

Izabela DZIADUCH*

ANALIZA KOSZTÓW OKRESU ISTNIENIA (LCC) OBIEKTU TECHNICZNEGO W ASPEKCIE JEGO NIEZAWODNOŚCI

Streszczenie

W artykule przeanalizowany został problem ekonomicznej oceny niezawodności naprawialnego obiektu technicznego. Wyjaśniono znaczenie szacowania całkowitego kosztu istnienia obiektu (LCC), określono typowe elementy LCC oraz omówiono relacje jakie zachodzą między niezawodnością a LCC. Następnie scharakteryzowano parametry niezawodności ściśle powiązane z LCC, a także przedstawiono teoretyczny model analizy LCC oparty na niezawodności obiektu technicznego. Wykazano również istotność uwzględniania charakterystyk niezawodnościowych obiektu przy wyliczaniu kosztów eksploatacji ponoszonych w pełnym okresie jego trwałości.

Słowa kluczowe: koszt okresu istnienia (LCC), koszty eksploatacji, niezawodność

1. WPROWADZENIE

Na decyzję klienta o zakupie ma wpływ nie tylko koszt początkowy (koszt nabycia) obiektu technicznego (maszyny, urządzenia, środka transportu itp.), lecz także oczekiwany koszt jego użytkowania i obsługi (koszt posiadania). Niewątpliwie zapewnienie odpowiedniej niezawodności funkcjonowania obiektu jest naczelnym zadaniem jego eksploatatora, ale to już konstruktorzy i producenci powinni dążyć do wytworzenia obiektów o optymalnej niezawodności oraz - dzięki optymalizacji kosztów nabycia i posiadania - konkurencyjnych pod względem kosztu. Proces optymalizacji powinien rozpocząć się wraz z początkiem prac nad obiektem i rozciągać się tak, aby uwzględnić wszystkie koszty, które pojawią się w czasie istnienia obiektu. Wszystkie podjęte decyzje dotyczące projektu i wytwarzania obiektu mają wpływ na jego osiągi, bezpieczeństwo, nieuszkodzalność, obsługiwalność, wymagania dotyczące zapewnienia środków obsługi itp. i ostatecznie określają jego cenę oraz późniejsze koszty eksploatacji [29]. Ważnych danych wejściowych do procesu podejmowania decyzji podczas projektowania, rozwoju, wytwarzania, eksploatacji i likwidacji obiektu dostarcza analiza Life Cycle Cost (LCC), która ma na celu ocenę wielkości kosztów ponoszonych na stworzenie i użytkowanie obiektu.

Problem analizy kosztów był zawsze uwzględniany, ale rzadko z punktu widzenia kosztu istnienia obiektu (LCC) w aspekcie jego niezawodności. Literatura z zakresu analizy LCC jest liczna. Artykuły, monografie, normy i standardy reprezentują różne aspekty tej analizy i wskazują dziedziny przemysłu, w których można ją stosować [33]. Podkreślenia wymaga jednak fakt, iż wciąż brak jest prac naukowych z zakresu szacowania LCC opartych na niezawodności obiektu, poza nielicznymi wyjątkami. Dlatego w niniejszym artykule podjęto próbę przybliżenia tego zagadnienia, które niewątpliwie powinno stać się tematem intensywnych badań naukowych.

Treść pracy podzielono na 6 rozdziałów, które zostały poprzedzone wprowadzeniem do prezentowanej problematyki. Tematyka poszczególnych rozdziałów w oryginalnym brzmieniu jest następująca:

- Life Cycle Cost (LCC) – analiza pojęcia i elementy składowe;

* Politechnika Wroclawska, Wydział Mechaniczny, Instytut Konstrukcji i Eksploatacji Maszyn, Zakład Logistyki i Systemów Transportowych

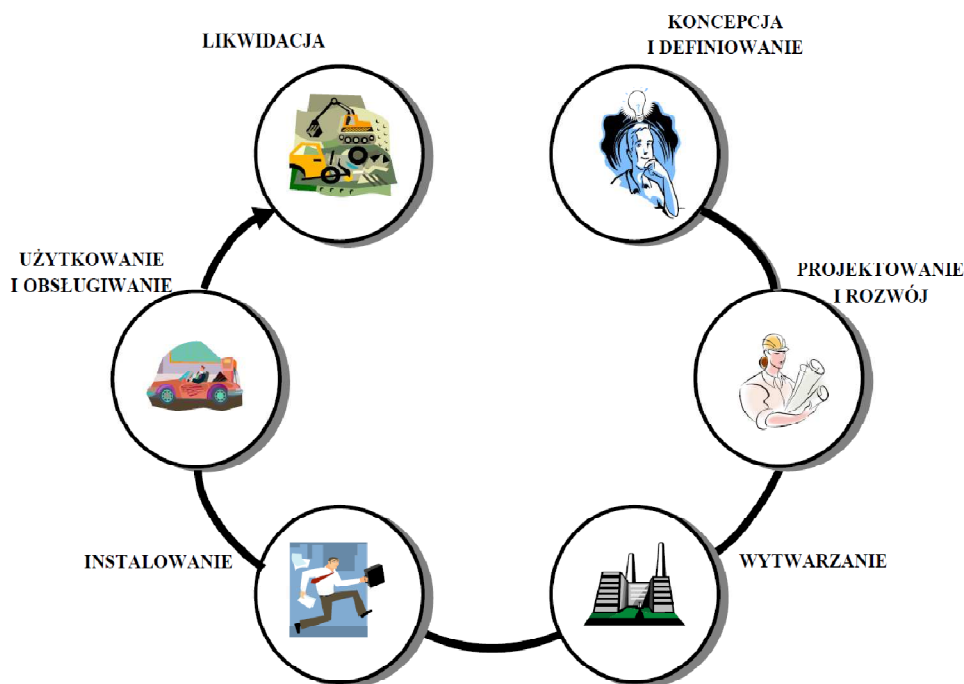
- Zależność LCC od niezawodności;
- Możliwości kształtowania poziomu niezawodności i LCC w poszczególnych fazach istnienia obiektu technicznego;
- Koszty niezawodności w fazie eksploatacji obiektu;
- Wskaźniki charakteryzujące niezawodność jak podstawa wyznaczania LCC;
- Modelowanie LCC.

W zakończeniu zestawiono wnioski wynikające z całości rozważań podjętych w pracy.

