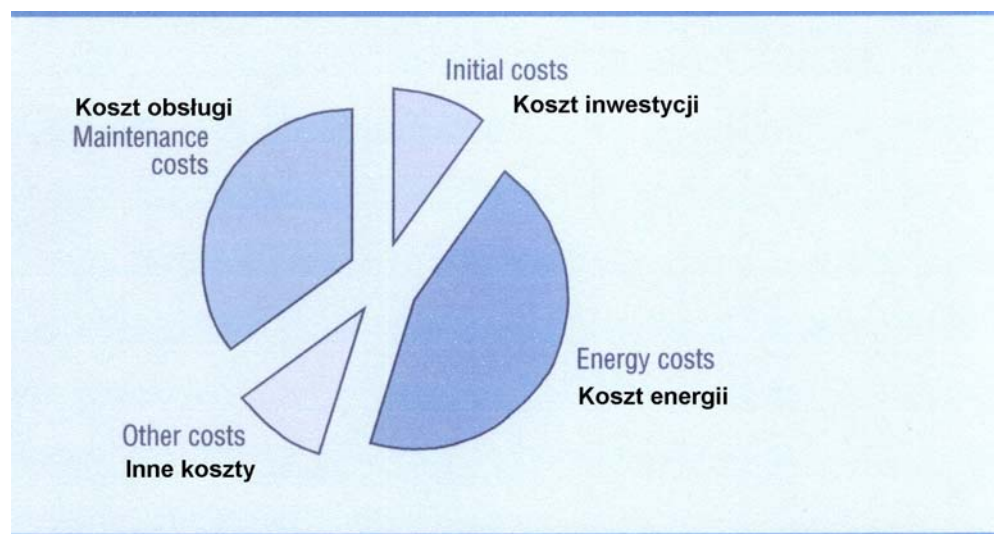
**Koszt życia produktu (LCC) obejmuje każdy składnik kosztów w całym okresie "życia" od zakupu poprzez instalację, eksploatację, obsługę aż do utylizacji.**

Układy pompowe pobierają prawie 20% światowej produkcji energii elektrycznej z czego 25 ÷ 50 % energii jest zużywane w szczególnych przypadkach przemysłowych instalacji pompowych. Układy pompowe mają szeroki zasięg: zaopatrzenie w wodę budynków mieszkalnych, zaopatrzenie w wodę gospodarstw rolnych i instalacji przemysłowych, odprowadzenie ścieków z instalacji przemysłowych (chemia, petrochemia, farmaceutyka i przemysł maszynowy). Choć pompy są typowo wykorzystywane przez indywidualnych nabywców, to stanowią one część systemu pompowego. Pobór energii i zużycie materiałów eksploatacyjnych zależy od zastosowanej pompy, układu pompowego i sposobu jego użytkowania. Parametry te są wzajemnie zależne. Co więcej, parametry te muszą być odpowiednio dopasowane i pozostawać niezmiennie w okresie "życia" tak aby zapewnić najniższe koszty energii i obsługi urządzeń. Cena zakupu urządzeń stanowi najmniejszą część kosztów "życia" zakupionych urządzeń. Czasami wymagania użytkownika pomijają koszty energii, jednakże optymalne rozwiązanie jest zawsze możliwe.

Większe zrozumienie wszystkich składników kosztów w całkowitym koszcie nabycia i użytkowania pozwala na wyodrębnienie sposobu dążenia do obniżenia kosztów energii, eksploatacji i obsługi. Redukcja kosztów energii ma oczywiście ważne znaczenie z punktu widzenia ochrony środowiska.

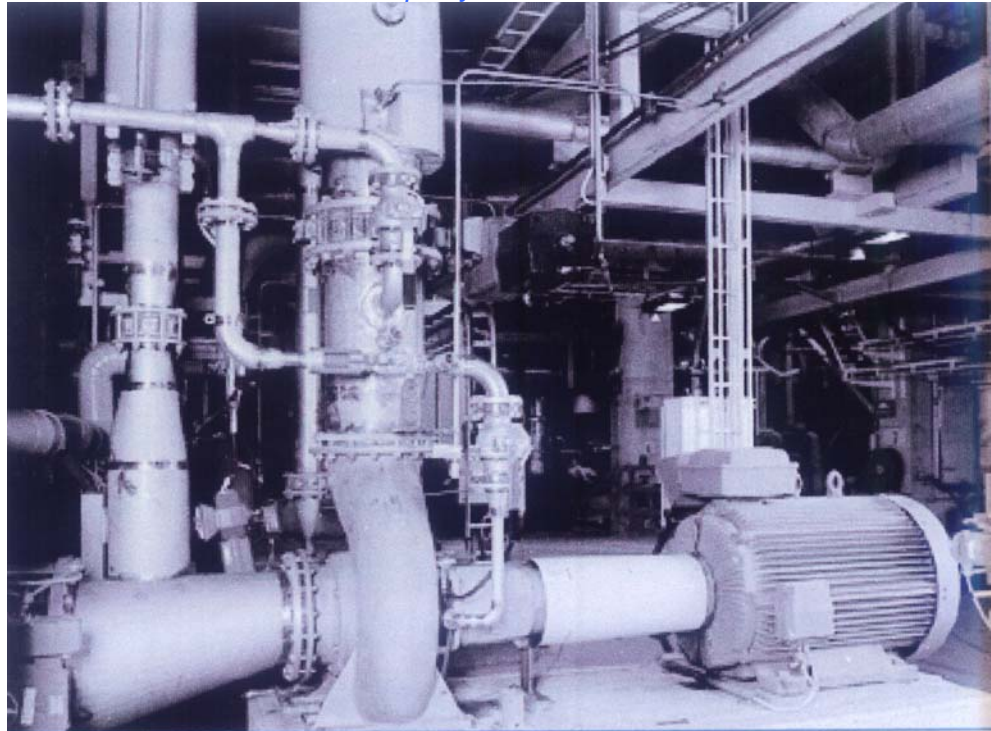
Analiza kosztów cyklu życia (LCC) jest narzędziem pozwalającym minimalizować straty i powiększać zyski energetyczne dla wielu użytkowanych instalacji, w tym instalacji pompowych. Szersza informacja jest zawarta w "Koszt cyklu życia pompy: Kompendium Wiedzy o Analizie LCC Układów Pompowych" opracowanym przez Hydraulic Institute (NY, USA) we współpracy z Europump na podstawie analizy stosowanych rozwiązań. Informacja co do otrzymania egzemplarza *Kompendium* - patrz strona 16 niniejszego streszczenia.

**Typowy diagram kosztów cyklu życia dla średniej wielkości pompy przemysłowej**



## Analiza LCC dla Układów Pompowych

Układy pompowe pochłaniają globalnie prawie 20% energii elektrycznej a w pewnych zastosowaniach zużycie dochodzi do 25 ÷ 50 % energii



W szczególnych przypadkach instalacji przemysłowych, zużycie energii stanowi od 25 do 50 %.

## Czym jest koszt cyklu życia (LCC) ?

Koszt cyklu życia (LCC) jakiegokolwiek składnika instalacji obejmuje całkowity koszt "życia" od momentu kosztu zakupu poprzez koszt zainstalowania, nadzoru, przeglądów, konserwacji i napraw aż do utylizacji. Określając LCC wykorzystujemy metodologię identyfikacji wszystkich składników kosztów.

