

Maciej Szkoda, Adam Tutecki

Analiza efektywności modernizacji lokomotywy manewrowej serii SM42

Wśród przedsięwzięć zmierzających do podwyższenia efektywności transportu kolejowego istotną rolę spełniają działania w zakresie obniżenia kosztów eksploatacji i utrzymania pojazdów trakcyjnych. Drogą do osiągnięcia tego celu jest modernizacja lokomotyw spalinowych, dodatkowo uwzględniająca uwarunkowania w zakresie emisji spalin i hałasu. W artykule przedstawiono ocenę efektywności modernizacji lokomotywy manewrowej serii SM42 6Dg/A na podstawie analizy LCC i analizy korzyści-kosztów. Przeprowadzona analiza miała na celu określenie wymiernych efektów ekonomicznych uzyskiwanych dzięki modernizacji lokomotywy w 25-letnim okresie eksploatacji.

Podstawowe założenia modernizacji lokomotyw spalinowych to:

- zmniejszenie kosztów zużycia paliwa i materiałów eksploatacyjnych,
- dostępność nowych podzespołów i części zamiennych,
- zwiększenie gotowości technicznej,
- zwiększenie przebiegów międzynaprawczych,
- poprawa warunków pracy maszynisty,
- zmniejszenie negatywnego wpływu na środowisko naturalne.

W ostatnich latach ze strony przewoźników kolejowych obserwuje się duże zainteresowanie modernizacją lokomotyw spalinowych. Zostały wykonane lub są w trakcie wykonywania modernizacje lokomotyw liniowych serii: ST44, SU45, SU46, SP32 oraz lokomotyw manewrowych: SM48 i SM42 [2, 8].

Tematem artykułu jest ocena efektywności modernizacji lokomotywy manewrowej serii SM42. Ocena ta była przedmiotem prac badawczych wykonanych w Instytucie Pojazdów Szynowych Politechniki Krakowskiej w latach 2007–2011 [3, 9]. O ile pierwsze prace opierały się głównie na danych szacunkowych, to w niniejszej ocenie zostały uwzględnione dane pozyskane z rzeczywistej eksploatacji. Do wykonania oceny efektywności zastosowano analizę kosztu cyklu trwałości (*Life Cycle Cost Analysis*) oraz analizę korzyści-kosztów (*Cost-Benefit Analysis*).

Warianty podlegające analizie

W analizie efektywności modernizacji lokomotywy SM42 przyjęto dwa warianty:

- SM42 6D: niezmodernizowana lokomotywa serii SM42 z silnikiem HCP a8C22,
- SM42 6Dg/A: zmodernizowana dla potrzeb PKP Cargo S.A. lokomotywa SM42 w wersji 6Dg/A z silnikiem Caterpillar C27.

W 2007 r. Spółka Akcyjna NEWAG wykonała dla potrzeb przedsiębiorstwa ISD Huta Częstochowa Sp. z o.o. prototypową modernizację lokomotywy spalinowej serii SM42. Lokomotywa po modernizacji została oznaczona symbolem 6Dg. W 2009 r. podczas targów TRAKO w Gdańsku zaprezentowano lokomotywę SM42-1501 zmodernizowaną dla PKP Cargo S.A., którą oznaczo-

no jako 6Dg/A (fot. 1). Obecnie w eksploatacji znajdują się 3 lokomotywy w wersji 6Dg (ISD Huta Częstochowa Sp. z o.o.) oraz 21 lokomotyw w wersji 6Dg/A (PKP Cargo).

W wyniku modernizacji dotychczasowy silnik zastąpiono nowym, 12-cylindrowym, wysokoprężnym silnikiem spalinowym firmy Caterpillar model C27 o mocy 653 kW, a od końca 2010 r. – o mocy 708 kW spełniającym normy Stage IIIB według dyrektywy 2004/26/WE. Na lokomotywie zabudowano zespół prądnic synchronicznych, składający się z prądnicy głównej i pomocniczej. W obwodach pomocniczych zainstalowano falowniki do regulacji silników elektrycznych i napędów urządzeń pomocniczych lokomotywy. Zmodernizowana lokomotywa ma przekładnię elektryczną AC–DC (prąd przemienny – prąd stały).



Fot. 1. Zmodernizowana lokomotywa SM42 w wersji 6Dg dla ISD Huta Częstochowa Sp. z o.o. i 6Dg/A dla PKP Cargo
Fot. M. Górowski

Układy wspomagające pracę silnika, tj. układ chłodzenia, zasilania, wydechowy, mikroprocesorowy układ sterowania oraz rozwiązania konstrukcyjne połączenia silnika z prądnicą i zabudowy zespołu prądotwórczego na ramie lokomotywy w całości zaprojektowano i wykonano po raz pierwszy w wersji z silnikiem C27. Nowoczesna bryła lokomotywy odpowiada współczesnym wymaganiom ergonomii i bezpieczeństwa. Kabinę maszynisty poddano kompleksowej modernizacji wraz ze zwiększeniem jej powierzchni użytkowej. W kabinie zabudowano dwa ergonomiczne pulpity sterownicze z fotelami maszynisty. Na pulpicie zamontowano monitor, na którym wyświetlane są parametry pracy lokomotywy, co umożliwia ich stałe monitorowanie. Nowa kabina spełnia warunki ergonomii i wysokiego komfortu pracy [3, 9].

W wyniku dokonanej modernizacji powstała pierwsza zarówno na rynku polskim, jak i europejskim lokomotywa z silnikiem spalinowym nowej generacji, spełniającym aktualne normy emisji spalin. Wybrane parametry techniczne lokomotywy zestawiono w tabeli 1.

