

Analiza LCC (*Life Cycle Cost Analysis*) narzędziem wspomagającym ocenę projektów inwestycyjnych związanych z techniką pompową

mgr inż. Marek Świdorski
KSB Pompy i Armatura Spółka z o.o.
Warszawa
Oddział we Wrocławiu

IX FORUM UŻYTKOWNIKÓW POMP

Szczyrk
1 – 3 październik 2003

Zorganizowane przez
POMPY POMPOWNIE
Wrocław

Marek Świdorski

Analiza LCC (*Life Cycle Cost Analysis*) narzędziem wspomagającym ocenę projektów inwestycyjnych związanych z techniką pompową

Niniejsze opracowanie przedstawia początki i aktualny stan prac – prowadzonych głównie przez *Hydraulic Institute* we współpracy z *Europump* – nad wdrożeniem i szerokim upowszechnieniem analizy LCC w dziedzinie techniki pompowej. Ocenę skuteczności działania systemu pompowego w powiązaniu z uzyskiwaną wartością LCC. Wpływ niezawodności działania urządzeń – szczególnie pomp – na koszty ich użytkowania. Wybór najistotniejszych składników kosztów w zakładanym czasie życia instalacji pompowej. Wykorzystanie informacji uzyskanych poprzez analizę LCC do oceny projektu inwestycyjnego uwzględniającej jego bieżącą wartość netto (NPV). Szanse i zagrożenia związane z wykorzystaniem analizy LCC w warunkach polskich.

Działania prowadzone w obszarze konstrukcji i eksploatacji układów pompowych, maszyn i urządzeń w nich zastosowanych, mające na celu efektywny transport cieczy można określić mianem techniki pompowej.

Projekty inwestycyjne związane z techniką pompową mogą mieć różny charakter i zakres. Najczęściej mają charakter **odtworzeniowy** (celem jest zachowanie aktualnie prowadzonej działalności lub redukcja kosztów) lub **dostosowawczy** (celem jest dostosowanie się do zmieniających się norm prawnych i przepisów, np. w zakresie ochrony środowiska) [1].

Projekty odtworzeniowe mające na celu utrzymanie działalności można sklasyfikować jako:

- **wymiana**, czyli inwestycje które mają na celu zastąpienie starych maszyn i urządzeń nowymi
- **poprawa**, czyli remonty kapitalne odtwarzające pierwotny stan techniczny maszyn
- **dodanie**, czyli inwestycje zwiększające lub zabezpieczające możliwości produkcyjne układu pompowego

Projektami odtworzeniowymi mającymi na celu redukcję kosztów działalności można określić takie projekty, które polegają głównie na zastąpieniu użytkowanych przestarzałych maszyn i urządzeń nowymi o lepszych parametrach eksploatacyjnych w wyniku czego koszty ich użytkowania ulegną wyraźnemu obniżeniu.

Projekty dostosowawcze mogą ograniczać się do zmian w istniejących urządzeniach lub obejmować szeroki zakres działań (polegający np. na stworzeniu całkowicie nowego układu maszyn i urządzeń) tak, aby dostosować się do aktualnie obowiązujących norm prawnych. Oczywiście jest, że wymienione wyżej rodzaje projektów wzajemnie się przenikają (np. utrzymanie dotychczasowej działalności poprzez wymianę urządzeń może wiązać się z redukcją jej kosztów i dostosowaniem się do zmienionych norm prawnych).

Każdy projekt inwestycyjny wymaga oceny jego opłacalności. Aby tego dokonać należy rozważyć minimum dwa alternatywne warianty rozwiązania. Rozwiązania te z reguły będą się wzajemnie wykluczały, tzn. przyjęcie jednego z nich odrzuca możliwość przyjęcia pozostałych. Kluczowymi czynnikami całościowej oceny będą ponoszone koszty oraz spodziewane wpływy z tytułu użytkowania instalacji technicznej jaką jest układ pompowy. Nie bez znaczenia jest także stopa oprocentowania, stopa inflacji, amortyzacja urządzeń, wysokość podatków oraz spodziewany okres użytkowania instalacji. Odpowiednie zbilansowanie wszystkich wymienionych powyżej czynników metodą dyskontową pozwala określić bieżącą wartość netto (*Net Present Value*) projektu. Wariant projektu o najwyższej wartości NPV powinien zostać wybrany i wdrożony do realizacji [1, 2].

Jak wspomniano powyżej koszty stworzenia i użytkowania instalacji technicznej mogą mieć znaczący wpływ na wielkość bieżącej wartości netto. Dlatego też temu zagadnieniu poświęca się ogromną uwagę stosując różne metody oceny wielkości ponoszonych kosztów zarówno w fazie inwestycyjnej jak też fazie użytkowania projektu. Jedną z nich jest analiza kosztów cyklu życia LCC (*Life Cycle Cost Analysis*). Im niższa jest wartość LCC tym większa jest wartość bieżąca netto przez co maksymalizuje się wartość projektu i rośnie zadowolenie inwestora z osiągniętych zysków.

Analiza LCC jest narzędziem mającym wielonarodowe korzenie, jednak w obecnie stosowanej postaci wywodzi się z USA, kraju w którym praktycznie wykorzystuje się współzależność: czasu, pieniędzy oraz zróżnicowanych możliwości wyboru. LCC łączy w sobie ekonomiczne i techniczne aspekty ocenianego projektu w prognozowanym czasie jego trwania.

Możliwości jej zastosowania preferowane są szczególnie do [3]:

- oceny i porównania alternatywnych rozwiązań,
- ekonomicznej oceny wykonalności projektu,
- identyfikacji głównych nośników kosztów i ich efektywnej poprawy,
- oceny i porównania alternatywnych strategii eksploatacji i utrzymania ruchu urządzeń,
- oceny i porównania zróżnicowanych wariantów wymiany, odnowy lub likwidacji istniejących instalacji technicznych,
- długoterminowego planowania wydatków.

Celem niniejszego opracowania jest przedstawienie analizy LCC jako narzędzia wspomagającego szacowanie kosztów i umożliwiającego wybór najkorzystniejszego

kosztowo (tzn. o najmniejszej wartości kosztów) wariantu rozwiązania w ocenianym projekcie inwestycyjnym.