2. LIFE CYCLE COST (LCC) – ANALIZA POJĘCIA I ELEMENTY SKŁADOWE

Life Cycle Cost (LCC) to termin będący w powszechnym użyciu od jakichś 50 lat [12], a jednak mimo tego w literaturze trudno jest znaleźć jednoznaczny polski odpowiednik tego wyrażenia, który w pełni odda sens obcej nazwy. Koncepcja LCC opiera się na idei cyklu życia produktu, która została nakreślona w marketingu, dlatego też, w piśmiennictwie krajowym zwrot Life Cycle Cost zwykle tłumaczony jest dosłownie jako „koszt cyklu życia” [21]. Z uwagi na to, że jako technicy większą uwagę skupiamy na obiektach technicznych, dlatego bardziej trafnym odpowiednikiem terminu Life Cycle Cost będzie „koszt okresu istnienia”. W literaturze przedmiotu stosuje się zamiennie i inne określenia tego angielskiego terminu jak: koszt cyklu trwałości [32], koszt cyklu eksploatacji [13] czy koszt okresu używalności [14].

Koszt okresu istnienia obiektu, inaczej mówiąc koszt istnienia obiektu - w ujęciu klasycznym – odnosi się do kosztów, związanych z procesem powstawania (tworzenia) obiektów, tj. począwszy od koncepcji i projektowania, poprzez opracowanie technologiczne i wytwarzanie oraz procesem funkcjonowania (eksploatacji), a także procesem likwidacji (kasacji) obiektów (rys. 1).



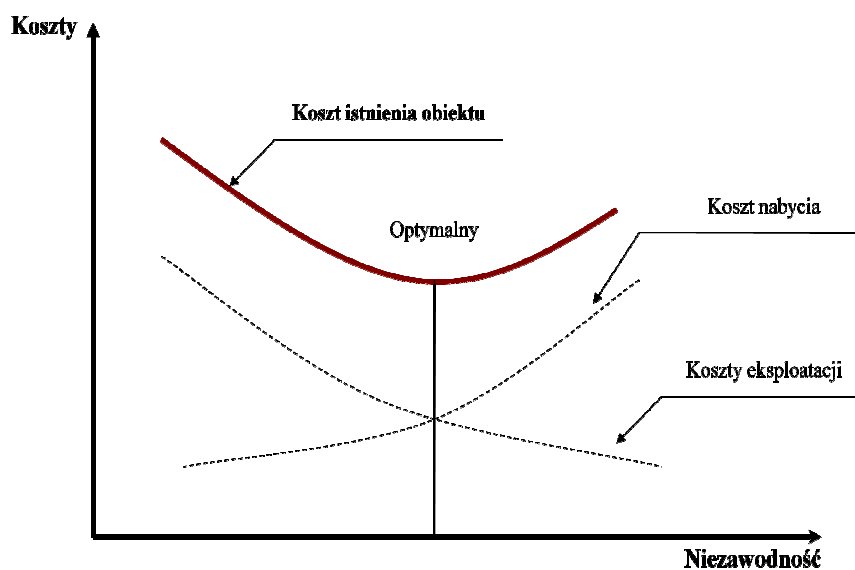
Rys. 1. Fazy okresu istnienia obiektu technicznego

Źródło: opracowanie na podstawie [29]

Zagadnienie LCC dotyczy zarówno producentów, jak i użytkowników eksploatujących obiekty techniczne. Koszty powstające w trzech pierwszych fazach (rys. 1) ponosi producent, a w trzech następnych użytkownik obiektu. Jednak dla użytkownika, z ekonomiczno-eksploatacyjnego punktu widzenia, droga „istnienia” obiektu rozpoczyna się od momentu, gdy powstają pierwsze koszty związane z zakupem. Takie spojrzenie daje podstawę do podziału LCC na koszty bezpośrednio związane z nabyciem (koszt zakupu i włączenia obiektu do użytkowania), eksploatacją i likwidacją obiektu technicznego [29].

3. ZALEŻNOŚĆ LCC OD NIEZAWODNOŚCI

Istotnym czynnikiem determinującym koszty nabycia, jak i przyszłe koszty eksploatacji jest niezawodność obiektu technicznego. Termin niezawodność (z ang. dependability) oznacza *zespół właściwości, które opisują gotowość obiektu i wpływające na nią: nieuszkodzalność, obsługiwalność i zapewnienie środków obsługi* [30]. Z jednej strony mała niezawodność obiektu jest przyczyną strat ekonomicznych, z drugiej strony zaś – zwiększenie niezawodności powoduje zwiększenie kosztów wykonania obiektu, mających m.in. wpływ na koszty eksploatacyjne obiektu. Wraz ze wzrostem niezawodności polepszają się więc jedne cechy świadczące o efektywności obiektu, a inne pogarszają [7]. Przedstawia to poglądowo na rys. 2 wykres zależności kosztów od poziomu niezawodności obiektu.