Metoda ta używana jest jako narzędzie do porównania pomiędzy możliwymi do zastosowania projektami lub wynikami badań, analiza LCC pokazuje najbardziej efektywne pod względem kosztów rozwiązanie w obszarze dostępnych danych.

Typowymi składnikami kosztów cyklu życia są początkowe koszty inwestycji, koszty instalacji i rozruchu, koszty energii, koszty nadzoru, koszty przeglądów, konserwacji i napraw, koszty strat spowodowanych przestojami, koszty ochrony środowiska, koszty utylizacji urządzeń.

## Dlaczego Organizacje powinny troszczyć się o koszt cyklu życia ?

**Wiele analiz pokazuje, że od 30 % do 50 % energii zużytej przez układy pompowe mogłoby być zaoszczędzone przez zmiany w sposobie sterowania lub wyposażenia**

W dużej liczbie organizacji przemysłowych rozważane są tylko początkowe koszty zakupu i instalacji urządzeń. Podstawowym obowiązkiem projektanta lub zarządcy instalacji jest ocena za pomocą analizy LCC różnych możliwych rozwiązań przed zainstalowaniem nowego wyposażenia lub przeprowadzanie odpowiednich analiz. Ocena ta pozwoli na wybór alternatyw najbardziej korzystnych finansowo. Działając na rynkach narodowych lub globalnych, chcąc być najbardziej konkurencyjnymi, organizacje przemysłowe muszą szukać oszczędności w kosztach i zwiększać zyski z działalności. Szczególne miejsce w obniżce kosztów zajmuje wyposażenie instalacji, zwłaszcza w obniżce kosztów energii i kosztów strat spowodowanych przestojami.

Istniejące układy pompowe, z dwóch powodów dostarczają większą liczbę możliwości dla oszczędności poprzez zastosowanie analizy LCC niż układy nowe. Po pierwsze, około 20 razy więcej pomp jest już zainstalowanych i po drugie, w dużej liczbie istniejących układów pompy i systemy ich sterowania nie są zoptymalizowane.

Wiele analiz pokazuje, że od 30 % do 50 % energii zużytej przez układy pompowe mogłoby być zaoszczędzone przez zmiany w sposobie sterowania lub wyposażenia.

Dodatkowo, z ekonomicznego punktu widzenia zastosowania analizy LCC, w wielu organizacjach jest coraz wyższa świadomość oddziaływania środowiska na ich interesy, a biorąc pod uwagę sprawność energetyczną występują tendencje do ograniczania emisji zanieczyszczeń i ochrony środowiska.

## Zanim dokonamy wyboru

Analiza LCC, niezależnie, czy dla nowych czy dla istniejących układów pompowych, wymaga oceny alternatywnych rozwiązań. Dla większości przypadków, w okresie życia dominujące są koszty energii lub/i koszty obsługi. Dlatego też najważniejsze jest dokładne określenie aktualnych jednostkowych kosztów energii, oczekiwanego rocznego kosztu energii, kosztów energii w okresie eksploatacji, kosztów przeglądów, konserwacji i napraw oraz niezbędnych materiałów. Inne składniki kosztów, takie jak koszt strat spowodowanych przestojami, ochrony środowiska i utylizacji mogą być szacowane na podstawie danych historycznych z podobnych przypadków. W zależności od rodzaju procesu koszty strat spowodowanych przestojami mogą być bardziej znaczące niż koszty energii lub koszty przeglądów, konserwacji i napraw. Należy uważnie rozważyć wielkość kosztów strat spowodowanych przestojami.

Te ogólne informacje wprowadzają nas do procesu analizy kosztów cyklu życia. Kompletne *Kompendium* obejmuje wszystkie aspekty kosztów cyklu życia i dostarcza konkretne techniczne informacje niezbędne do projektowania nowych układów pompowych lub analizy istniejących. *Kompendium* zawiera także niezbędne wykresy, przykłady obliczeń LCC i narzędzia oprogramowania przydatnego do obliczeń LCC.

## Analiza kosztów cyklu życia

W procesie oceny lub w procesie doboru pompy i innego wyposażenia, należy założyć najlepsze informacje odnośnie działania instalacji.

## Analiza LCC dla Układów Pompowych

Proces ma charakter matematyczny, więc niepoprawna lub nieprecyzyjna informacja daje w efekcie błędny wynik. Analiza LCC pozwala przewidzieć najbardziej efektywne kosztowo rozwiązanie, nie daje gwarancji szczegółowego wyniku jednak pozwala projektantowi układu lub zarządcy instalacji dokonać sensownego porównania pomiędzy alternatywnymi rozwiązaniami w obszarze dostępnych informacji.

**Analiza LCC pozwala przewidzieć najbardziej efektywne kosztowo rozwiązanie, nie daje gwarancji szczegółowego wyniku jednak pozwala projektantowi układu lub zarządcy instalacji dokonać sensownego porównania pomiędzy alternatywnymi rozwiązaniami w obszarze dostępnych informacji**

Układy pompowe zwykle mają czas życia od 15 do 20 lat. Pewne składniki kosztów będą ponoszone w początkowym okresie ale różne składniki mogą być ponoszone w innych okresach eksploatacji, w zależności od przyjętego rozwiązania. Dlatego też w praktyce stosuje się obliczenie *bieżącej lub zdyskontowanej* wartości LCC aby dokładnie oszacować różne rozwiązania.

Analiza ta jest niezbędna do oceny szczegółów instalacji na etapie jej projektowania. Porównuje się pomiędzy typami pomp lub urządzeń do ich sterowania. Wykonanie jej może mieć na celu określenie w jakim zakresie możliwe jest sterowanie i nadzór lub w przypadku zróżnicowanych procesów jakimi środkami je nadzorować. Specyficzne jest w niej to, że projekty mają możliwość porównania pomiędzy sobą. Dla wykonania dobrego porównania, projektant instalacji lub jej zarządca potrzebuje odpowiedniej miary. Przykładowo, dla procesu produkcyjnego rozważana może być wielkość produkcji a jeśli w dwóch kontrolowanych przypadkach nie jest możliwe uzyskanie tej samej wielkości produkcji, to można najszybciej porównać liczbowo koszty jednostkowe produkcji (np. \$ / tonę lub EUR / kg). Analiza powinna rozważyć wszystkie znaczące różnice pomiędzy ocenianymi rozwiązaniami.