Aby jednak zagadnienie to było dobrze zrozumiane warto przedstawić kilka definicji pojęć jakimi posługuje się analiza LCC.

Cykl życia (Life cycle) - Okres czasu od momentu zrodzenia się idei do momentu zakończenia i likwidacji projektu.

Cykl życia dzieli się na kolejno następujące po sobie fazy:

- studia koncepcyjne
- projekt wstępny i sprawdzenie poprawności rozwiązania
- projekt wykonawczy
- inwestycja (wytworzenie urządzeń i budowa instalacji technicznej)
- eksploatacja i utrzymanie instalacji technicznej
- likwidacja instalacji technicznej

Rachunek kosztów cyklu życia (Life cycle costing) - Obliczenie przewidywanych kosztów w cyklu życia urządzenia.

Koszt cyklu życia (LCC) - Całkowity koszt poniesiony w całym cyklu życia instalacji.

$$LCC = IC + \sum_{j=1}^n COF_j \left(\frac{(1+p)}{(1+i)} \right)^j \rightarrow \min \quad (1)$$

IC – koszt zakupu i uruchomienia instalacji (*Initial Costs*)

COF – roczne koszty użytkowania instalacji (*Cost Out Flow*)

n – zakładana ilość lat użytkowania instalacji

j – kolejny rok użytkowania instalacji

p – stopa inflacji

i – nominalna stopa oprocentowania (dyskontowa)

Nośnik kosztów (Cost driver) - Element kosztów cyklu życia mający decydujące znaczenie na wartość LCC.

Profil kosztów (Cost profile) - Graficzne lub tabelaryczne przedstawienie rozkładu składników kosztów w cyklu życia.

Wartość bieżąca (Present Value) - Dzisiejsza wartość wydatków jakie poniesiemy w j-tym roku trwania projektu.

$$FV = PV * (1+k)^j \Rightarrow PV = FV / (1+k)^j \quad (2)$$

FV – przyszła wartość (Future Value)

PV – wartość bieżąca

j – kolejny rok użytkowania instalacji

k – realna stopa oprocentowania (dyskontowa)

Równanie (2) pozwala odpowiedzieć na dwa pytania:

1. Jaka jest bieżąca wartość (PV) 1 złotówki wydatkowanej w j-tym roku ?
2. Jaka będzie przyszła wartość (FV) 1 złotówki w j-tym roku ?

Odpowiedzi na te pytania znajdują się w Tabeli 1.

Tabela 1. Wartość bieżąca i przyszła pieniądza

Realna stopa oprocentowania 4,95%											
Kolejny rok	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Bieżąca wartość (PV) 1 złotówki	1,00	0,95	0,91	0,87	0,82	0,79	0,75	0,71	0,68	0,65	0,62
Przyszła wartość (FV) 1 złotówki	1,00	1,05	1,10	1,16	1,21	1,27	1,34	1,40	1,47	1,54	1,62

Bieżąca wartość netto (Net Present Value) – Różnica pomiędzy wartością bieżącą przyszłych strumieni pieniężnych (obliczonych przy użyciu odpowiedniej stopy dyskonta) i kosztem początkowym projektu.

$$NPV = \sum_{j=1}^n \frac{CF_j}{(1+k)^j} - IC > 0 \quad (3)$$

IC – koszt zakupu i uruchomienia projektu

CF – roczne strumienie pieniężne netto związane z funkcjonowaniem projektu (*Cash Flow*)

n – zakładana ilość lat trwania projektu

j – kolejny rok trwania projektu

k – realna stopa oprocentowania (dyskontowa)

Pierwszy człon równania (2) wyznacza wartość projektu w zakładanej ilości lat jego trwania.

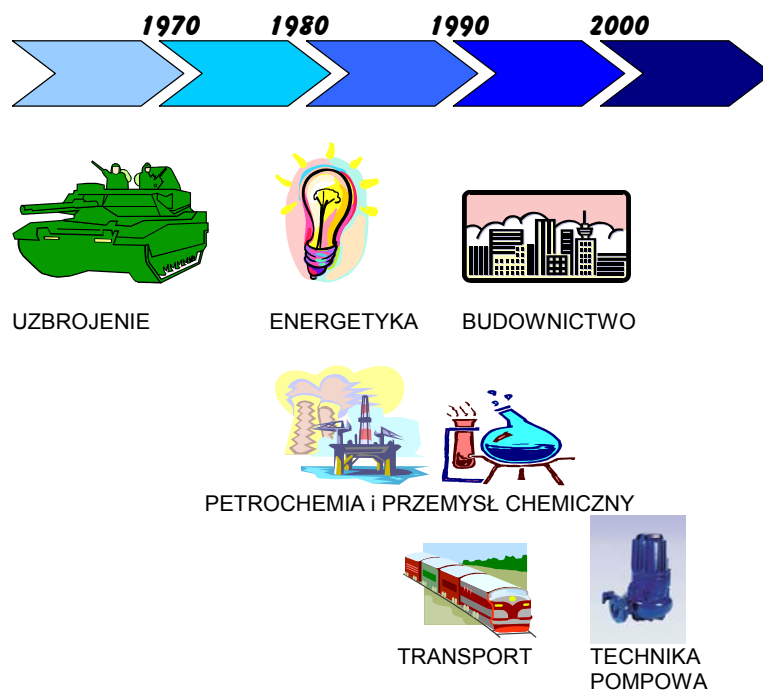
Koszt LCC jest jednym ze składników rocznych strumieni pieniężnych (strumienie pieniężne traktowane są jako wpływy i wydatki). W NPV uwzględniona jest wartość pieniądza w czasie.

Początki usystematyzowanej analizy LCC sięgają wczesnych lat sześćdziesiątych XX wieku.

Pierwsze zastosowania miały miejsce w ocenie kosztów zakupu i użytkowania systemów uzbrojenia wprowadzanych na potrzeby armii USA. W kolejnych latach jej możliwościami zainteresowała się energetyka, przemysł, budownictwo, transport i technika pompowa (rys.1).

W każdej z wymienionych dziedzin techniki występuje zróżnicowana ilość składników kosztów, jednakże procedury postępowania przy wykonywaniu analizy są podobne.

Procedury wykonania analizy LCC opisane są w licznych opracowaniach oraz normach [3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14]. W Tabeli 2 przedstawiona jest jedna ze stosowanych procedur [4, 9, 10].