Rys. 2. Koszty ponoszone przez użytkownika w zależności od niezawodności obiektu

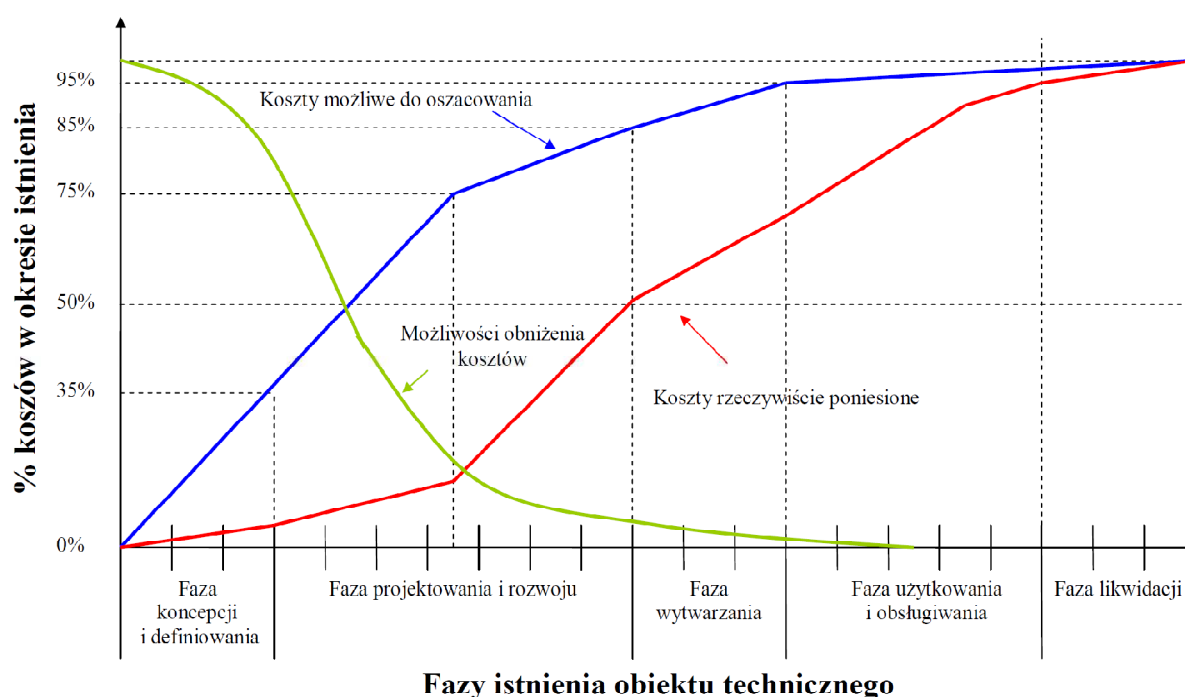
Źródło: [4]

Analizując rys. 2 można zauważyć, że jeśli wydatki na pozyskanie (nabycie) obiektu rosną, to wszystkie parametry związane z zapewnieniem niezawodności też mają tendencje wzrostowe, a to z kolei obniża koszty eksploatacji (użytkowania i obsługiwanie). Przyjmuje się, że koszt eksploatacji obiektu jest odwrotnie proporcjonalny do jego niezawodności. Jak widać, krzywa LCC ma kształt łuku, na którym możemy znaleźć najniższy punkt odpowiadający optymalnemu ekonomicznie poziomowi niezawodności. W punkcie tym, niezawodność spełnia oczekiwania klienta przy określonych kosztach poniesionych na eksploatację i pozyskanie. Aby go określić, należy ustalić funkcję kryterium (np. efektywności ekonomicznej), a także postać matematyczną zależności tej funkcji od niezawodności [7].

4. MOŻLIWOŚCI KSZTAŁTOWANIA POZIOMU NIEZAWODNOŚCI I LCC W POSZCZEGÓLNYCH FAZACH ISTNIENIA OBIEKTU TECHNICZNEGO

Poziom niezawodności obiektu, a co się z tym wiąże również LCC jest kształtowany we wszystkich fazach jego powstawania i funkcjonowania (działania), tzn. w fazach projektowania, wytwarzania i eksploatacji.

Największe możliwości oddziaływania na niezawodność, jak i LCC obiektu pojawiają się w fazie jego projektowania, w tym konstruowania, a zwłaszcza w etapach tworzenia projektu koncepcyjnego, projektu wstępnego i projektu technicznego. Wpływ fazy projektowania na niezawodność przyszłego obiektu zaznacza się dodatkowo przez ustalone wówczas wymagania kierowane do faz wytwarzania i eksploatacji, m.in. w postaci instrukcji montażu, instrukcji użytkowania i instrukcji obsługi [7]. Jak wynika z rys. 3, faza ta może przesądzać nawet do 85% kosztów obiektu, które później trudno obniżyć w dalszych fazach okresu istnienia [2].



Rys. 3. Koszty poniesione i możliwe do oszacowania w poszczególnych fazach istnienia obiektu

Źródło: opracowanie na podstawie [2]

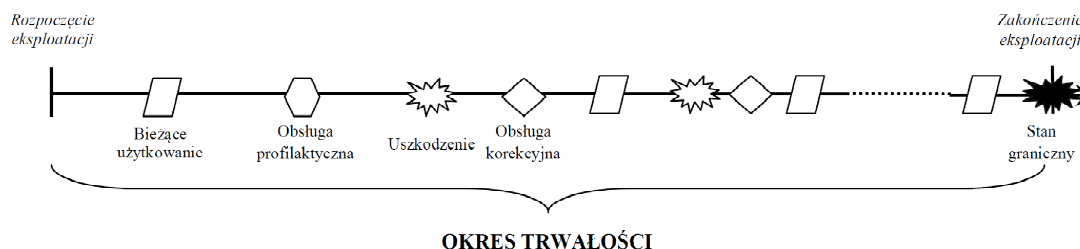
Jednocześnie rys. 3 wskazuje, że największa część kosztów wynika z czynności pojawiających się pod koniec okresu istnienia obiektu tj. w czasie jego eksploatacji. W tej fazie to użytkownik dba o zapewnienie odpowiedniej niezawodności działania obiektu technicznego. Po dokonaniu transakcji zakupu to od niego już zależy wysokość kosztów eksploatacji obiektu, jakie poniesie w całym okresie jego użytkowania, a te niewątpliwie w dużej mierze zależą od poziomu niezawodności obiektu ukształtowanego we wcześniejszych fazach istnienia. W trakcie analizy LCC to właśnie przyszłe koszty związane z elementami niezawodności obiektu są najtrudniejsze do oszacowania, przede wszystkim ze względu na losowy charakter pojawiania się uszkodzeń i dlatego tej problematyce zostały poświęcone rozważania w dalszej części pracy.

5. KOSZTY NIEZAWODNOŚCI OBIEKTU W FAZIE EKSPLOATACJI

Koszt niezawodności to termin umowny. Pojęcie to nie występuje w teorii niezawodności oraz nie jest dokładnie zdefiniowane. Według K.K. Aggarwala [1] i B.S. Dhillona [6] koszty niezawodności to nie tylko koszty uszkodzeń, ale również koszty działań, które mają zapobiegać powstawaniu tych uszkodzeń. Stąd koszt niezawodności podzielony jest na kilka kategorii związanych z prewencją (zapobieganiem), oceną - badaniami i kontrolą oraz uszkodzeniami (wewnętrznymi i zewnętrznymi). Po dogłębnej analizie wszystkich składników wchodzących w skład ww. czterech grup kosztów, stwierdzić można, że to ujęcie pojęcia kosztu niezawodności odnosi się wyłącznie do sfery producenta. Nie uwzględniono tutaj natomiast kosztów, które poniesie potencjalny klient obiektu.