Ostatecznie, projektant instalacji lub jej zarządca będą chcieli znać koszty obsługi lub serwisu, szczególnie tam gdzie usługi te są podzlecane, lub gdy części zapasowe zostały dostarczone wraz z zakupem urządzeń i są magazynowane na wypadek natychmiastowego użycia. Cokolwiek jest brane pod uwagę musi ono mieć dokładne podstawy do porównania. Jeżeli projektant instalacji lub jej zarządca zdecydują się zlecać podwykonawstwo lub utrzymywać strategiczne części zapasowe w magazynie, to kryterium takie należy zastosować do wszystkich porównywanych rozwiązań instalacji. Ale, jeśli obsługa może być wykonywana tylko przez specjalistycznego podwykonawcę, wtedy jej koszt pojawi się w ocenie takiej instalacji.

$$LCC = C_{ic} + C_{in} + C_e + C_o + C_m + C_s + C_{env} + C_d$$

LCC = koszt cyklu życia

$C_{ic}$  = koszt początkowy inwestycji, ceny zakupu (pompy, armatura, rurociąg, urządzenia i usługi pomocnicze)

$C_{in}$  = koszt montażu i rozruchu (włączając szkolenie)

$C_e$  = koszt energii (uwzględnia koszty działania całej instalacji, włączając koszt napędu pomp, sterowania, napędu armatury i wszelkich urządzeń pomocniczych)

$C_o$  = koszt nadzoru (koszt robocizny pracowników nadzoru)

$C_m$  = koszt przeglądów, konserwacji i napraw (okresowych i przewidywanych)

$C_s$  = koszt strat spowodowanych przestojami (straty produkcji)

$C_{env}$  = koszt ochrony środowiska (usunięcie zanieczyszczeń spowodowanych wyciekami pompowanego płynu i urządzeniami pomocniczymi)

$C_d$  = koszt demontażu i utylizacji urządzeń (włączając w to koszt przywrócenia naturalnych warunków środowiska i utylizacji urządzeń pomocniczych).

**Składniki równania LCC**

Powyższe składniki kosztów należy poddać ocenie i możliwie najbardziej realne wartości można wprowadzić do obliczeń LCC. Należy podkreślić, że do analizy nie przyjmuje się wartości surowców używanych w procesie produkcyjnym realizowanym przez instalację.

## Zwięzłe streszczenie

### **$C_{ic}$ - Koszt początkowy inwestycji**

Projektant instalacji lub jej zarządca muszą stworzyć szkic projektu układu pompowego. Mniejsze średnice rur i armatury, to niższe koszty zakupu i montażu. Jednakże, mniejsze średnice instalacji wymagają pomp o większej mocy co odbija się na wyższych kosztach zakupu i eksploatacji. W dodatku, mniejsze średnice rurociągów ssawnych obniżają nadwyżkę antykawitacyjną instalacji (NPSHA), tym samym wymagana jest mniejsza prędkość obrotowa pompy a to zwykle więcej kosztuje. Sposób zasilania cieczą ma znaczenie zwłaszcza w pompach wyporowych lub pompach zanurzeniowych dla których wymagana jest odpowiednia wysokość napływu.

Możliwość dokonania wyboru już podczas projektowania ma wpływ na początkowy koszt inwestycji. Jednym z ważnych kryteriów wyboru jest jakość dobieranego wyposażenia. Opcjami mogą być materiały o różnym zakresie zużycia, długotrwałość pracy łożysk i uszczelnień lub bardziej rozbudowany sposób sterowania, wszystko to znacząco zwiększa użyteczny okres pracy pomp. Taki wybór może zwiększać początkowe koszty ale obniża koszt LCC.

Koszty początkowe inwestycji zawierają zwykle następujące elementy:

- ceny zakupu urządzeń
- koszt pracowania projektu np. projekt i rysunki, instrukcje
- koszt procesu ofertowania
- koszt zarządzania zamówieniami
- koszt prób i odbiorów
- koszt szkolenia
- koszt części zapasowych (zamiennych)
- koszt wyposażenia pomocniczego (np. instalacje wody chłodzącej / zaporowej)

### **$C_{in}$ - Koszt montażu i rozruchu**

Koszt montażu i rozruchu zawiera następujące składniki:

- koszt projektu, przygotowania i wykonania (betonowanie, zbrojenie fundamentów, itp.
- koszt montażu urządzeń na fundamentach
- koszt montażu rurociągów
- koszt montażu okablowania, urządzeń elektrycznych i aparatury pomiarowej
- koszt montażu urządzeń pomocniczych
- koszt cieczy użytej do prób rozruchowych
- koszt oszacowania parametrów rozruchowych
- koszt opracowania instrukcji obsługi instalacji

Montaż może być wykonany przez dostawcę wyposażenia, zamawiającego lub przez personel użytkownika. Decyzja o tym zależy od wielu czynników uwzględniających umiejętności, narzędzia i wymagane wyposażenie do montażu, wymagania kontraktowe, przepisy bezpieczeństwa pracy przy montażu i dostępność kompetentnego personelu montażowego. Personel obsługi instalacji lub zamawiającego powinien uzgodnić nadzór ze strony dostawcy. Należy uważnie zapoznać się z instrukcjami montażu. Kompletny montaż instalacji zawiera przekazanie wiedzy o działaniu i obsłudze urządzeń poprzez szkolenie personelu obsługi.

Wymagania odbiorcze przy rozruchu urządzeń zwracają uwagę na instrukcje obsługi przygotowane przez producenta urządzeń w odniesieniu do rozruchu jak też późniejszej eksploatacji. Należy użyć listy kontrolnej w celu sprawdzenia czy wyposażenie oraz instalacja działają w granicach poszczególnych parametrów. Końcowe potwierdzenie oznacza, że instalacja działa poprawnie.

## C<sub>e</sub> - Koszt energii

Zużycie energii jest najczęściej jednym z największych składników kosztów i może dominować w strukturze LCC, zwłaszcza jeśli pompy pracują powyżej 2000 godzin w roku.

Zużycie energii jest najczęściej jednym z największych składników kosztów i może dominować w strukturze LCC, zwłaszcza jeśli pompy pracują powyżej 2000 godzin w roku. Zużycie energii obliczane jest na podstawie danych pochodzących z procesu produkcyjnego. Jeśli system produkcyjny jest ustalony lub prawie ustalony, to obliczenia są proste. Jeśli system produkcji zmienia się w czasie, to konieczne jest wyodrębnienie okresów czasu z ustaloną wielkością produkcji.

Pobór mocy określa następująca formuła (metryczny lub amerykański system miar):

$$P = \frac{\rho g Q H}{\eta_p \eta_m} 10^{-3} \quad [\text{kW}] \quad \text{lub} \quad P = \frac{\rho g Q H}{3960 \eta_p \eta_m} \quad [\text{hp}]$$

gdzie: P = moc  
Q = wydajność [m<sup>3</sup>/s] lub [US gpm]  
H = wysokość podnoszenia [m] lub (ft.)  
η<sub>p</sub> = sprawność pompy  
η<sub>m</sub> = sprawność silnika  
ρ = gęstość cieczy [kg/m<sup>3</sup>]  
g = przyspieszenie ziemskie [m/s<sup>2</sup>]

Projektant instalacji lub jej zarządca muszą uzyskać oddzielne dane pokazujące charakterystyki każdego rozważanego układu pompowego i jego wpływu na zakres zdolności produkcyjnej. Charakterystyki mogą być wyrażone w jednostkach całkowitej sprawności agregatu pompowego lub energii zużytej przez system dla różnych poziomów produkcji. Wybór i zastosowanie napędu wpływa na wielkość zużytej energii. Przykładowo, dużo większe zużycie energii ma napęd pompy za pomocą sprężonego powietrza niż jej napęd silnikiem elektrycznym. W dodatku, część zużytej energii nie zależy od produkcji. Dla przykładu, obwody sterowania pobierają stałą energię niezależnie od wielkości produkcji, podczas gdy silnik elektryczny z regulowaną prędkością obrotową może zużywać różne wielkości energii w różnych warunkach działania. Użycie zaworu dławiącego, zaworu redukcyjnego lub upustu "by-pass" do sterowania parametrami obniża sprawność i podwyższa zużycie energii.

