

Jarosław SELECH¹, Przemysław KURCZEWSKI²

e-mail: jaroslaw.selech@put.poznan.pl

¹Instytut Maszyn Roboczych i Pojazdów Samochodowych, Wydział Maszyn Roboczych i Transportu, Politechnika Poznańska, Poznań²Instytut Silników Spalinowych i Transportu, Wydział Maszyn Roboczych i Transportu, Politechnika Poznańska, Poznań

Metoda szacowania kosztu cyklu życia (LCC) i jej zastosowanie w dziedzinie budowy i eksploatacji obiektów technicznych

Wstęp

Koncepcja szacowania kosztu cyklu życia (*Life Cycle Costing*) wzbudza coraz szersze zainteresowanie w wielu branżach i gałęziach przemysłu i usług. Dotyczy to także jej roli jako narzędzia wspomagającego projektowanie w dziedzinie budowy i eksploatacji obiektów technicznych. Ze względu na różnorodność proponowanych w literaturze rozwiązań metodycznych zachodzi potrzeba ich skorelowania z różnymi obszarami zastosowań. Służy temu niniejsza praca, w której w ramach LCC uwzględniono podział kosztów na koszty ponoszone przez producenta w fazie przedprodukcyjnej, produkcyjnej i poprodukcyjnej. W tej ostatniej koszty podzielono na koszty ponoszone przez producenta jak i przez konsumenta w okresie eksploatacji.

Celem pracy jest prezentacja aspektów metodycznych LCC i uzupełnienie badaniami wybranej chłodziarko-zamrażarki, jako części ekoprojektowania tej kategorii obiektów.

Metodyka

Analiza LCC wiąże aspekty ekonomiczne i techniczne ocenianego obiektu w całym jego cyklu życia. Polska Norma PN-EN 60300-3-3 definiuje LCC jako *łączny koszt ponoszony w cyklu życia wyrobu* [1]. Na ogół łączne koszty ponoszone w wymienionych etapach można podzielić na koszty nabycia, koszty posiadania i koszty likwidacji [2]:

$$LCC = K_{nabycia} + K_{posiadania} + K_{likwidacji} \quad (1)$$

Koszty cyklu życia produktu dzieli się też w literaturze na:

- koszty badań i rozwoju,
- koszty konstruowania i produkcji,
- koszty wsparcia procesu produkcji i eksploatacji produktu,
- koszty wycofania produktu z rynku.

Koszty badań i rozwoju obejmują koszty planowania produktu, prowadzenia prac badawczych, dokumentacji projektowej, oprogramowania, przeprowadzania testów produktów i ich oceny.

Koszty konstruowania i produkcji są związane z opracowaniem najkorzystniejszego wariantu wyrobu i sekwencji procesów wytwórczych niezbędnych do wytworzenia oraz montażu poszczególnych części produktu. Obejmują one m.in. koszty zarządzania projektowaniem, analizy technologii i operacji produkcyjnych, prac konstrukcyjnych, wytwarzania i kontroli jakości [3].

Koszty wsparcia procesu produkcji i eksploatacji produktu obejmują m. in. koszty dystrybucji (marketingu, sprzedaży, transportu, zarządzania sprzedażą) i serwisu. Ujmują one koszty użytkowania, które dla nabywców stają się coraz istotniejszym kryterium decyzyjnym.

Koszty wycofania produktu z rynku są związane z ograniczeniem jego wpływu na środowisko naturalne (demontaż, utylizacja itd.). Ogólna formuła obliczeniowa kosztów ponoszonych przez przedsiębiorstwo w całym cyklu życia produktu K_c przyjmuje następującą postać:

$$K_c = K_{br} + K_w + K_{so} + K_z \quad (2)$$

gdzie:

- K_{br} – koszty badań i rozwoju,
- K_w – koszty wytworzenia w całym cyklu życia produktu,
- K_{so} – koszty sprzedaży i ogólnego zarządu w cyklu życia,
- K_z – koszty zakończenia produkcji [4].

Przy obliczaniu rachunku kosztów cyklu życia produktu bardzo ważne jest, aby podejmując decyzje uwzględnić ryzyko i możliwy zakres zmiany wyników LCC. Niepewność obliczeń analizy uzależniona jest

głównie od dokładności danych. Za regułę uważa się, że 80% kosztów jest określana na etapie rozwoju i projektowania.

Analiza kosztów cyklu życia chłodziarko-zamrażarki

W ocenie kosztów cyklu życia badanej chłodziarko-zamrażarki założono, iż wykorzystana zostanie metoda szacowania kosztów przez analogię z uwzględnieniem etapów cyklu życia, zaś dane potrzebne do obliczeń szacowane będą na podstawie danych historycznych dostępnych dla podobnych modeli chłodziarko-zamrażarek wycofanych już z produkcji [4]. Zakresem analizy objęto:

- określenie struktury kosztów,
- ustalenie kosztów dla wybranych kategorii struktury kosztów,
- analizę LCC z punktu widzenia producenta,
- analizę LCC z punktu widzenia użytkownika.