Zawarty w artykule termin „koszt niezawodności” ma inną interpretację niż wyżej przedstawiona, bowiem odnosi się do kosztów, które zostały wywołane przez działania (czynności) i zdarzenia pojawiające się w fazie eksploatacji obiektu (rys. 4). A zatem koszty związane z elementami niezawodności ponoszone przez użytkownika obiektu w jego okresie trwałości, można podzielić na trzy podstawowe grupy kosztów [7]:

- koszty bieżącego użytkowania, które w słabym stopniu zależą od poziomu niezawodności (np. paliwo, płace personelu),
- koszty wywołane uszkodzeniami, na które w dużym stopniu wpływa poziom niezawodności; koszty te składają się z kosztów związanych z odnową uszkodzonego obiektu, łącznie z kosztami obsługi korekcyjnego i kosztów związanych z czasem postoju,
- koszty obsługi profilaktycznego, które są potrzebne na zapewnienie odpowiedniego poziomu niezawodności.



Rys. 4. Czynności i zdarzenia wywołujące koszty podczas eksploatacji obiektu w ujęciu niezawodnościowym

Źródło: opracowanie własne

W fazie eksploatacji obiektu technicznego pojęcie koszt niezawodności pokrywa się z pojęciem koszt eksploatacji, które też nie jest pojęciem jednoznacznym, a literatura z tej dziedziny również nie jest zbyt imponująca. Ogólnie można stwierdzić, iż koszty eksploatacji są sumą kosztów użytkowania i obsługi. Koszty te zależą od stanu technicznego obiektu, który zmienia się wraz z upływem czasu. W czasie eksploatacji obiektów technicznych zachodzą procesy zużycia technicznego, jak i tzw. moralnego, które prowadzą do stopniowej utraty niezawodności obiektu. Zużywania, a i w konsekwencji uszkodzeń obiektu, nie da się uniknąć, ale można i należy je opóźniać (stosując zabiegi konserwacyjne i remonty).

Poziom niezawodności w fazie eksploatacji uzależniony jest od przyjętej strategii utrzymania obiektu przez użytkownika, która ma również istotny wpływ na długość fazy eksploatacyjnej (trwałość) obiektów. Poprzez strategię obsług można właśnie osiągnąć najwyższą niezawodność obiektu oraz najniższy koszt eksploatacji. Zagadnienie całkowitych kosztów eksploatacji jest też coraz częściej rozpatrywane w perspektywie kosztu istnienia obiektu (LCC). Koszty te nie są znane przez klienta w momencie zakupu obiektu, ale de

facto, oszacować się je da. Funkcje uzyskane z badań zachowania się obiektów (ich niezawodności) w trakcie eksploatacji są dobrym punktem wyjścia nie tylko do wyznaczenia kosztów eksploatacji w pełnym okresie trwałości obiektu, ale także do ich późniejszej optymalizacji (obniżenia).

6. WSKAŹNIKI CHARAKTERYZUJĄCE NIEZAWODNOŚĆ JAKO PODSTAWA WYZNACZANIA LCC

Efektywne, z ekonomicznego punktu widzenia, eksploataowanie obiektów technicznych stanowi bardzo złożony problem. W czasie eksploatacji obiekty techniczne ulegają uszkodzeniom i to one powodują komplikacje w procesie użytkowania obiektów technicznych. Ich usunięcie wiąże się z koniecznością ponoszenia strat finansowych związanych z np. niewykonaniem zadania, postojem, naprawą itd. Koszty przywracania obiektowi zdolności do użytku można oszacować na podstawie losowych funkcji opisujących pojawianie się uszkodzeń. Jedną z często wykorzystywanych w tym zakresie funkcji jest *funkcja niezawodności* - $R(t)$, która opisuje prawdopodobieństwo poprawnej (bezawaryjnej) pracy obiektu w określonych warunkach eksploatacyjnych, w wymaganym przedziale czasu. Nierzadko jednak zamiast funkcji niezawodności jako miary (wskaźnika) niezawodności używa się *funkcji intensywności (strumienia) uszkodzeń* - λ , zwanej też krzywą ryzyka. W pracach [8] i [28] zaprezentowano modele LCC wykorzystujące funkcję intensywności uszkodzeń przy szacowaniu kosztów eksploatacji.

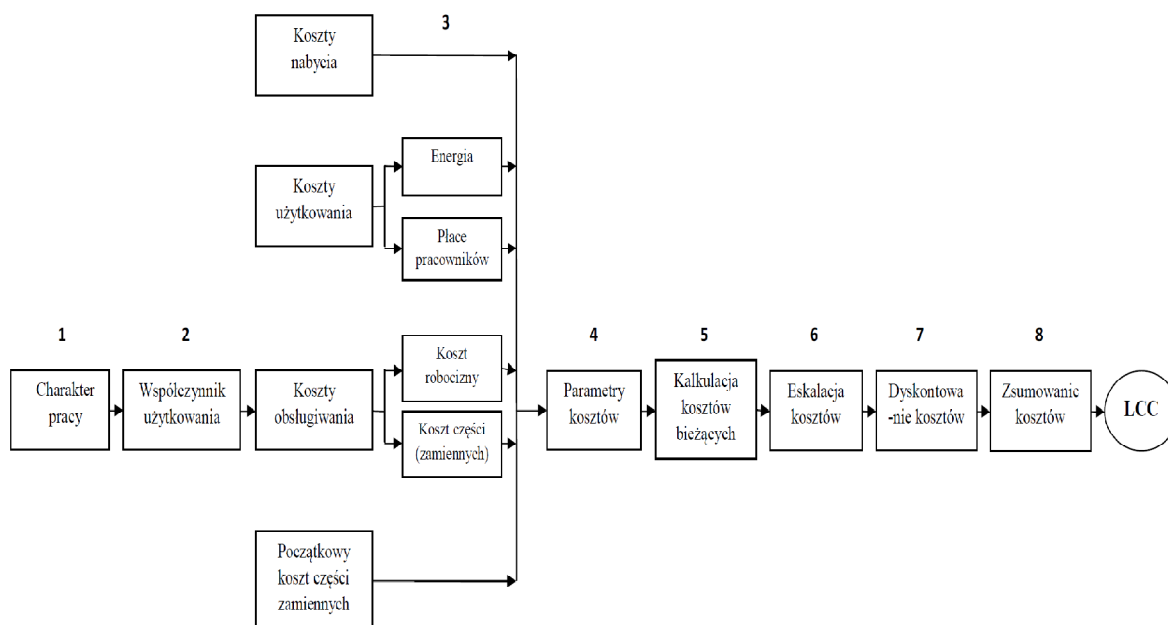
Znajomość ww. miar niezawodności jest bardzo pożyteczna dla eksploatatora obiektu. Poznanie bowiem przynajmniej jednej z nich pozwala nie tylko oszacować przyszłe koszty eksploatacji dla całego przewidywanego okresu użytkowania obiektu, ale także m.in. [16]:

- negocjować korzystne okresy gwarancji kupowanych obiektów,
- opracować optymalne strategie napraw, remontów i/lub wymian,
- porównać działanie obiektów od różnych producentów,
- wybrać najkorzystniejszego dostawcę,
- zredukować straty z powodu awarii i przestojów oraz zwiększenie gotowości obiektów,
- opracować optymalne strategie diagnozowania obiektów w celu minimalizacji kosztów ich użytkowania.

Z wielu publikacji wynika, że powszechnie za punkt odniesienia do oceny kosztów w okresie użytkowania obiektu przyjmuje się średnie wartości parametrów niezawodności [5]. Są to:

- oczekiwany czas do uszkodzenia (z ang. Mean Time To Failures - MTTF) - miara poziomu nieuszkodzalności obiektu;
- oczekiwany czas naprawy (z ang. Mean Repair Time - MRT) lub oczekiwany czas do odnowy (z ang. Mean Time To Restoration - MTTR) - miary opisujące obsługiwalność obiektu;
- oczekiwane opóźnienie logistyczne (z ang. Mean Logistic Delay - MLD) oraz oczekiwane opóźnienie organizacyjne (z ang. Mean Administrative Delay - MAD) - miary poziomu zapewnienia środków obsługi.

Już w latach siedemdziesiątych XX w. R.J. Kaufman [18] zaproponował, aby włączyć charakterystyki niezawodnościowe obiektu technicznego do problematyki LCC. 8-krokowa procedura tworzenia modelu LCC uwzględniającego niezawodność obiektu przedstawiona została na rys. 5.



Rys. 5. Model (opisowy) kalkulacji LCC opartych na niezawodności obiektu technicznego

Źródło: [18]

Jak wynika z modelu LCC zaprezentowanego na rys. 5 zanim przejdziemy do szacowania kosztów należy najpierw:

- określić charakter pracy (działania) obiektu, a więc tryb pracy w jakim w danej chwili obiekt się znajduje lub inaczej moment użytkowania bądź nie obiektu (krok 1);
- ustalić współczynnik użytkowania obiektu, a więc sposób jego funkcjonowania w każdym trybie pracy (krok 2);
- zidentyfikować elementy kosztotwórcze w każdej z kategorii kosztów tj. zarówno kosztów nabycia, jak i kosztów eksploatacji (krok 3);
- określić kluczowe czynniki determinujące LCC, a mianowicie: czas między uszkodzeniami (MTBF), czas między naprawami (MTTR) oraz wskaźnik zużycia energii (krok 4).

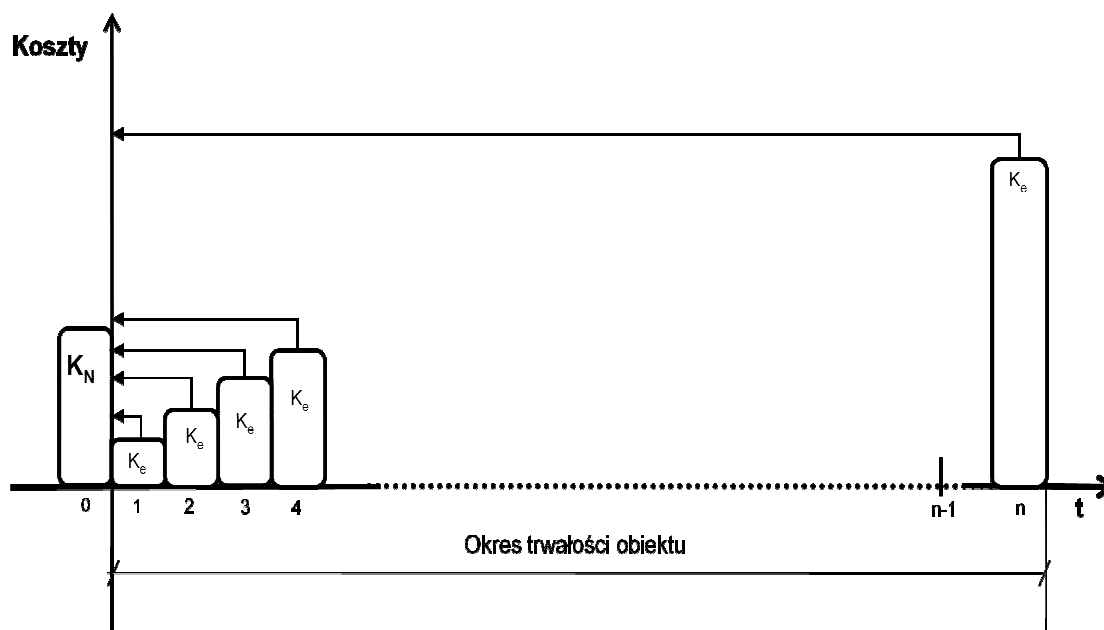
Następnie należy eskalować ustaloną bieżącą wartość przyszłych kosztów eksploatacji (tj. wartość na dzień przeprowadzania kalkulacji), za pomocą wskaźnika inflacji, odzwierciedlającego powszechnie występujący w gospodarce wzrost poziomu cen. Później otrzymaną wartość trzeba zdyskontować, tj. przeliczyć wyliczone przyszłe koszty eksploatacji na chwilę, w której został poniesiony koszt nabycia (okres bazowy), po to by obliczyć aktualną (obecną, a więc na dzień przeprowadzania kalkulacji) wartość kosztu, który wystąpi w przyszłości. Na koniec do tak ustalonego poziomu kosztów eksploatacji dodajemy koszty nabycia, i w rezultacie otrzymujemy całkowity koszt istnienia (LCC) dla obiektu.