Sprawność lub poziom zużycia energii winny być wykreślone dla tego samego czasu jako wartości pozostające we wzajemnej zależności. Obszar wykresu leżący pod krzywą charakterystyczną pokazuje całkowitą energię zużytą w instalacji pompowej w wybranym cyklu działania. Wynik jest podany w kWh (kilowatogodzinach). Jeśli mamy do czynienia z różnymi poziomami kosztów energii dla różnych warunków pracy, to porównywane obszary zużycia energii muszą zostać zsumowane w granicach poszczególnych poziomów.

Zakres opłat jest wyznaczony przez dostawcę energii, więc mogą one być zastosowane do całkowitej ilości kWh w każdym okresie płatniczym. Całkowity koszt energii zużytej może być wtedy określony dla każdej instalacji w porównywalnych jednakowych okresach czasu.

Ostatecznie, także koszty energii i materiałów eksploatacyjnych zużytych w instalacjach pomocniczych muszą zostać uwzględnione. Koszty te pochodzą z instalacji chłodzenia lub ogrzewania, cieczy zaporowej lub zapór gazowych (np. w uszczelnieniach mechanicznych). Przykładowo, koszt uruchomienia instalacji chłodzenia w której czynnikiem jest woda, obejmuje koszt wody, pompy obiegowej, filtracji, koszt pompowania i koszt wymiennika ciepła.

## Zwięzłe streszczenie



**Konserwacja, przeglądy i naprawy są znaczącym składnikiem kosztów cyklu życia a sprawny program ich prowadzenia może te koszty zminimalizować.**

### **C<sub>o</sub> - Koszt nadzoru**

**Utrzymanie pomp w optymalnych warunkach w okresie ich życia wymaga regularnego i skutecznego serwisowania**

Koszt nadzoru to przede wszystkim koszt robocizny związany z pracą przy obsłudze układu pompowego. Wielkość tych kosztów uzależniona jest od złożoności i funkcjonalności układu pompowego. Przykładowo, pompa tłocząca czynniki agresywne wymaga codziennej kontroli ewentualnych wycieków, niezawodności działania i kontroli zachowania parametrów eksploatacyjnych. Z drugiej strony, całkowicie zautomatyzowany układ pompowy pracujący w warunkach braku zagrożeń wymaga tylko ograniczonego nadzoru. Regularna obserwacja funkcjonowania układu pompowego pozwoli zaalarmować personel obsługi w przypadku potencjalnego obniżenia się parametrów eksploatacyjnych instalacji. Parametry eksploatacyjne obejmują zmiany w zakresie wibracji, poziomu drgań, temperatury, hałasu, poboru mocy, wydajności i ciśnienia.

### **C<sub>m</sub> - Koszt przeglądów, konserwacji i napraw**

**Koszt strat spowodowanych niespodziewanym przestojem (awarią) jest bardzo ważnym składnikiem w całkowitym koszcie LCC i może znacząco rywalizować z kosztem energii i kosztem części zamiennych**

Utrzymanie pomp w optymalnych warunkach w okresie ich życia wymaga regularnego i skutecznego serwisowania. Producent pomp powinien doradzić użytkownikowi jak często i w jakim zakresie konieczne jest wykonanie okresowych przeglądów i konserwacji. Ich koszt zależy od częstości i zakresu czynności serwisowych oraz od kosztów zużytych materiałów. Projekt powinien wpływać na wielkość tych kosztów poprzez dobór odpowiednich wykonawców materiałowych, komponentów i łatwość dostępu do części zapasowych (zamiennych).

Program prowadzenia konserwacji i przeglądów może obejmować ich mniejszą liczbę ale powinien być wykonany z większą starannością w przeciwieństwie do częściej wykonywanych w prostszym ich zakresie. Zasadnicze czynności często wymagają przeniesienia pomp do warsztatu. W tym czasie instalacja pozbawiona jest agregatu pompowego co może powodować koszty strat w produkcji lub koszty tymczasowej instalacji innej pompy. Koszty te mogą być pomniejszone, jeśli zaplanuje się główne przeglądy i konserwacji w czasie corocznego planowanego przestoju lub remontu instalacji. Główne przeglądy i konserwacje mogą być opisane jako "agregat pompowy nie jest naprawialny w miejscu zabudowy" zaś przeglądy wykonywane okresowo opisane są jako "agregat pompowy jest naprawialny w miejscu zabudowy".

## Analiza LCC dla Układów Pompowych

Całkowity koszt okresowego przeglądu i konserwacji jest wyznaczany przez pomnożenie kosztów każdego przeglądu przez wykonaną ich ilość w okresie pełnego cyklu życia pompy.

Chociaż niespodziewane awarie nie mogą być dokładnie przewidziane, to można je dokładnie statystycznie przybliżyć przez obliczenie średniego czasu pomiędzy awariami (MTBF = *mean time between failures*). MTBF może być oszacowany dla poszczególnych składników i w połączeniu dać wartość dla całej maszyny.

W ostateczności, można po prostu rozważać przypadki najlepszego i najgorszego scenariusza gdzie analizuje się najkrótsze i najdłuższe prawdopodobne życie urządzenia. W wielu przypadkach układów pompowych dostępne są dane historyczne.

Producent może zdefiniować i podać czas MTBF dla tych węzłów konstrukcyjnych, których awaria ma wpływ na wyłączenie pompy z ruchu lub wpływa na skrócenie zakładanego okresu pracy. Wartości czasu MTBF mogą pochodzić z wcześniejszych doświadczeń lub z analizy teoretycznej. Dotyczy to szczególnie uszczelnień, łożysk, wirników, pierścieni szczelinowych, sprzęgieł, silników napędowych i innych elementów istotnych dla układu pompowego. Wartości czasu MTBF można odnieść do całkowitego projektowanego czasu cyklu życia agregatu lub układu pompowego i na tej podstawie określić liczbę spodziewanych awarii.

Należy pamiętać, że proces jest zmienny i w praktyce niemal na pewno może zmienić się wartość MTBF dla układu pompowego i zainstalowanych w nim pomp. Jakakolwiek dostępna, historyczna informacja jest w tym przypadku bardziej korzystna niż teoretyczne informacje pochodzące od wytwórcy urządzeń. Koszt każdego zdarzenia i koszt całkowity dla niespodziewanych awarii może być oszacowany tym samym sposobem co koszt okresowych przeglądów i konserwacji.

## **C<sub>s</sub> - Koszt strat spowodowanych przestojem (awarią) urządzenia (instalacji)**

Koszt strat spowodowanych niespodziewanym przestojem (awarią) jest bardzo ważnym składnikiem w całkowitym koszcie LCC i może znacząco rywalizować z kosztem energii i kosztem części zamiennych. Tak więc, w projektowanym lub wyznaczonym okresie życia pompy i jej komponentów, mogą mieć miejsce sytuacje kiedy wystąpią niespodziewane awarie. W przypadkach gdzie koszty strat w produkcji spowodowane awarią są zbyt wysokie, zainstalowanie zapasowej pompy może ograniczyć ryzyko strat. Jeżeli zastosujemy zapasową pompę, to początkowy koszt inwestycji będzie wyższy ale koszt nieplanowanych prac serwisowych będzie zawierał tylko koszt naprawy uszkodzonej pompy.