Rys.1 Historia wprowadzania analizy LCC na użytek poszczególnych dziedzin techniki

Analiza LCC umożliwia zarządzającemu projektem znalezienie kompromisu pomiędzy oczekiwaniami jego realizatorów którzy kierują się różnymi kryteriami:

- Projektant kieruje się wymogami minimalizacji kosztów inwestycyjnych. Często więc pomija dodatkowe wyposażenie i oprzyrządowanie którego obecność zwiększa walory użytkowe instalacji.
- Dział zakupów interesują wyłącznie najniższe ceny nabycia urządzeń a użytkowanie nie ma dla niego większego znaczenia.
- Utrzymanie ruchu wymaga minimalizacji czasu obsługi i napraw. Żąda więc urządzeń o prostej konstrukcji lecz o wysokiej niezawodności i szybkiego dostępu do części zapasowych co w konsekwencji powoduje wzrost kosztów inwestycyjnych ale zmniejsza koszty użytkowania.
- Produkcja wymaga maksymalnego czasu działania z najwyższymi parametrami. Żąda więc urządzeń odpornych na zużycie i dopasowanych do wymagań procesu technologicznego.
- Niezawodność wymaga minimalizacji liczby awarii urządzeń a więc oczekuje urządzeń o wysokiej niezawodności z systemami monitorowania ich stanu.
- Księgowość wymaga maksymalizacji bieżącej wartości netto (NPV) przedsięwzięcia a więc żąda minimalizacji wszelkich kosztów.
- Akcjonariusze wymagają wzrostu wartości swoich akcji a więc wszyscy pozostali uczestnicy procesu muszą to uwzględnić w swoich działaniach.

Zróżnicowane podejście realizatorów projektu do kosztów wymaga więc ich wspólnego działania przy opracowaniu analizy LCC.

Tabela 2. Procedura postępowania dla analizy LCC

Krok	Zadanie	Sugerowane postępowanie
1	Zdefiniuj problem wymagający analizy LCC	Zidentyfikuj co będzie analizowane oraz określ czas trwania projektu wraz z odpowiednimi kryteriami finansowymi.
2	Zalóż alternatywne warianty rozwiązania z określeniem przewidywanych kosztów nabycia i utrzymania	W zakładanych wariantach skoncentruj się na cechach technicznych i ich wpływie na konsekwencje ekonomiczne aby znaleźć alternatywne rozwiązania.
3	Przygotuj strukturę kosztów	Opracuj szczegółowy plan kosztów dla każdego wariantu i roku zgodnie z przyjętą strukturą.
4	Wybierz analityczny model kosztów	Wybierz odpowiedni model liczenia kosztów, możliwie najprostszy (uproszczony z kilkoma zmiennymi co do napraw i wymiany ; złożony z losową liczbą zmiennych) w zależności od złożoności projektu.
5	Zgromadź szacunkowe koszty	Uzyskaj maksymalną liczbę szczegółowych kosztów stałych i zmiennych dla każdego wariantu. Oszacuj przewidywane koszty zdarzeń losowych.
6	Utwórz profil kosztów dla każdego rozważanego roku	Oblicz i przedstaw roczne profile kosztów dla każdego wariantu. Porównaj uzyskane wyniki.
7	Opracuj wykresy porównawcze skumulowanej wartości bieżącej rozważanych wariantów projektu w czasie (analiza punktu krytycznego)	Porównaj na wykresie czas po którym rozważane względem siebie warianty zaczynają dawać większe korzyści (niższe koszty).
8	Opracuj wykresy porównawcze nośników kosztów dla każdego wariantu	Uszereguj każdy wykres według nośników kosztów od najmniejszej do największej wartości. Przeanalizuj wykresy dla każdego wariantu i określ główne nośniki kosztów.
9	Analiza wrażliwości wysokich kosztów i ich przyczyn	Rozważając główne nośniki kosztów dla każdego wariantu, przeanalizuj przyczyny powodujące powstawanie wysokich kosztów. Sprawdź co będzie jeśli ustalone przyczyny ulegną zmianie.
10	Rozważ ryzyko związane z wysokimi kosztami i ich występowaniem	Przeanalizuj ryzyko związane z możliwymi błędami alternatywnych wariantów dla głównych nośników kosztów. Jeśli uznasz, że należy rozważyć wszystko ponownie wróć do kroku 2 lub 3 lub 4 lub 5 i powtórz analizę.
11	Wybierz preferowane rozwiązanie	Wybierz najkorzystniejszy wariant rozwiązania i przygotuj obronę swojej decyzji.

Ogólna definicja kosztów cyklu życia jest jednoznaczna:

Koszt cyklu życia jest sumarycznym kosztem: opracowania projektu technicznego, zakupu, montażu i uruchomienia, eksploatacji, bieżącej obsługi i napraw, strat spowodowanych awarią oraz likwidacji instalacji technicznej (maszyny) w przewidywanym okresie jej czasu życia

Inaczej mówiąc, LCC dla instalacji technicznej lub jej jakiegokolwiek składnika obejmuje całkowity koszt „życia” od momentu stworzenia idei jej rozwiązania poprzez projekt techniczny, zakup, zainstalowanie, eksploatację, obsługę aż do utylizacji. Określając LCC identyfikuje się wszystkie składniki kosztów jakie mogą pojawić się w trakcie cyklu życia. Analizę LCC można określić jako narzędzie umożliwiające porównanie i wybór pomiędzy możliwymi do zastosowania alternatywnymi wariantami projektu. Analiza LCC pokazuje najbardziej efektywne pod względem kosztów rozwiązanie w obszarze dostępnych danych. Jej zastosowanie pozwala w szczególności na znalezienie odpowiedzi na następujące pytania:

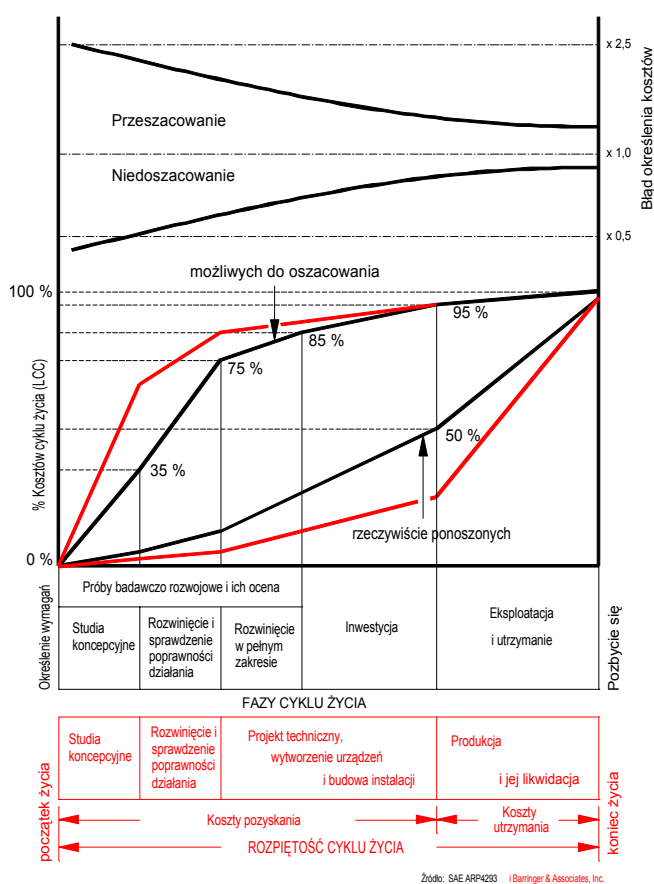
- Jakiej wartości kosztów należy oczekiwać poza ceną zakupu urządzeń w skali zakładanego okresu użytkowania instalacji ?
- Który z alternatywnych wariantów projektu jest najkorzystniejszy pod względem całkowitych kosztów ?

Stosując analizę LCC należy liczyć się także z jej pewnymi ograniczeniami, takimi jak [10]:

- Analiza LCC nie jest dyscypliną naukową, daje różne odpowiedzi, ani dobre ani złe – tylko rozsądne lub nierozsądne.
- Wyniki LCC są tylko szacunkowe i nigdy nie są bardziej dokładne niż dane wykorzystane do ich opracowania.
- Wynikom LCC brak dokładności. Błędy są trudne o zmierzenia, a jako zmienne uzyskiwane metodami statystycznymi bywają zbyt duże.
- Model LCC działa w obszarze ograniczonych danych a koszt ich pozyskania bywa wysoki
- Model kosztów analizy LCC musi być wzorcowany aby być użytecznym.
- Model LCC wymaga dużej liczby danych rzadko dostępnych a dostępne dane bywają wątpliwe.
- Model LCC wymaga stworzenia scenariusza wydatków. Jakie wydatki będą ponoszone w fazach początkowych cyklu życia a jakie w fazach późniejszych, w każdym kolejnym roku trwania projektu
- Model LCC dla użytkownika i dostawcy jest różny jeśli użyją odmiennych wartości w swoich modelach. Często jest to przyczyną nieporozumień.

- Wyniki LCC nie są dobrym materiałem do tworzenia budżetu kosztów. Są tylko dobrym materiałem porównawczym, zaś uzyskanie dobrych wyników LCC wymaga specjalistycznych analiz i ekspertyz.
- Analiza LCC powinna być integralną częścią procesu projektowego celem uzyskania minimalnych długoterminowych kosztów ponoszonych przez właściciela instalacji. To użytkownik a nie dostawca urządzeń powinien być szczególnie zainteresowany analizą LCC.

Niepewność obliczeń LCC uzależniona jest od fazy cyklu życia w której są wykonywane. Obrazowo jest to przedstawione na rysunku 2 [10, 14].



Im późniejsza faza cyklu życia tym przeszacowanie lub niedoszacowanie wartości kosztów LCC jest mniejsze. Pokazana na rysunku wyżej leżąca linia kosztów możliwych do oszacowania w kolejnych fazach cyklu życia odpowiada instalacjom technicznym takim jak np. układy pompowe (linia niżej leżąca odpowiada projektom stosowanym w technice astronautycznej). Linia rzeczywiście ponoszonych kosztów w instalacjach technicznych jest niżej położona.

Rys. 2 Niepewność obliczeń LCC a fazy cyklu życia

ANALIZA LCC W TECHNICIE POMPOWEJ

Początki analizy LCC w technice pompowej sięgają lat 90-tych XX wieku. Wówczas Departament Energetyki Rządu USA realizując program modernizacji napędów elektrycznych (*Motor Challenge Program*) zaprosił w 1994 roku do współpracy nad nim **Hydraulic Institute**. Wybór był nie przypadkowy jeśli weźmie się pod uwagę fakt że blisko

40% silników elektrycznych używanych w gospodarce USA służy do napędu pomp. Innym ważnym powodem były Traktaty z Rio (1992) i Kyoto (1997) dotyczące ograniczenia emisji CO₂ i oszczędzania energii elektrycznej oraz powstały na podstawie ich ustaleń Federalny Program Zarządzania Energią (*US Federal Energy Management Program*).

Podobne działania podjęte zostały w krajach Unii Europejskiej gdzie **Europump** od 1996 roku realizuje program oszczędnego gospodarowania energią (*ENERSAVE*) w układach pompowych, w których podobnie jak w USA jest wykorzystywana prawie jedna trzecia ogólnej liczby silników elektrycznych.