Zamierzeniem R.J. Kaufmana [18] było wykorzystanie rezultatów uzyskanych z tak opracowanego modelu LCC (rys. 5) w procesie projektowania obiektów, które stanowią przedmiot eksploatacji przez człowieka.

Bezspornie można stwierdzić, że przedstawione w tym rozdziale miary oceniające niezawodność obiektów umożliwiają w miarę precyzyjne oszacowanie kosztów eksploatacji obiektu w całym okresie jego użytkowania, a w szczególności wielkości strat ekonomicznych wywołanych uszkodzeniami oraz kosztów związanych z profilaktyczną odnową obiektu.

7. MODELOWANIE LCC

Aby znaleźć minimalną wartość kosztu stanowiącą najlepsze rozwiązanie ze względu na niezawodność obiektu (rys. 2) należy opracować model LCC. Niestety z uwagi na dużą złożoność struktury obiektów technicznych i struktury kosztów niemożliwe jest stworzenie w pełni uniwersalnego modelu LCC, choć można opracować indywidualny model, optymalny dla danego obiektu. Pomimo, że każdy wyodrębniony element kosztu ma swój własny schemat obliczeniowy, to istnieją pewne ogólne zasady wyznaczania LCC (rys. 6).



Rys. 6. Ogólny model kalkulacji LCC

Źródło: opracowanie własne

Na początku wyznacza się koszt nabycia obiektu, który jest ponoszony jednorazowo i w miarę łatwo jest go oszacować przed podjęciem decyzji o zakupie obiektu. W drugiej kolejności natomiast, określa się koszty eksploatacji (użytkowania i obsługi) obiektu, które wystąpią w kolejnych latach jego eksploatacji. Po ich ustaleniu, jak również i przewidywanego okresu trwałości obiektu, wartość przyszłych kosztów eksploatacji podlega dyskontowaniu (przeliczeniu) do momentu (okresu) bazowego (zerowego), tzn. na chwilę, w której został poniesiony koszt nabycia. Po dodaniu ich do kosztu początkowego otrzymujemy całkowity koszt istnienia obiektu technicznego.

Matematyczna postać modelu LCC przedstawionego na rys. 6 wygląda następująco [10]:

$$LCC = K_N + \sum_{t=1}^n K_E \left[\frac{1}{(1+r)^t} \right] \quad (1)$$

gdzie:

K_N - koszt nabycia obiektu,

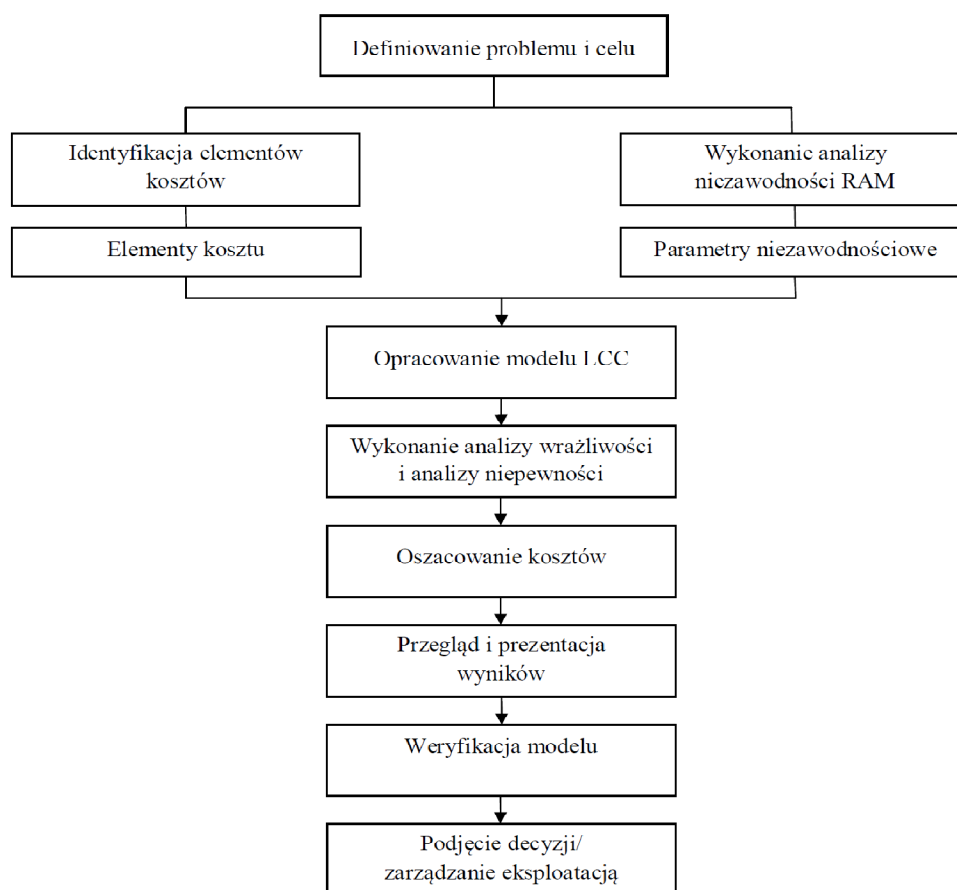
K_E - roczne koszty eksploatacji obiektu,

n - zakładana ilość lat trwałości obiektu,

t - kolejny rok eksploatacji obiektu,

r - stopa dyskonta.

Jednym z kluczowych problemów w szacowaniu poziomu LCC jest wybór odpowiednich stóp dyskontowych. Z uwagi jednak na tematykę artykułu, to zagadnienie nie jest tu prezentowane, a szerzej na ten temat można przeczytać w literaturze ekonomicznej. Trudności przysparza ponadto - co już podkreślono wcześniej - oszacowanie przyszłych kosztów eksploatacji. Generalnie można przyjąć, że proces ustalania LCC z uwzględnieniem niezawodności obiektu technicznego składa się z kilku elementów, które zaprezentowano na rys. 7.



Rys. 7. Proces prowadzenia analizy LCC

Źródło: opracowanie własne

Reasumując, szacowanie dokonane na bazie analizy niezawodności obiektu technicznego umożliwia ustalenie precyzyjnej wartości zarówno kosztów eksploatacji, jak i całkowitych kosztów istnienia (LCC).