Koszt strat spowodowanych awarią zależy od długości czasu przestoju i jest różny dla różnych przypadków.

## **C<sub>env</sub> - Koszt ochrony środowiska, z uwzględnieniem pozbycia się części i usunięcia zanieczyszczeń spowodowanych pompowaną cieczą**

Koszt usunięcia zanieczyszczeń w ciągu okresu życia układu pompowego zmienia się znacząco w zależności od charakteru pompowanego produktu. W pewnych wariantach można znacząco ograniczyć wartość zanieczyszczenia, ale zwykle pociąga to za sobą wzrost kosztów inwestycyjnych. Zanieczyszczenie środowiska może być spowodowane przez: wycieki wody chłodzącej, wycieki z dławnic, wycieki pompowanej cieczy agresywnej lub łatwopalnej, środki smarujące i zużyte części takie jak np. uszczelnienia. Koszty inspekcji ochrony środowiska powinny także zostać uwzględnione.

## **C<sub>d</sub> - Koszt demontażu i utylizacji urządzeń, oraz przywrócenia naturalnych warunków środowiska**

W ogromnej większości przypadków, koszt utylizacji układu pompowego będzie podobny dla różnych instalacji. Tak będzie dla cieczy nie agresywnych i w większości przypadków

## Zwięzłe streszczenie

także dla cieczy niebezpiecznych. Dla toksycznych, radioaktywnych lub innych niebezpiecznych cieczy prawo narzuca wymagania, które w wielkiej mierze będą takie same dla wszystkich projektowanych systemów. Różnice mogą wystąpić wtedy kiedy jeden z systemów ma ustalony sposób pozbywania się zanieczyszczeń w sposób częściowy (przykładowo pompa „higieniczna” zaprojektowana do czyszczenia w miejscu zainstalowania) a w innym tego się nie robi (przykładowo pompa „higieniczna” zaprojektowana tak aby ją usunąć przed jej oczyszczeniem). Podobne argumenty mogą być zastosowane do oceny kosztów przywracania lokalnych naturalnych warunków środowiska. Kiedy utylizacja jest bardzo kosztowna, analiza LCC staje się bardziej wrażliwa na okres użytecznego życia wyposażenia.

## Całkowity koszt cyklu życia

**Właściwy projekt układu pompowego z uwzględnieniem każdego ważnego pojedynczego elementu jest decydujący w zmniejszeniu kosztu LCC**

Szacunkowy koszt dla różnych składników mających wpływ na całkowity koszt cyklu życia wymaga zebrania informacji pozwalających dokonania porównań na etapie projektowania. Najwygodniej jest to zrobić przez tabelaryczne zestawienie parametrów identyfikujących każdy wariant i zadać pytanie co do przyjętej wartości cenowej. Tam gdzie wartość cenowa nie jest wprowadzona, konieczny jest wyjaśniający komentarz. Szacunkowe koszty mogą wtedy zostać zsumowane w celu wyznaczenia porównawczych wartości LCC i dodatkowo można dokonać wstępnej oceny nie jakościowych czynników.

W analizie LCC należy rozważyć także czynniki finansowe. Czynniki te są:

- aktualna cena energii elektrycznej
- spodziewany roczny wzrost ceny energii (inflacja) w ciągu czasu życia układu pompowego
- stopa dyskontowa
- stopa zysku
- spodziewany okres życia wyposażenia (w okresie obliczeniowym)

Dodatkowo, to użytkownik musi określić które koszty dołączyć: przeglądy i konserwacje, straty spowodowane przestojami, środowisko, utylizacja czy też inne istotne koszty.

## Projekt układu pompowego

**Przy rozwoju modelu układu pompowego, można łatwo rozważać układy alternatywne, ale model jako pierwszy musi potwierdzać pewność, że dokładnie odzwierciedla działanie układu pompowego**

Właściwy projekt układu pompowego z uwzględnieniem każdego ważnego pojedynczego elementu jest decydujący w zmniejszeniu kosztu LCC. Wszystkie układy pompowe są złożone z pomp, napędów, rurociągów, układów sterowania i każdy z tych składników jest rozważany indywidualnie. W projekcie rozważana jest zależność pomiędzy pompą a resztą układu pompowego poprzez obliczenia punktu(ów) pracy. Charakterystyka układu pompowego musi być obliczona tak aby na jej podstawie określić wymaganą charakterystykę pompy. Stosuje się to zarówno do prostych oraz do bardziej złożonych (rozgałęzionych) układów pompowych.

Koszty nabycia i koszty działania wyznaczają całkowity koszt układu pompowego w ciągu okresu jego życia. Liczba instalacji i koszt jej działania bezpośrednio zależy od średnicy rurociągu i pozostałych komponentów układu pompowego.

Znacząca wartość strat ciśnienia jest powodowana przez zawory, w szczególności przez zawory regulacyjne dławieniowe. W układach z wieloma pompami, obciążenie robocze jest dzielone pomiędzy pompami, które wspólnie i w połączeniu z układem rurociągów zapewniają wymaganą wydajność.

Średnica rurociągu jest dobierana w oparciu o uwzględnienie następujących czynników:

- ekonomiczności całej instalacji (pompy i układ pompowy)
- wymaganej minimalnej prędkości przepływu (np. w celu uniknięcia sedimentacji)
- wymaganej minimalnej średnicy wewnętrznej dla zastosowania (np. hydrotransport ciał stałych)

## Analiza LCC dla Układów Pompowych

- maksymalna prędkość przepływu taka aby erozja w rurociągu i armaturze była minimalna
- standardowe średnice rur

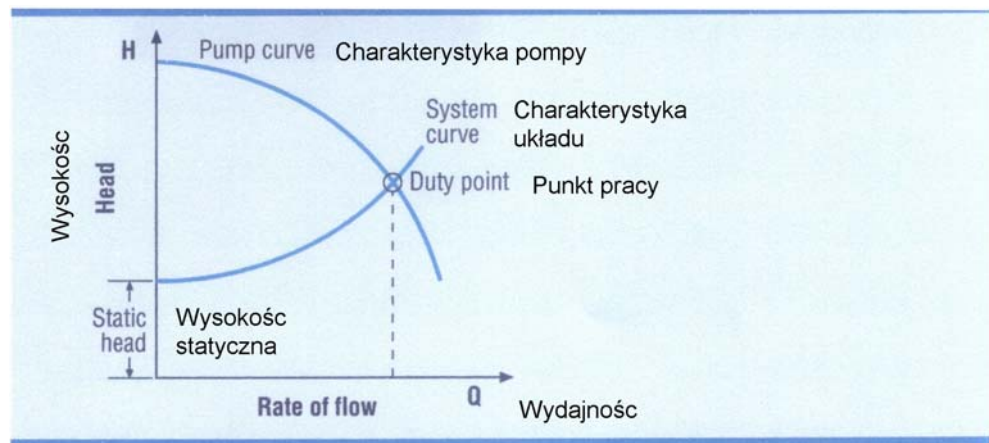
Zmniejszenie średnicy rurociągu daje następujący efekt:

- Obniżenie kosztów zakupu i montażu rurociągów i komponentów towarzyszących.
- Wyższy koszt zakupu i instalacji agregatu pompowego w konsekwencji wzrostu wysokości podnoszenia i wielkości silnika w wyniku wzrostu strat przepływu. Koszt układu zasilania energią elektryczną również wzrośnie.
- Koszty działania także wzrosną w wyniku wyższego zużycia energii z powodu wyższych oporów przepływu.