Połączenie w 1998 roku wysiłku obu organizacji nad doprowadzeniem do minimalizacji zużycia i kosztów energii doprowadziło do utworzenia wspólnej komisji do prac nad wdrożeniem analizy LCC w technice pompowej. W skład komisji weszli także przedstawiciele największych producentów pomp (*ABS, Grundfos, IDP, ITT Flygt, KSB, STERLING, WILO*) [15]. Prace komisji uwieńczono opracowaniem i wydaniem drukiem w 2001 roku książkowego przewodnika po analizie LCC w układach pompowych [16]. Aktualne cele działania komisji to:

- Promocja analizy LCC wśród użytkowników, inwestorów, projektantów układów pompowych i producentów pomp
- Wiodąca rola w upowszechnianiu i wdrażaniu analizy LCC oraz przygotowanie odpowiednich materiałów szkoleniowych [17]
- Współpraca z EUROPUMP nad dalszym rozwojem programu *ENERSAVE*
- Współpraca z Departamentem Energetyki Rządu USA nad rozwojem programu modernizacji układów pompowych (*US Pump Systems Challenge*)

Zainteresowanie analizą LCC w technice pompowej jest zrozumiałe jeśli uwzględnimy następujące fakty:

- 70% ogólnej liczby użytkowanych silników elektrycznych napędza pompy, sprężarki i wentylatory
- 20% produkowanej energii elektrycznej jest zużywane w napędach pomp
- 30 – 50% energii elektrycznej może zostać zaoszczędzone poprzez wprowadzenie zmian w istniejących układach pompowych
- Łączny koszt: energii elektrycznej pobieranej przez urządzenia układu pompowego, ich eksploatacji oraz planowanej obsługi i naprawy w zakładanym czasie użytkowania jest od 10 do 20 razy wyższy niż koszt zakupu urządzeń

- Koszty przestoju spowodowanych awarią urządzeń o niskiej niezawodności mogą w pewnych przypadkach znacząco przekroczyć koszty zakupu wyposażenia

Definicja LCC dla techniki pompowej została zaproponowana przez Hydraulic Institute [16] w następującej zwięzłej formie: „**Calkowity koszt posiadania układu pompowego**”. Inną definicję proponuje ITT Industries [27]: „**Narzędzie wspomagające wybór optymalnego rozwiązania tworzącego ekonomiczną i przyjazną otoczeniu wartość w całkowitym cyklu życia instalacji pompowej**”.

Działania komisji LCC działającej w Hydraulic Institute doprowadziły do stworzenia modelu kosztów wyrażonego następującą formułą [16, 17]:

$$LCC = C_{ic} + C_{in} + C_e + C_o + C_m + C_s + C_{env} + C_d \quad (4)$$

C_{ic} = koszt początkowy inwestycji

C_{in} = koszt montażu i rozruchu

C_e = koszt energii

C_o = koszt eksploatacji

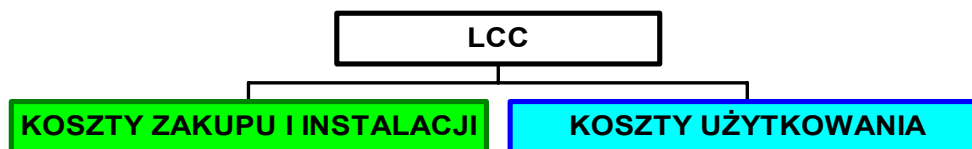
C_m = koszt obsługi i napraw

C_s = koszt strat w produkcji spowodowanych przestojami

C_{env} = koszt ochrony środowiska

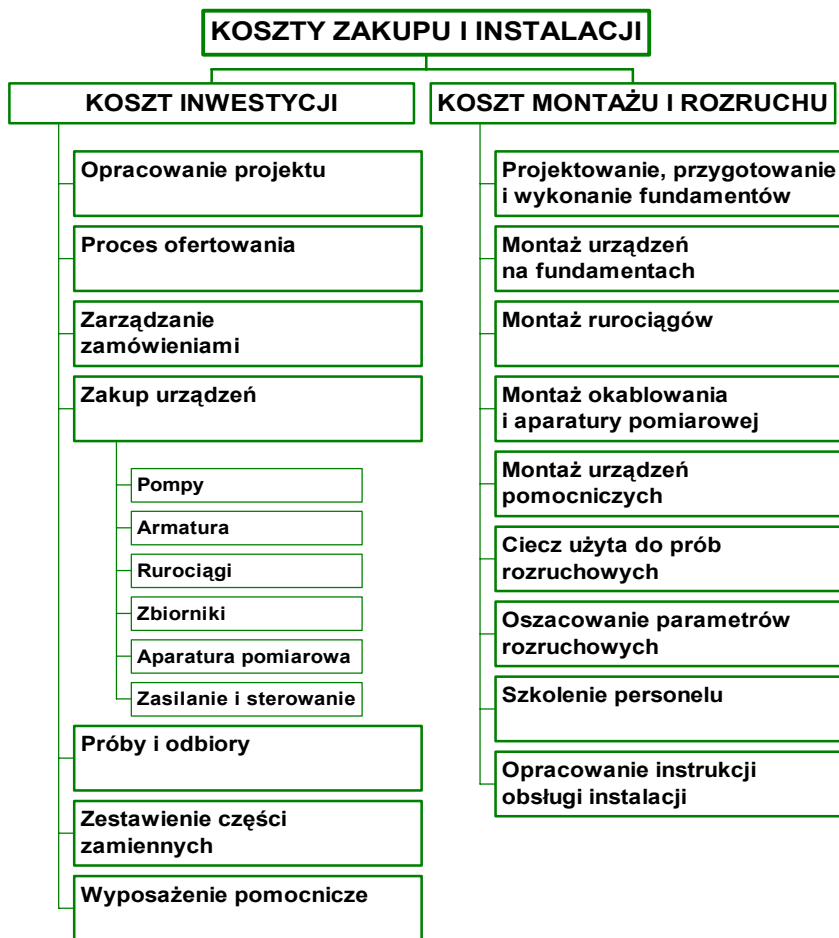
C_d = koszt demontażu i utylizacji urządzeń

Poszczególne składniki równania (4) szczegółowo opisane w [16] można ująć w dwóch grupach kosztów: koszty zakupu i instalacji (wszystkie koszty poniesione w celu nabycia i uruchomienia projektu) oraz koszty użytkowania (wszystkie koszty ponoszone na utrzymanie i użytkowanie projektu). Zestawienie obu grup kosztów pokazują rysunki 3, 4 i 5.



Rys. 3 Podstawowa struktura kosztów

Wykonując analizę LCC należy uwzględnić możliwie wszystkie składniki kosztów (gdy analizuje się całkowicie nowy układ pompowy) lub tylko taką ich część która będzie miała istotne znaczenie (gdy analizuje się istniejący układ, w którym rozważane jest wprowadzanie zmian).