8. PODSUMOWANIE I WNIOSKI KOŃCOWE

W artykule ukazano znaczenie niezawodności obiektu technicznego, jako czynnika determinującego nie tylko koszty nabycia, ale także i koszty eksploatacji obiektu technicznego. Precyzyjne ustalenie wielkości kosztów niezawodności, do których należą koszty związane z losowymi naprawami i wymianami komponentów, koszty zaopatrzenia obsługiwanego i koszty zasilania w trakcie efektywnego wykorzystania, nie jest zadaniem łatwym, ale możliwym do wykonania. Znajomość tych kosztów pozwala osobie podejmującej decyzje (niezależnie czy to w fazach tworzenia czy już w fazie eksploatacji obiektu) wyważyć czynniki niezawodnościowe z kosztami okresu istnienia (LCC).

Problematyka dotycząca koncepcji szacowania LCC z nastawieniem na koszty związane z niezawodnością jest znana ale często traktowana na ogół pobieżnie. W Polsce głównym źródłem wiedzy na ten temat jest norma PN-IEC 60300-3-3 „Zarządzanie niezawodnością. Przewodnik zastosowań. Szacowanie kosztu cyklu życia” [29]. Norma ta zaleca, aby rozważania dotyczące niezawodności były integralną częścią procesu projektowania i oszacowań LCC.

Niewątpliwie ocena niezawodności obiektu technicznego dokonana przez pryzmat kosztów dostarcza informacji, które mogą stanowić podstawę do doskonalenia obiektu i jego procesu eksploatacji. Zatem analiza LCC uwzględniająca niezawodność obiektu technicznego dostarcza ważnych danych wejściowych do procesu podejmowania decyzji w każdej z faz okresu istnienia obiektu. Dostawcy obiektów mogą optymalizować swoje projekty poprzez ocenę różnych wariantów i rozwiązań kompromisowych. W celu optymalizacji kosztu istnienia (LCC) mogą oni oceniać różne strategie użytkowania, obsługiwanie i likwidacji (aby pomóc użytkownikom obiektu). Szacowanie kosztów istnienia można również skutecznie zastosować do oceny kosztów związanych z określonymi działaniami, np. do oceny rezultatów różnych polityk obsługiwanie. Okazuje się, że wnioski płynące z badań niezawodności pomogą zoptymalizować projekt obiektu i koszt okresu istnienia.

W artykule scharakteryzowano ogólne etapy modelowania LCC (rys. 5 i rys. 7), pokazujące co zrobić, by oszacować całkowite koszty istnienia dla obiektu technicznego. Z roku na rok powstaje coraz więcej prac naukowych, które uszczegóławiają rozpatrywany problem. Opracowanie indywidualnych zasad kalkulacji dla poszczególnych składników kosztowych, rodzaj obiektu technicznego to tylko niektóre z elementów, które sprawiają, że każdy model LCC jest niepowtarzalny. Dużą trudność sprawia oszacowanie poziomu kosztów, jakie eksploatacja obiektu poniesie na jego utrzymanie, gdyż one zmieniają się z biegiem czasu. Najczęściej ta kwestia rozwiązywana jest poprzez przyjęcie licznych założeń do obliczeń lub ograniczanie się do bardzo dużych uproszczeń. Jednak zdecydowanie wiarygodniejsze wyniki otrzymamy, gdy zastosujemy probabilistyczne metody oceny niezawodności/LCC obiektu. Rezultaty z przeprowadzonych badań probabilistycznych i empirycznych w trakcie eksploatacji obiektu są przydatne nie tylko eksploatującemu obiekt, ale także konstruktorom i producentom w poszukiwaniu nowych, lepszych i tańszych rozwiązań. Racjonalne ustalenie chwil profilaktycznych odnow (w fazie projektowania) oraz podejmowanie decyzji usprawniających funkcjonowanie obiektu (w fazie eksploatacji) w istocie wpływa na poziom niezawodności obiektu, a i konsekwencji na cały LCC. Temat analizy kosztów LCC w kontekście niezawodności obiektu i ich optymalizacja jest ciągle zgłębiany i nadal stanowi spore wyzwanie dla naukowców.