Ze wzrostem średnicy rurociągu pewne składniki kosztów wzrosną a pewne ulegną obniżeniu. Dlatego też, optymalna wielkość średnicy rurociągu powinna być znaleziona w oparciu o minimalizację kosztów w ciągu okresu życia układu.

Punkt pracy pompy jest określany jako punkt przecięcia charakterystyki instalacji i charakterystyki pompy, tak jak pokazuje to rysunek 1.

Rysunek 1.  
Punkt pracy jest punktem przecięcia charakterystyk pompy i instalacji



W zastosowaniach praktycznych, pompa może działać w wielu punktach pracy, z których największa wydajność i/lub wysokość podnoszenia wyznacza obszar pracy pompy.

Użytkownik musi uważnie rozważyć okres pracy pompy dla indywidualnych punktów pracy i właściwie określić liczbę pomp w układzie oraz dobrać sposób sterowania.

Aktualnie dostępna jest duża liczba programów dzięki którym można obliczyć straty przepływu i wyznaczyć charakterystykę układu pompowego. Wielu producentów pomp zaleca oprogramowanie najbardziej odpowiednie dla określonego zastosowania. Różne programy mogą używać różnych metod obliczania strat i mogą dawać nieznacznie różne wyniki. Bardzo często takie oprogramowanie jest dołączone do programu doboru pomp poszczególnego producenta.

## Metody analizy istniejących układów pompowych

Następujące kroki dostarczają wskazówek jak ulepszyć istniejący układ pompowy.

- Gromadzić kompletną dokumentację inwentaryzującą szczegóły układu pompowego.
- Określić zakres wydajności wymaganych dla każdego pompowanego czynnika.
- Zbilansować układ dla wymaganych wydajności dla każdego pompowanego czynnika.
- Zmniejszyć straty przepływu dla wymaganego zbilansowanego zakresu wydajności.
- Dokonać wymiany pompy w celu zmniejszenia nadmiernej wysokości podnoszenia przy zachowaniu zbilansowanej wydajności.
- Zidentyfikować pompy o wysokich kosztach przeglądów i konserwacji.

## Zwięzłe streszczenie

Analiza istniejącego układu pompowego może być wykonana dwoma metodami. Jedna obejmuje diagnozę faktycznego działania układu pompowego, a druga obejmuje szczegóły charakterystyk obliczone techniką analityczną. Pierwsza metoda polega na obserwacji i diagnozie działania układu pompowego (ciśnienie, różnice ciśnień i zakres wydajności), druga metoda wiąże się z tworzeniem dokładnego modelu matematycznego układu pompowego i obliczaniem ciśnień i wydajności w granicach tego modelu.

Obserwacja działania układu pompowego pozwala na stwierdzenie jak faktycznie działa instalacja, ale wymagania co do działania układu ogranicza ilość eksperymentów na jakie pozwala zarządca instalacji. Przy rozwoju modelu układu pompowego, można łatwo rozważać układy alternatywne, ale model jako pierwszy musi potwierdzać pewność, że dokładnie odzwierciedla działanie układu pompowego. Nie zważając na użytą metodę, cel jaki chcemy uzyskać to jasny obraz jak działają różne części układu pompowego i poznanie gdzie należy dokonać poprawy dla zoptymalizowania układu.

Poniższa lista kontrolna przedstawia kilka użytecznych sposobów jak obniżyć koszt cyklu życia (LCC) układu pompowego.

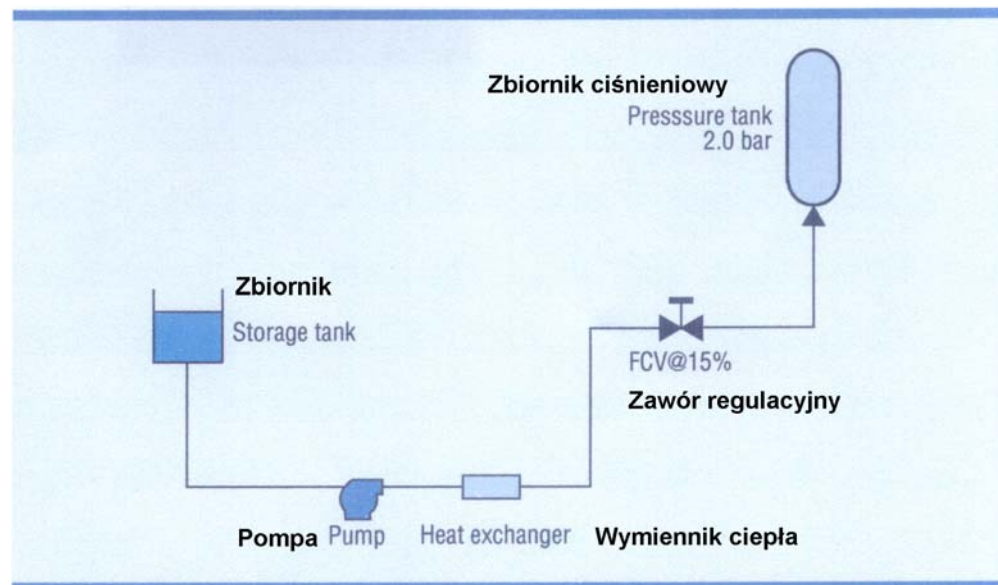
- Rozważyć wszelkie występujące koszty w celu określenia LCC
- Dopasować pompy i układ pompowy stosując analizę LCC
- Zoptymalizować całkowity koszt rozważając koszty nabycia i działania
- Porównanie okresu pracy w indywidualnym punkcie pracy
- Dopasować wyposażenie w celu maksymalizacji korzyści uzyskiwanych z układu
- Dopasować typ pompy do wymaganych parametrów pracy
- Nie przewymiarować pompy
- Dopasować napęd do wymaganych parametrów pracy
- Dobrane silniki muszą mieć wysoką sprawność
- Dopasować wyposażenie elektryczne do wymaganych parametrów pracy
- Ocenić efektywność układu pompowego
- Nadzorować oraz utrzymywać pompy i układ w celu maksymalizowania korzyści
- Rozważyć straty energii w wyniku używania zaworów dławiących
- Mądrze likwidować usługi pomocnicze
- Zoptymalizować zapobiegawcze przeglądy i konserwacje
- Utrzymywać poprawne luzy wewnętrzne pomp
- Postępować według dostępnych wskazówek dotyczących przeżyczeń silników
- Analizować istniejące układy pompowe pod kątem wprowadzenia zmian
- Używać niniejszego *Kompendium* jako źródła nowych pomysłów

## Przykład: Układ pompowy z problemem zaworu regulacyjnego

W tym przykładzie analiza LCC dotyczy układu pompowego regulowanego zaworem dławiącym. Układ składa się z pojedynczej pompy przetłaczającej ciecz zawierającą nieznaczną ilość ciał stałych ze zbiornika otwartego do zbiornika ciśnieniowego. Wymiennik ciepła ogrzewa pompowaną ciecz a zawór regulacyjny kontroluje dopływ do zbiornika ciśnieniowego w ilości 80 m<sup>3</sup>/h (350 galonów na minutę, [USgpm]).