Zilustrowany w niniejszej pracy model LCC oparty został na trzech głównych fazach cyklu życia (zgodnie z nomenklaturą dla LCC mówi się o fazach, a nie etapach). Dodatkowo LCC podzielono na koszty ponoszone przez producenta oraz klientów.

Ocena kosztów cyklu życia oparta została na podziale kosztów ponoszonych w fazach:

- przedprodukcyjnej
- produkcyjnej,
- poprodukcyjnej.

Sumaryczny koszt opisuje wzór:

$$LCC = C_{pp} + C_{pr} + C_d \quad (3)$$

gdzie:

- C_{pp} – koszt fazy przedprodukcyjnej,
- C_{pr} – koszt fazy produkcyjnej,
- C_d – koszt fazy poprodukcyjnej (demontaż i utylizacja).

Koszty fazy przedprodukcyjnej

Ocena kosztów cyklu życia to ujęcie kosztów ponoszonych od zrodzenia się koncepcji produktu, poprzez produkcję aż do wycofania produktu z rynku. W fazie przedprodukcyjnej zostają poniesione koszty początkowe inwestycji oraz koszt montażu i rozruchu.

$$C_{pp} = C_{ic} + C_{in} \quad (4)$$

gdzie:

- C_{ic} – koszt początkowy inwestycji,
- C_{in} – koszt montażu i rozruchu.

Zestawienie kosztów fazy przedprodukcyjnej obrazuje tab. 1.

Tab. 1. Koszty fazy przedprodukcyjnej

Rodzaj kosztu	Wartość [zł]
Koszt początkowy inwestycji	390 980
Koszt montażu i rozruchu	121 000

Tak więc łączny koszt fazy przedprodukcyjnej to 511 980 zł, w którym 76% to koszt początkowy inwestycji.

Koszty fazy produkcyjnej

Faza produkcyjna obejmuje 4 lata wytwarzania badanych chłodziarko-zamrażarek. W czasie całego cyklu produkcyjnego zostaje wytworzonych ich 16 000. Łączny koszt ponoszony w tej fazie przyjmuje postać następującego równania:

$$C_{pp} = C_e + C_{st} + C_z, \quad (5)$$

gdzie:

- C_e – koszt energii,
 C_{st} – koszty stałe,
 C_z – koszty zmienne.

Korzystając ze wzoru (5) wyznaczono koszty fazy produkcyjnej (na podstawie danych z tab. 2). Wyniosły one 9 791 680,00 zł. Największy udział w nich mają koszty stałe. Koszty energii i koszty zmienne mają zbliżoną do siebie wielkość. Mają one jednocześnie procentowo niewielki udział w kosztach produkcyjnych, jednak są istotne dla obliczeń *LCC*, gdyż wywierają wpływ na końcowy wynik analizy.

Tab. 2. Koszty fazy produkcyjnej

Rodzaj kosztu	Wartość [zł]
Koszty energii	29 959,20
Koszty stałe	9 732 403,80
Koszty zmienne	29 317

Koszty demontażu

Ostatnim etapem cyklu życia w myśl założeń metody *LCC* jest faza poprodukcyjna. Zostają poniesione koszty demontażu i utylizacji. W przeprowadzanej analizie *LCC* koszt ten został określony na podstawie danych rynkowych dot. zagospodarowania zużytego sprzętu elektrycznego i elektronicznego. Koszty demontażu i utylizacji chłodziarko-zamrażarki (Tab. 3) są równe:

Tab. 3. Koszty demontażu i utylizacji

Rodzaj kosztu	Wartość [zł]
Koszt transportu z marżą przewoźnika	166 400
Koszt przetwarzania (po odjęciu przychodów ze sprzedaży surowców)	158 400
Koszt utylizacji materiałów niebezpiecznych	25 600

$$C_d = C_{dt} + C_{dp} + C_{du}, \quad (6)$$

gdzie:

- C_{dt} – koszt transportu z marżą przewoźnika,
 C_{dp} – koszt przetwarzania (po odjęciu przychodów ze sprzedaży surowców),
 C_{du} – koszt utylizacji materiałów niebezpiecznych.

Korzystając ze wzoru (6) wyznaczono całkowity koszt demontażu i utylizacji w wysokości 350 400 zł. Koszt ten został pomniejszony o przychody ze sprzedaży surowców pochodzących z demontażu chłodziarko-zamrażarki. Ich przykładowe wartości rynkowe to: miedź – ok. 14 zł/kg, aluminium – 3,40 zł/kg, cynk – 2 zł/kg.

Z przeprowadzonej analizy wynika, że 92% ponoszonych kosztów to koszty pochodzące z fazy produkcyjnej. Początkowy etap to 5% wszystkich wydatków, natomiast faza poprodukcyjna pochłania 3% wszystkich kosztów. Najważniejsze uzyskane wyniki przedstawiono w tab. 4.