LITERATURA

- [1] Aggarwal K.K.: *Reliability Engineering*. Kluwer Academic Publishers, The Netherlands 1993.
- [2] Blanchard B.S., Fabrycky W.: *Life-Cycle Cost and Economic Analysis*. Prentice-Hall, Englewood Cliffs, New York 1991.
- [3] Chaberek M.: *Makro- i mikroekonomiczne aspekty wsparcia logistycznego*. Wydawnictwo Uniwersytetu Gdańskiego, Gdańsk 2002.
- [4] Dhillon B.S.: *Quality Control, Reliability, and Engineering Design*. Industrial Engineering, New York 1985.
- [5] Dhillon B.S.: *Life Cycle Costing. Techniques, Models and Applications*. Gordon and Breach Science Publishers, New York 1989.
- [6] Dhillon B.S.: *Reliability, Quality and Safety for Engineers*. CRC Press, Boca Raton 2005.
- [7] Dietrich M., Kocańda S., Krytkowski B., Ozimowski W., Stupnicki J., Szopa T.: *Podstawy konstrukcji maszyn*. Tom 1, Wydawnictwa Naukowo-Techniczne, Warszawa 1999.
- [8] Dziaduch I.: *Unreliability costs in Life Cycle Cost Analysis (LCCA) – comparison of calculation methods*. Summer Safety & Reliability Seminars. Journal of Polish Safety and Reliability Association, vol.1, 75-82, 2010.
- [9] HM Treasury: *Life Cycle Costing*. Public Competition and Purchasing Unit, no. 35, 1992.
- [10] Hong T., Han S., Lee S.: *Simulation-based determination of optimal life-cycle cost for FRP bridge deck panels*. Automation and Constructions, no. 16, 140-152, 2007.
- [11] http://www.ksb.com/ksb/web/PL/pl/company/ksb__polen/5__publications/analiza_20LCC__do_wnobject,property=file.pdf (12.11.2009).
- [12] <http://www.emblemsvag.com/LCC.htm> (29.10.2010).
- [13] <http://www.enawent.pl/pl,ivp:10,7,lcc.html> (02.11.2010).
- [14] http://www.przetargi.pl/zamowienia_publiczne_przetargi/ekologiczne_zamowienia_publiczne/?nr=19 (9.11.2010).
- [15] Jun H.K., Kim J.H.: *Life Cycle Cost Modeling for Railway Vehicle*. Proceeding of International Conference on Electrical Machines and Systems, Seoul, Korea, October 8-11, 1989-1994, 2007.
- [16] Jurdziak L., Zimroz R.: *Dlaczego diagnostyka maszyn się opłaca i ile można na tym zaoszczędzić?* Prace Naukowe Instytutu Górnictwa Politechniki Wrocławskiej, nr 106, 139-150, 2004.
- [17] Jurdziak L.: *Metoda szacowania kosztów inwestycyjnych oraz eksploatacyjnych przemośników*. Prace Naukowe Instytutu Górnictwa Politechniki Wrocławskiej, nr 123, 76-88, 2008.
- [18] Kaufman, R. J.: *Life cycle costing: a decision-making tool for capital equipment acquisition*. Cost and Management, march/april, 21-28, 1970.
- [19] Kim J.W., Chung J.D., Han S.Y.: *Life cycle cost model for evaluating RAMS requirements for rolling stocks*. Computers & Industrial Engineering. CIE 2009. International Conference on, 1189-1191, 2009.
- [20] Kleyner A., Sandborn P., Boyle J.: *Minimization of Life Cycle Costs Through Optimization of the Validation Program - A Test Sample Size and Warranty Cost Approach*. Reliability and Maintainability, Annual Symposium - RAMS, 553-558, 2004.
- [21] Kulczycka J.: *Koszty cyklu życia LCC – ich znaczenie w ZPP*. Instytut Gospodarki Surowcami Mineralnymi i Energią Polska Akademia Nauk, Kraków <http://www.min-pan.krakow.pl/pbs> (02.09.2010).
- [22] Kumar U.D., Chattapadhyay G., Pannu H.S.: *Total Cost of Ownership for Railway Assets: A case study on BOXN Wagons of Indian Railways*. Proceedings of the Fifth Asia-Pacific Industrial Engineering and Management Systems Conference 2004, 12-15 December 2004, Gold Coast, Australia.
- [23] Lutz J., Lekov A., Chan P., Dunham Whitehead C., Meyers S., McMahon J.: *Life-cycle cost analysis of energy efficiency design options for residential furnaces and boilers*. Energy, no. 31, 311-329, 2006.
- [24] McKenzie M.: *Evaluation of the Developing DSN Life-Cycle Cost Standard Practice*. DSN Progress Report, May-June, 4246, 1978.
- [25] Michnej M.: *Kryteria inwestycyjne zakupu lokomotyw do przewozów międzynarodowych*. KZA Express, kwiecień, 70-74, 2010.

- [26] Norsok Standard: *Common requirements Life cycle cost for systems and equipment*. O-CR-001, April 1996
- [27] Palka-Wyżykowska K.: *Metoda LCC i jej przydatność do ekonomicznej oceny systemów energetycznych na przykładzie systemów grzewczych w budownictwie mieszkaniowym*, Gdańsk 2008.
http://www.mech.pg.gda.pl/ktc/wtargans/osiagi/Palka_chlodnictwo.pdf (09.11.2010).
- [28] Parra C., Crespo A., Cortes P., Fyqueroa S.: *On the consideration of reliability in the Life Cycle Cost Analysis (LCCA). A review of basic models*. Safety and Reliability for Managing Risk. Guedes Soares & Zio (Eds.), Taylor & Francis Group, London, 2203-2214, 2006.
- [29] PN-EN 60300-3-3: *Zarządzanie niezawodnością. Przewodnik zastosowań. Szacowanie kosztu cyklu życia*. Polski Komitet Normalizacyjny (PKN), 2001.
- [30] PN-93/N-50191: *Słownik terminologiczny elektryki. niezawodność; jakość usługi*. 1993.
- [31] Shahata K., Zayed T.: *Simulation as a tool for life cycle cost analysis*. Proceedings of the 2008 Winter Simulation Conference. 2497-2502, 2008.
- [32] Szkoła M.: *Techniczne i ekonomiczne kryteria oceny modernizacji i zakupu spalinowych pojazdów trakcyjnych*, Warszawa 2007
<http://www.zie.pg.gda.pl/~dwisnie/wawa/iaa-4.pdf> (09.11.2010).
- [33] Świdorski M.: *Analiza LCC (Life Cycle Cost Analysis) narzędziem wspomagającym ocenę projektów inwestycyjnych związanych z techniką pompową*. IX Forum Użytkowników Pomp, Szczyrk 2003.
- [34] Taylor, W.: *The use of Life Cycle Costing in Acquiring Physical Assets*. Long Range Planning, Vol. 14, No. 6, 32-43, 1981.
- [35] Tułeczki A.: *LCC – miarą efektywności pojazdów szynowych*. Przegląd kolejowy nr 6, 9-12, 1999.
- [36] Ulatowski W.: *Analiza kosztów urządzeń infrastruktury tramwajowej w pełnym cyklu życia*. TTS nr 9, 47-49, 2007
- [37] Waghmode L. Y., Sahasrabudhe A.D.: *Product Life Cycle Cost Modelling - A suggested Framework*. First International Conference on Emerging Trends in Engineering and Technology, 745-748, 2008.

THE LIFE CYCLE COST ANALYSIS (LCCA) OF TECHNICAL OBJECT IN DEPENDABILITY ASPECT

Abstract

In the article the problem of economic dependability assessment of a repairable technical object is described. The meaning of life cycle costing as well as the relationship between dependability and LCC are explained. Moreover typical life cycle cost elements and dependability parameters closely related to LCC are characterized. Subsequently life cycle cost analysis of theoretical model based on the reliability of the technical object are presented. In this paper the importance of taking into account the reliability characteristics of object, while calculating operation and maintenance costs, which are incurred during its lifetime, is proven.

Keywords: Life Cycle Cost (LCC), operation and maintenance costs, dependability



KAPITAŁ LUDZKI
NARODOWA STRATEGIA SPÓJNOŚCI



DOLNY
ŚLĄSK

UNIA EUROPEJSKA
EUROPEJSKI
FUNDUSZ SPOŁECZNY



Publikacja współfinansowana ze środków Europejskiego Funduszu Społecznego
oraz budżetu województwa dolnośląskiego