Inżynier nadzorujący układ doświadcza problemów z zaworem regulacyjnym (FCV), który ulega awarii w wyniku erozji wywołanej kawitacją. Zawór ulega awarii co 10 ÷ 12 miesięcy i wymaga naprawy w kwocie 4.000 EUR (lub USD). Rozważana jest wymiana tego zaworu na zawór bardziej odporny na kawitację. Przed wymianą zaworu, inżynier projektant chciał poznać inne opcje i wykonał analizę LCC dla alternatywnych rozwiązań.

Rysunek 2. Szkic układu pompowego w którym zawodzi zawór regulacyjny



### Działanie układu

Pierwszy krok to określenie jak aktualnie działa układ i dlaczego zawór regulacyjny zawodzi, wtedy będzie wiadomo co można zrobić aby poprawić problem.

Zawór regulacyjny aktualnie działa z 15÷20% otwarciem i ze znacznym kawitacyjnym hałasem. Świadczy to o niewłaściwym doborze zaworu do tego zastosowania. Po przeanalizowaniu oryginalnych obliczeń projektowych, okazało się że pompa jest przewymiarowana: 110 m<sup>3</sup>/h (485 USgpm) zamiast 80 m<sup>3</sup>/h (350 USgpm), co powoduje konieczność większego dławienia przez zawór niż pierwotnie zamierzano.

W wyniku dużej różnicy ciśnienia w przyjętym zakresie wydajności oraz ze względu na fakt że zawór wykazuje uszkodzenia kawitacyjne w regularnych odstępach czasu, można stwierdzić, że jest on nie odpowiedni do tego procesu.

## Zwięzłe streszczenie

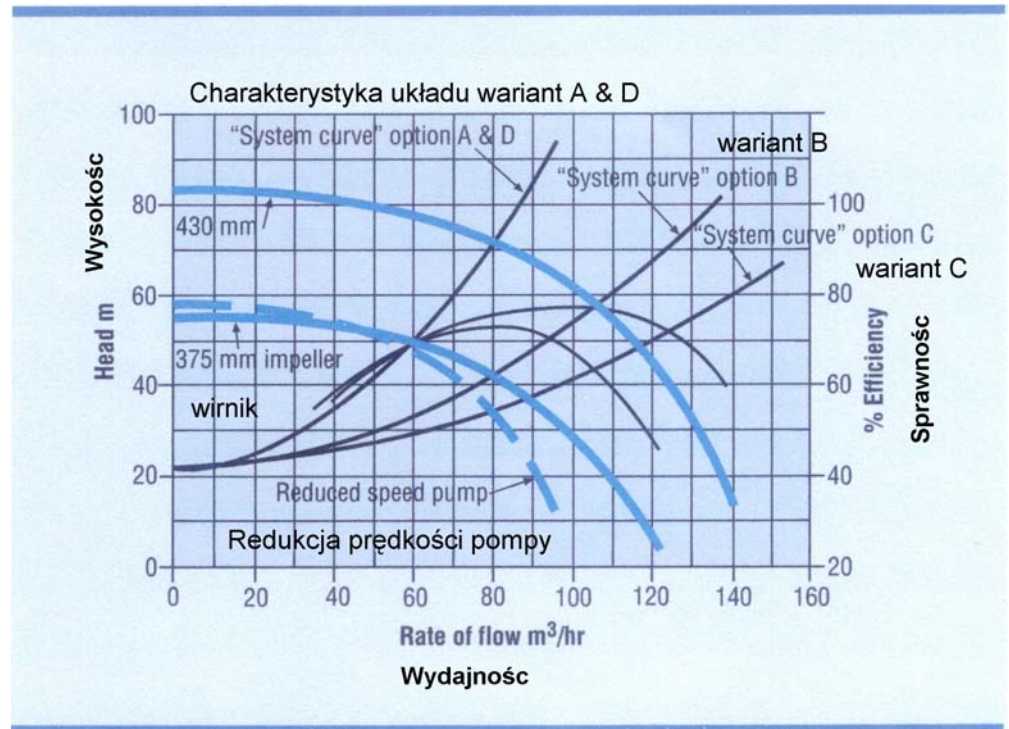
Sugerowane są cztery następujące warianty.

- Zastosowanie nowego zaworu regulacyjnego dostosowanego do wysokiej różnicy ciśnienia.
- Stoczenie średnicy wirnika tak aby pompa nie osiągała za dużej wysokości podnoszenia co w rezultacie da niższy spadek ciśnienia na istniejącym zaworze.
- Zastosowanie płynnej regulacji prędkości obrotowej (VFD) i usunięcie zaworu regulacyjnego. Napęd zmiennie obrotowy może zmieniać obroty pompy tak aby dopasować jej parametry do wymagań procesu.
- Układ pozostaje niezmienny, ze spodziewaną roczną naprawą zaworu.

Koszt nowego zaworu regulacyjnego jest oceniany na 5.000 EUR (lub USD). Koszt modyfikowania charakterystyki pompy przez stoczenie średnicy wirnika wyniesie 2.250 EUR (lub USD). Pompa pracuje przez 6000 godzin w roku z wydajnością 80 m<sup>3</sup>/h. Koszt jednostkowy energii to 0.08 EUR/kWh (lub USD/kWh) a sprawność silnika wynosi 90 %.

Porównanie kosztów dla rozważanych wariantów przedstawia Tabela 1.

Rysunek 3.  
Charakterystyki  
pompy i układu  
pokazujące działanie  
układu oryginalnego i  
układu po modyfikacji  
wirnika



## Analiza LCC dla Układów Pompowych

Tabela 1. Porównanie kosztów dla wariantów od A do D w układzie z zawodem regulacyjnym

Koszt	Wymiana zaworu regulacyjnego (A)	Stoczenie średnicy wirnika (B)	Napęd zmienny obrotowy VFD (C)	Naprawa zaworu regulacyjnego (D)
Składniki kosztów				
Średnica wirnika	430 mm	375 mm	430 mm	430 mm
Wysokość podnoszenia	71,7 m (235 ft)	42 m (138 ft)	34,5 m (113 ft)	71,7 m (235 ft)
Sprawność pompy	75,1 %	72,1 %	77 %	75,1 %
Wydajność	80 m <sup>3</sup> /h (350 USgpm)	80 m <sup>3</sup> /h (350 USgpm)	80 m <sup>3</sup> /h (350 USgpm)	80 m <sup>3</sup> /h (350 USgpm)
Pobór energii	23,1 kW	14,0 kW	11,6 kW	23,1 kW
Roczny koszt energii	11.088 EUR (USD)	6.720 EUR (USD)	5.568 EUR (USD)	11.088 EUR (USD)
Nowy zawór	5.000 EUR (USD)	0	0	0
Stoczenie wirnika	0	2.250 EUR (USD)	0	0
Napęd zmienny obrotowy (VFD)	0	0	20.000 EUR (USD)	0
Instalacja VFD	0	0	1.500 EUR (USD)	0
Naprawa zaworu 1 raz w roku	0	0	0	4.000 EUR (USD)

Po stoczeniu średnicy wirnika do 375 mm (Wariant B) całkowita wysokość podnoszenia pompy jest zmniejszona do 42 m (138 stóp) przy 80 m<sup>3</sup>/h. Ten spadek ciśnienia redukuje różnicę ciśnień na zaworze regulacyjnym do mniej niż 10 m (33 stopy) i lepiej dopasowuje zawór do oryginalnie zaprojektowanego punktu pracy. W rezultacie roczny koszt energii z mniejszym wirnikiem wynosi 6.720 EUR (lub USD). Uzyskuje się to za cenę 2.250 EUR (lub USD) na stoczenie średnicy wirnika. Zawiera ona koszt demontażu i ponownego montażu pompy.