Tab. 4. Koszty cyklu życia chłodziarko-zamrażarki w poszczególnych fazach

Rodzaj kosztu	Wartość [zł]
C_{pp}	511 980
C_{pr}	9 791 680
C_d	350 400

Koszty fazy eksploatacyjnej

Przedstawiona dotychczas w pracy analiza *LCC* nie obejmowała kosztów fazy eksploatacji. Koszty te zostają poniesione przez użytkownika i nie obciążają bezpośrednio wytwórcy. Dla ich uwzględnienia niezbędne jest wcześniejsze określenie kosztów cyklu życia ponoszonych

przez konsumenta. *LCC* dla nabywcy badanej chłodziarko-zamrażarki jest równe:

$$LCC_N = C_n + C_p, \quad (7)$$

gdzie:

- LCC_N – ocena kosztów cyklu życia przez użytkownika,
 C_n – koszt nabycia,
 C_p – koszt posiadania.

Koszt nabycia jest to kwota, jaką musi zapłacić konsument przy zakupie chłodziarko-zamrażarki. Jest to dla niego koszt początkowy. Cena badanej chłodziarko-zamrażarki wynosi 1 600 zł. Po dokonaniu zakupu użytkownik rozpoczyna eksploatację. Na tym etapie ponosi koszty energii i użytkowania:

$$C_n = C_e + C_u, \quad (8)$$

gdzie:

- C_e – koszt energii,
 C_u – koszt użytkowania.

Badana chłodziarko-zamrażarka zużywa rocznie ok. 253 kWh energii. Przyjmując 15 lat użytkowania koszt energii wynosi 910,80 zł. Do kosztów użytkowania należą też koszty czyszczenia oraz wszelkie naprawy dokonywane po okresie gwarancyjnym. W ciągu 15 lat konsument podczas czyszczenia zużywa ciepłą wodę oraz detergent, a także wymienia średnio 3 razy czynnik chłodzący R600. Przeliczając to na koszty otrzymano: koszt zużycia wody – 1,55 zł, koszt detergentu – 4 zł, koszt naprawy (stawka serwisanta + dojazd) – 270 zł, czyli koszt użytkowania chłodziarko-zamrażarki w okresie 15 lat wynosi 275,55 zł, natomiast całkowity koszt posiadania to 1 186,35 zł.

W prezentowanym przypadku założono, że koszt demontażu i utylizacji to koszt, który ponosi wytwórca. Istnieją jednak sytuacje, w których koszt ten ponosi użytkownik. Jest to kwota 60 zł za chłodziarko-zamrażarkę. Ocena kosztu cyklu życia chłodziarko-zamrażarki dla klienta, przy uwzględnieniu kosztu końcowego zagospodarowania daje kwotę 2845,36 zł, przy czym koszt nabycia to 56% całej kwoty.

Wnioski

Każdy projekt inwestycyjny wymaga oceny jego opłacalności przez przedsiębiorstwo. Jak wykazano w pracy [5] metoda szacowania kosztów cyklu życia jest do tego optymalnym narzędziem, biorąc pod uwagę współczesne pojmowanie odpowiedzialności producenta za wyrób.

Najwięcej korzyści przynosi przedsiębiorstwu systematyczne stosowanie metody *LCC* jako narzędzia ekoprojektowania, które znajduje zastosowanie zarówno w projektowaniu nowych, jak i doskonaleniu już istniejących obiektów technicznych.

W przedstawionym przykładzie kluczowymi czynnikami wpływającymi na ostateczną wielkość kosztów *LCC* były koszty poniesione w fazie produkcyjnej. Stanowią one 92% wszystkich ponoszonych kosztów. Faza przedprodukcyjna to 5% wszystkich wydatków, natomiast faza poprodukcyjna stanowi ok 3% wszystkich kosztów. Z perspektywy klienta w 15-letnim okresie użytkowania badanego obiektu koszty użytkowania wyniosły 56% ceny zakupu.

LITERATURA

- [1] Polska Norma PN-EN 60300-3-3: Zarządzanie niezawodnością. Przewodnik zastosowań. Szacowanie kosztu cyklu życia, s.11, PKN listopad 2006.
- [2] M. Świdzki: Analiza *LCC* (*Life Cycle Cost Analysis*) narzędziem wspomagającym ocenę projektów inwestycyjnych związanych z techniką pompową. IX forum użytkowników pomp. Szczyrk październik 2003.
- [3] Y. Asiedu, P. Gu: International Journal of Production Research, **36**, nr 4, 883 (1998).
- [4] E. Nowak, R. Piechota, M. Wierziński: Rachunek kosztów w zarządzaniu przedsiębiorstwem, s. 101. PWE, Warszawa 2004.
- [5] P. Kurczewski, A. Lewandowska: Zasady prośrodowiskowego projektowania obiektów technicznych dla potrzeb zarządzania ich cyklem życia. Wyd. KMB DRUK Poznań 2008.