Rys. 4 Struktura kosztów nabycia projektu

Nie należy jednak dążyć do perfekcjonizmu w celu identyfikacji wszystkich składników kosztów [18]. Poza znajomością kosztów zakupu urządzeń (najczęściej będących jedynym czynnikiem decydującym o wyborze urządzeń) konieczne jest zidentyfikowanie głównych nośników kosztów które będą dominowały w okresie ich użytkowania. Oczywiście jest że nie w każdym przypadku te same składniki kosztów będą miały decydujące znaczenie. Inaczej będzie w instalacji tryskaczowej gdzie decydującymi składnikami kosztów będą koszty zakupu, zainstalowania i uruchomienia a inaczej będzie w instalacji zasilania wodą basenu gdzie poza kosztami inwestycyjnymi będą dominowały koszty energii elektrycznej [18].

Głównymi nośnikami kosztów w układach pompowych są:

1. **Koszty energii elektrycznej** – decydujące znaczenie w przypadku pomp pracujących ciągle (ponad 4000 godzin rocznie). W celu redukcji kosztów wymagane jest zastosowanie urządzeń (głównie pomp) o wysokiej sprawności.



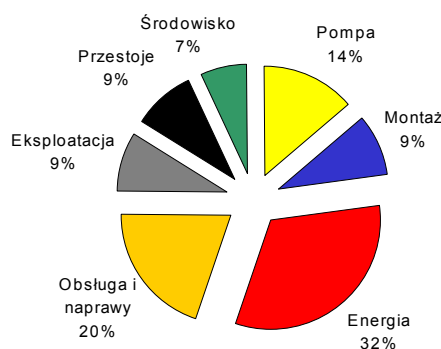
Rys. 5 Struktura kosztów użytkowania projektu

2. **Koszty obsługi i napraw** – decydujące znaczenie w przypadku pomp wymagających częstych przeglądów i planowanych napraw. Dla ich redukcji wymagane jest zastosowanie pomp (oraz innych urządzeń) o odpowiedniej konstrukcji i wykonaniu materiałowym oraz zapewnienie łatwego dostępu do części zamiennych.
3. **Koszty strat spowodowanych nieprzewidzianą awarią** – decydujące znaczenie w przypadku pomp pracujących w instalacjach o dużym znaczeniu dla zapewnienia wielkości i ciągłości produkcji. Dla ich obniżenia wymagane jest zastosowanie urządzeń (głównie pomp) o wysokiej niezawodności. Celowe jest także zastosowanie rezerwowych urządzeń (zainstalowanych w układzie pompowym lub magazynowanych).

Analizując główne nośniki kosztów należy zbilansować koszty ich minimalizacji, pamiętając o tym, że im bardziej zaawansowane technicznie i technologicznie rozwiązanie, tym wyższe koszty inwestycyjne ale tym mniejsze koszty użytkowania.

W dążeniu do minimalizacji kosztów użytkowania należy także pamiętać o niedostrzeganych kosztach poprawnej instalacji urządzeń [20]. Zły lub niewłaściwie wykonany montaż (ale za to niskim kosztem) w konsekwencji zwiększa koszty użytkowania (większa możliwość wystąpienia awarii z jej skutkami kosztowymi).

Typowy udział składników kosztów LCC dla średniej wielkości pompy przemysłowej pokazuje rysunek 6 [19].



Rys. 6 Udział składników kosztów LCC

Zgromadzenie składników kosztów dla rozważanych alternatyw pozwala na wykonanie obliczeń LCC za pomocą formuły (1). Obliczenia przeprowadza się dla założonego okresu czasu funkcjonowania instalacji i parametrów określających wartość pieniądza (stopa procentowa i stopa inflacji). Stopa inflacji jest zwykle znana i podawana w komunikatach GUS. Stopa procentowa powinna być przyjmowana na poziomie nie niższym niż nominalna stopa oprocentowania podawana przez bank obsługujący użytkownika instalacji. Czas

funkcjonowania instalacji jest różny w zależności od jej typu i przeznaczenia. Często, jako miarodajny przyjmuje się czas 20 lat [16, 21, 22, 23]. Dla każdego przypadku czas jest indywidualnie określany, należy jednak pamiętać aby każdy rozpatrywany alternatywny wariant miał ten sam czas trwania.

Znajomość kosztów LCC pozwala na wprowadzenie ich wartości do równania (3) pozwalającego obliczyć bieżącą wartość netto. Należy pamiętać o tym, że koszty LCC są traktowane jako ujemne strumienie pieniężne.

Wyznaczenie wartości LCC dla alternatywnych wariantów rozwiązania i wskazanie najniższej wartości LCC nie kończy jeszcze procesu wyboru optymalnego rozwiązania. Poza czynnikiem kosztowym należy rozważyć także skuteczność działania (*Effectiveness*) rozważanych alternatyw [26]. Aby to wykonać należy wyznaczyć wartości (w przedziale od 0 do 1) gotowości do działania układu pompowego (*Availability*), jego niezawodność (*Reliability*), łatwość obsługi i napraw (*Maintainability*) oraz zdolności wytwarzania (*Capability*). Równanie skuteczności działania ma różną postać. Najczęściej występuje w postaci zaproponowanej przez Bergera [10, 26].

$$\text{Effectiveness} = \text{Availability} * \text{Reliability} * \text{Maintainability} * \text{Capability} \quad (5)$$

*Skuteczność działania = Dyspozycyjność (gotowość do działania) * Niezawodność (działanie bez uszkodzeń w długim czasie) * Naprawialność (łatwość napraw i obsługi w krótkim czasie) * Zdolność wytwarzania zgodnie z określonymi standardami*

Krótkie przybliżenie wymienionych składników równania skuteczności działania (5).