Napęd zmienny obrotowy (VFD) o mocy 30 kW (Wariant C) kosztuje 20.000 EUR (lub USD) plus dodatkowe 1.500 EUR (lub USD) za jego instalację. Obsługa VFD kosztuje 500 EUR (lub USD) w każdym roku użytkowania. Przy założeniu, że w ciągu 8-mio letniego okresu użytkowania nie będzie on wymagał jakichkolwiek napraw.

Pozostawienie układu w niezmienionej postaci (Wariant D) da w rezultacie coroczny koszt napraw kawitującego zaworu w wysokości 4.000 EUR (lub USD).

## Założenia i koszt cyklu życia (LCC)

- Aktualna cena jednostkowa energii wynosi 0.08 EUR (lub USD) / kWh.
- Proces trwa 6000 godzin w roku.
- Roczny koszt okresowych przeglądów i konserwacji dla pomp tej wielkości wynosi 500 EUR (lub USD) w roku, koszt naprawy w wysokości 2.500 EUR (lub USD) co drugi rok.
- Nie uwzględnia się kosztów utylizacji i kosztów ochrony środowiska dla tego projektu.
- Projekt ma 8-letni okres życia.
- Stopa procentowa dla kapitału wynosi 8% a oczekiwany poziom inflacji wyniesie 4%.

Obliczone koszty LCC dla każdego wariantu są zestawione w Tabeli 2. Wariant B, stoczenie średnicy wirnika, ma najniższy koszt LCC i jest preferowaną opcją dla tego przykładu.

Zwięzłe streszczenie

Tabela 2. Porównanie kosztu LCC dla układu pompowego z problemem zaworu regulacyjnego

	Wariant A Wymiana zaworu regulacyjnego	Wariant B Stoczenie średnicy wirnika	Wariant C Napęd zmiennie obrotowy (VFD) bez zaworu regulacyjnego	Wariant D Naprawa zaworu regulacyjnego
<b>Dane wejściowe</b>				
Początkowy koszt inwestycji	5.000	2.250	21.500	0
Cena energii (obecna) [EUR/kWh]	0,08	0,08	0,08	0,08
Przeciętny pobór energii [kW]	23,1	14,0	11,6	23,1
Przeciętny czas pracy [godz/rok]	6.000	6.000	6.000	6.000
Roczny koszt energii (obliczony) = Cena jednostkowa energii x Przeciętny pobór energii x Przeciętny czas pracy	11.088	6.720	5.568	11.088
Koszt przeglądów i konserwacji (okresowych w roku)	500	500	1.000	500
Naprawy co drugi rok	2.500	2.500	2.500	2.500
Inne koszty roczne	0	0	0	4.000
Koszt przestoju w roku	0	0	0	0
Koszt ochrony środowiska	0	0	0	0
Koszt demontażu i utylizacji	0	0	0	0
Czas życia instalacji [w latach]	8	8	8	8
Stopa dyskonta [%]	8 %	8 %	8 %	8 %
Stopa inflacji [%]	4 %	4 %	4 %	4 %
<b>Dane wyjściowe</b>				
Aktualna wartość LCC	91.827	59.481	74.313	113.930

## Więcej informacji

W celu zamówienia książki „*Pump Life Cycle Cost. A Guide to LCC Analysis for Pumping System*” konieczny jest kontakt z Hydraulic Institute lub Europump.

### Hydraulic Institute

Hydraulic Institute (HI) został założony w 1917 roku, jest największym stowarzyszeniem producentów pomp i wiodących dostawców w Ameryce Północnej. HI służy personelowi producentów i użytkowników we wprowadzaniu standardów technicznych i w wymianie informacji. Od ponad 80 lat HI rozwija normalizację pomp. W celu uzyskania informacji odnośnie członkostwa, struktury organizacyjnej, świadczonych usług oraz zagadnień związanych z kosztem cyklu życia i energii, odwiedź stronę [www.pumps.org](http://www.pumps.org)

Hydraulic Institute  
9 Sylvan Way  
Parsippany, NJ 07054  
tel (001) 973-267-9700  
fax (001) 973-267-9055

### Europump

Europump został założony w 1960, działa jako rzecznik 15 narodowych stowarzyszeń producentów pomp w Europie i reprezentuje ponad 400 producentów. Europump wspiera i promuje europejski przemysł pompowy. W celu uzyskania informacji co do działalności Europump w zakresie zagadnień związanych z kosztem cyklu życia, napisz na adres email: [secretariat@europump.org](mailto:secretariat@europump.org). Informacje o Europump uzyskasz na stronie [www.europump.org](http://www.europump.org).

Europump  
Diamant Building, 5th Floor  
Blvd. A Reyers 80, B1030  
Bruksels, Belgium  
tel (0032) 2 706 82 30  
fax (0032) 2 706 82 50

### U.S. Department of Energy

Biuro Technologii Przemysłowych (OIT) Ministerstwa Energetyki Rządu USA, poprzez bezpośredni kontakt z firmami przemysłowymi i handlowymi, rozwija i dostarcza zaawansowane metody efektywności energetycznej, technologie energii odnawialnej i zapobiegania zanieczyszczeniu dla zastosowań przemysłowych. OIT zachęca w szerokim zakresie przemysł do wysiłków w celu podwyższenia produktywności poprzez stosowanie strategii Przemysł Przyszłości (IOF = Industries of the Future). IOF koncentruje uwagę na dziewięciu najbardziej energo- i surowcochłonnych dziedzinach przemysłu: rolnictwo, przetwórstwo aluminium, chemikalia, przeróbka drewna, hutnictwo szkła, odlewnictwo, górnictwo, przeróbka ropy naftowej i hutnictwo żelaza. Odwiedź [www.oit.doe.gov/bestpractices](http://www.oit.doe.gov/bestpractices) aby bardziej poznać program działania i świadczone usługi.

U.S. Department of Energy  
Office of Industrial Technologies  
1000 Independence Avenue, SW  
Waszyngton, DC 20585  
[clearinghouse@ee.doe.gov](mailto:clearinghouse@ee.doe.gov)  
(001) 1-800-862-2086

Odwiedź internetową stronę Hydraulic Institute  
[www.pumps.org](http://www.pumps.org)

Odwiedź internetową stronę Europump  
[www.europump.org](http://www.europump.org)

Odwiedź internetową stronę U.S. Department of Energy's Office of Industrial Technologies  
[www.oit.doe.gov](http://www.oit.doe.gov)



DOE/GO-102001-1190  
Styczeń 2001