Gotowość do działania, dyspozycyjność (*Availability*) - Gotowość urządzenia do wykonania określonych funkcji w możliwie najdłuższym okresie czasu. Definiowana jest następująco:

$$\text{Dyspozycyjność} = \frac{\text{czas działania}}{\text{czas działania} + \text{czas przestoju awaryjnego}}$$

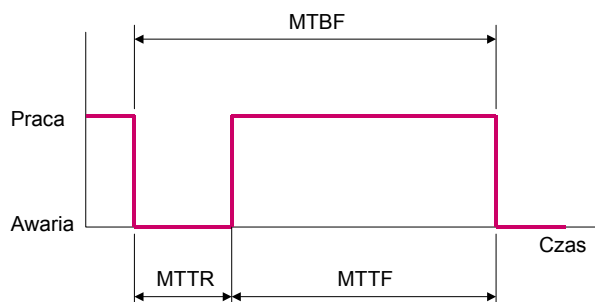
Niezawodność (*Reliability*) - Prawdopodobieństwo bezawaryjnego działania urządzenia w założonym okresie czasu. W najprostszym przypadku rozważany jest logarytmiczny rozkład prawdopodobieństwa.

$$R(t) = \exp\left(\frac{-t}{MTBF}\right) \quad (6)$$

t – rozpatrywany okres czasu (np. jeden rok)

MTBF – Mean Time Between Failure (przeciętny czas pomiędzy awariami)

Przeciętny czas pomiędzy awariami (MTBF = Mean Time Between Failure) – średni czas pomiędzy awariami w czasie fazy eksploatacji i utrzymania instalacji



Rys. 7 Czasy operacyjne w fazie cyklu życia

MTTR – Mean Time To Repair (przeciętny czas naprawy)

MTTF – Mean Time To Failure (przeciętny czas do awarii)

Poprawa niezawodności działania urządzeń zainstalowanych w układzie pompowym ma znaczący wpływ na uzyskiwaną wartość LCC.

- Im wyższa jest niezawodność tym koszty nieprzewidzianych napraw i strat w produkcji są mniejsze.
- Większa niezawodność to dłuższe czasy pomiędzy naprawami wymuszonymi awarią (MTBF).
- Czas MTBF jest możliwy do określenia na podstawie doświadczeń producenta i użytkownika urządzeń (np. dla pomp wykonanych według amerykańskiego standardu ANSI wynosi on 18 miesięcy [22]). Można go też prognozować wykorzystując statystyczny rozkład Weibulla i metodę Monte Carlo oraz odpowiednie oprogramowanie komputerowe [24, 25] (ze względu na brak miejsca wyjaśnienie tego zagadnienie zostało tutaj pominięte).

Łatwość obsługi i napraw (Maintainability) - Prawdopodobieństwo szybkiego i sprawnego prowadzenia obsługi i napraw urządzenia zgodnie z określonymi procedurami w założonym okresie czasu. W najprostszym przypadku rozważany jest logarytmiczny rozkład prawdopodobieństwa.

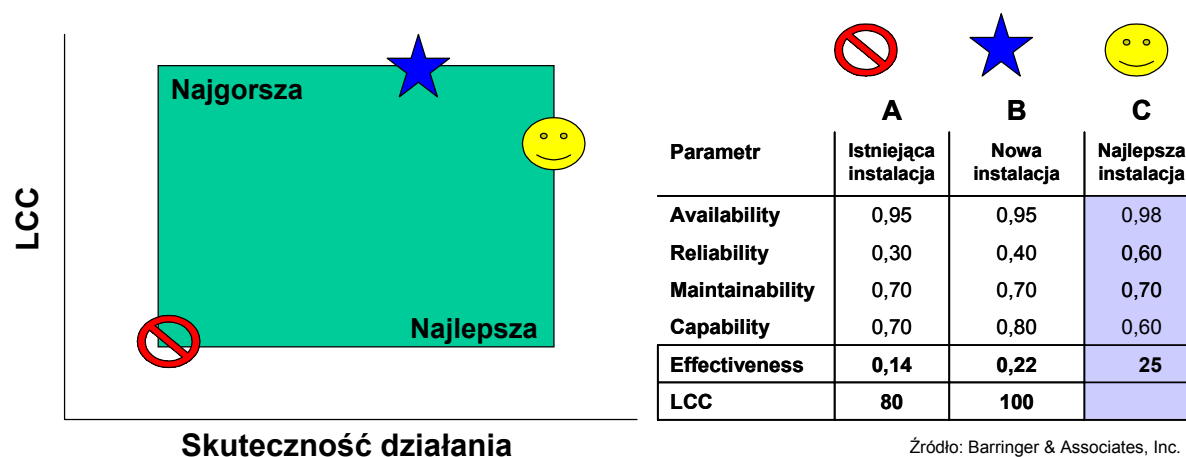
$$M(t) = 1 - \exp\left(\frac{-t}{MTTR}\right) \quad (7)$$

t – rozpatrywany okres czasu (np. jeden rok)

Zdolność wytwarzania zgodnie z określonymi standardami (Capability) – jest definiowana jako:

$$\text{Capability} = \frac{\text{ilość poprawnie wykonanych elementów}}{\text{ilość poprawnie wykonanych} + \text{ilość źle wykonanych}} * \frac{\text{czas wykorzystania instalacji}}{\text{czas trwania procesu produkcyjnego}}$$

Rozważenie wszystkich czterech powyższych czynników plus wykonana analiza LCC daje właściwy pogląd na wybór najkorzystniejszego wariantu rozwiązania. Przyjęcie takiego sposobu postępowania pozwala ocenić alternatywne rozwiązania nie tylko pod kątem najniższych kosztów ale także pod kątem efektów technicznych jakie można uzyskać. Obrazowo jest to przedstawione na rysunku 8 [26].



Rys. 8 Porównanie LCC i skuteczności działania

Powyższy przykład wyraźnie pokazuje współzależność LCC i skuteczności działania układu pompowego. Najniższe LCC nie zawsze jest jedynym wyznacznikiem sugerującym wybór alternatywnego rozwiązania. Układ A ma najniższy koszt LCC i jednocześnie najniższą skuteczność działania. Wybór takiego rozwiązania daje niskie koszty ale pod względem technicznym jest mało atrakcyjny.

Właściwą miarą oceny wybieranego wariantu projektu powinna być najwyższa wartość skuteczności działania całego układu pompowego. Można ją określić następująco [26]: *Skuteczność działania układu pompowego (System effectiveness) – jest wskaźnikiem łączącym skuteczność działania i LCC. Im jest wyższa, tym analizowane rozwiązanie jest korzystniejsze dla użytkownika.*

$$\text{Skuteczność działania systemu} = \frac{\text{skuteczność działania}}{\text{LCC}}$$

Przedstawione sposoby wyznaczenia wartości LCC i oceny skuteczności działania układu pompowego pozwalają na wybór optymalnego wariantu rozwiązania.

Takie sposoby postępowania dominują dzisiaj w krajach w których ceni się wartość pieniądza i dąży do minimalizacji kosztów. Warunki gospodarcze w naszym kraju pod tym względem są podobne. Ale czy analiza kosztów cyklu życia ma być tylko reklamowym sloganem dostawców układów pompowych ? Warto rozważyć zalety szerokiego wprowadzenia analizy LCC przy wyborze alternatywnych rozwiązań układów pompowych. Do najważniejszych należy zaliczyć:

- Dążenie do oceny całkowitych kosztów układu pompowego zanim zostaną poniesione
- Dążenie do maksymalizacji wartości projektu
- Konieczność wprowadzenia zmian w istniejących układach pompowych w celu ich ekonomicznie efektywnego wykorzystania
- Dążenie do dostosowania się do standardów europejskich i światowych.

Aby to było możliwe konieczne jest podjęcie działań mających na celu:

- Propagowanie możliwości zastosowania analizy LCC jako narzędzia pozwalającego ocenić koszty zanim zostaną poniesione
- Propagowanie skoncentrowania uwagi na parametrach całego systemu a nie tylko jego wybranych składników
- Szkolenia w zakresie zastosowania analizy LCC dla użytkowników i projektantów układów pompowych oraz producentów urządzeń
- Wdrożenie analizy LCC do stosowania przy podejmowaniu decyzji inwestycyjnych

Działaniom tym zagrażają:

- Aktualna wersja Ustawy o Zamówieniach Publicznych preferująca wyłącznie minimum kosztów zakupu
- Brak dostatecznej wiedzy o analizie LCC i jej praktycznym wykorzystaniu
- Brak odpowiednich danych do wykorzystania
- Brak działań i programów narzucających efektywność energetyczną instalacji pompowych
- Różnice w podejściu do zagadnień ekonomicznych

Przewyciężenie wskazanych problemów i ograniczeń jest możliwe. Konieczna jest chęć działania aby im sprostać. Warto przy tym pamiętać słowa Johna Rustona „*Nie jest mądrze płacić zbyt dużo ale głupio jest wydać za mało*”.

Literatura

- [1] – Johnson H.: *Ocena projektów inwestycyjnych. Maksymalizacja wartości przedsiębiorstwa*. LIBER, Warszawa 2000
- [2] – Świdorska G.K.: *Rachunkowość zarządcza*. POLTEXT, Warszawa 1997
- [3] – Kawachi Y., Rousand M.: *Life Cycle Cost (LCC) analysis in oil and chemical process industries*. NTNU Trondheim, Norway, June 1999
- [4] – Fabrycky W.J., Blanchard B.S.: *Life-Cycle Cost and Economic Analysis*. Prentice Hall, Englewood Cliffs, NJ 1991
- [5] – MIL-HDBK-259: *Military Handbook. LCC in Navy Aquisitions*. 1 April 1983
- [6] – MIL-HDBK-276-1: *Military Handbook. LCC Model for Defence Material Systems. Data Collection Workbook*. 3 Feb. 1984
- [7] – MIL-HDBK-276-2: *Military Handbook. LCC Model for Defence Material Systems. Operating Instructions*. 3 Feb. 1984
- [8] – Fuller S.K., Petersen S.R.: *Life Cycle Costing Manual for the Federal Energy Management Programs*. NIST Handbook 135, US Government, 1995
- [9] – Barringer H.P.: *A Life Cycle Cost Summary*. International Conference of Maintenance Societies ICOMS, Perth, Australia, May 2003
- [10] – Barringer H.P., Weber D.P.: *Life Cycle Cost Tutorial*. Fifth International Conference on Process Plant Reliability, Gulf Publishing Company, Houston, TX, USA, 1996
- [11] – IEC 60300-3-3: *Life cycle costing*, 1996
- [12] – ISO 15663: *Petroleum and natural gas industries – Life cycle costing*, 1996
- [13] – SAE ARP 4293: *Life Cycle Cost – Techniques and Applications*
- [14] – SAE ARP 4294: *Data Formats and Practices for Life Cycle Cost Informations*
- [15] – Wagner K.: *How To Save Energy and Analyse Life Cycle Cost*. KSB Techno Digest, 2 Issue, June 2000
- [16] – Frenning L., Alfredsson K., Hovstadius G.: *Pump Life Cycle Cost: A Guide to LCC Analysis for Pumping Systems*. HI/Europump, Parsippany, N.J., 2001
- [17] – *Pump Life Cycle Cost: A Guide to LCC Analysis for Pumping Systems. Executive Summary*. HI/Europump, January 2001 (dostępne także w j.polskim jako: „*Pump Life Cycle Cost: Poradnik do analizy LCC układów pompowych. Zwięzłe streszczenie.*” – informacje: spmws@wp.pl)
- [18] – Holzhüter E.: *Główne czynniki kształtujące koszty eksploatacji LCC układów pompowych*. Pompy Pompownie, 11/2000, str. 6 – 9
- [19] – Brodersen S.: *Life Cycle Costs – A Factor in Selecting and Operating Pumping Systems*. KSB Techno Digest, 7 Issue, December 2002
- [20] – Delaney K.: *Pump Installation... The Dark Continent Of Life Cycle Costs*. PUMPS&SYSTEMS, June 2003, p. 13-15
- [21] – Weybourne I.: *Control the cost of pumping*. Water&Waste Treatment, June 2002, p.29
- [22] – Urwin B., Blong R.: *Life Cycle Costs for Chemical Process Pumps*. CHEMICAL ENGINEERING, January 1998, p. 82
- [23] – Hovstadius G.: *The Real Price of Pumping*. PUMPS&SYSTEMS, Randall Publishing, January 2002, p. 6-7

- [24] – Abernethy R. B.: *The new Weibull Handbook*. Abernethy Publisher, North Palm Beach, FL, USA, 2001
- [25] – Barringer H.P.: *How to Justify Equipment Improvements Using Life Cycle Cost and Reliability Principles*. Power Machinery and Compression Conference, Galveston, TX, USA, March 2001
- [26] – Barringer H.P.: *Availability, Reliability, Maintainability and Capability*. Presentation on the Triplex Chapter of The Vibrations Institute, Beaumont, Texas, Feb.18, 1997
- [27] – Hovstadius G.: *Life Cycle Cost. A new opportunity ?* Working Together Marketing Conference 2001, ITT Industries