Tabela 1

Parametry techniczne lokomotywy spalinowej typu 6Dg/A

Układ osi		Bo-Bo
Szerokość toru	[mm]	1435
Rodzaj przekładni		Elektryczna AC/DC
Długość ze zderzakami	[mm]	14 240
Szerokość	[mm]	3170
Wysokość nad główką szyny	[mm]	4323
Masa służbowa lokomotywy	[kg]	70 000
Pojemność zbiornika paliwa	[l]	2350
Moc znamionowa	[kW]	653 (875 KM)/708 (950 KM)
Prędkość obrotowa	[obr./min]	1800
Liczba i układ cylindrów		12 V
Zużycie paliwa na biegu jałowym	[l/h]	4,5
Jednostkowe zużycie paliwa	[g/kWh]	200
Pojemność silnika spalinowego	[l]	27
Siła pociągowa przy rozruchu	[kN]	219
Prędkość maksymalna	[km/h]	85

Analiza kosztu cyklu trwałości

Do oceny efektywności modernizacji lokomotywy SM42 zastosowano analizę kosztu cyklu trwałości (analizę LCC). Analizę przeprowadzono z zastosowaniem 6-etapowej procedury przedstawionej na rysunku 1, uwzględniając wymagania międzynarodowej normy: PN-EN 60300-3-3:2006 *Zarządzanie niezawodnością. Przewodnik zastosowań – Szacowanie Kosztu Cyklu Życia*. Jako miarę efektywności przyjęto koszt cyklu trwałości (LCC) obliczony w 25-letnim okresie eksploatacji lokomotywy.

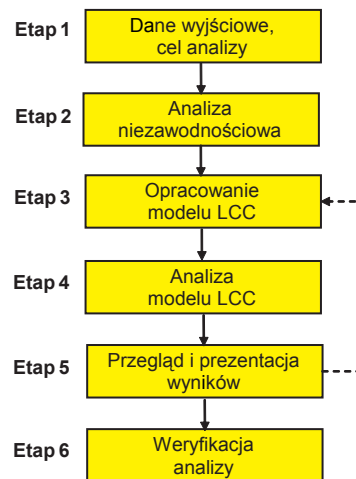
Szczegółowy opis poszczególnych etapów analizy zawarto między innymi w normie PN-EN 60300-3-3 oraz w pracy [7].

Założenia wstępne

Przyjęto założenie, że analiza ma charakter porównawczy, polegający na porównaniu efektów ekonomicznych uzyskiwanych przy eksploatacji lokomotywy przed modernizacją do efektów uzyskiwanych po jej modernizacji. W pierwszym etapie analizy opracowano zbiór danych wyjściowych, zarówno dla lokomotywy niezmodyfikowanej, jak i zmodyfikowanej.

Dane dotyczące lokomotywy niezmodyfikowanej:

- rozkład obciążenia lokomotywy dla rzeczywistych warunków eksploatacji,



Rys. 1. Procedura kalkulacji LCC dla zmodernizowanej lokomotywy SM42

- rzeczywiste zużycie paliwa i oleju silnikowego,
- czas pracy, przebieg, praca przewozowa w ciągu roku,
- okresowość, pracochłonność i koszty obsługi profilaktycznych wynikających z cyklu utrzymania,
- parametry niezawodnościowe: $H(t)$, $MTTF$, $MTBF_n$, $F_n(t)$, $MTTR$, A .

Dane dotyczące lokomotywy zmodernizowanej:

- specyfikacje techniczne i charakterystyki dla nowego silnika spalinowego,
- zakres, okresowość obsługi technicznych dla nowych układów i podzespołów,
- nowy cykl utrzymania dla prototypowej lokomotywy.

Na podstawie danych eksploatacyjnych parku lokomotyw serii SM42 zebranych w latach 2007–2009 w przedsiębiorstwie PKP CARGO S.A., określono harmonogram obciążenia silnika spalinowego oraz następujące wskaźniki eksploatacyjne:

- średni czas pracy silnika spalinowego 5000 mth/rok,
- średni przebieg lokomotywy 42 000 km/rok,
- średnie zużycie paliwa 72 696 kg/rok,
- średnie zużycie oleju silnikowego 447,6 kg/rok.

Do analizy wykorzystano również dane eksploatacyjne dla lokomotyw zmodernizowanych, które zostały zebrane w latach 2007–2011 podczas eksploatacji nadzorowanej, prowadzonej przez:

- ISD Huta Częstochowa Sp. z o.o. (lokomotywy 6Dg),
- PKP Cargo S.A. (lokomotywy 6Dg/A).

Zgromadzone dane dotyczą:

- zużycia paliwa i materiałów eksploatacyjnych,
- uszkodzeń lokomotywy i ich przyczyn,
- pracochłonności i zużycia materiałów w przeglądach okresowych lokomotywy.

Model LCC

Ze względu na porównawczy charakter analizy, dla przyjętych wariantów opracowano wspólny model kosztu, w którym LCC wyrażono następującą formułą:

$$LCC = K_N + K_P \quad (1)$$

gdzie:

LCC – koszt cyklu trwałości,

K_N – koszty nabycia,

K_P – koszty posiadania.

Koszty nabycia K_N w wariantcie bazowym (wariant SM42 6D) stanowią koszty naprawy głównej. Dla zmodernizowanej lokomotywy SM42 (wariant SM42 6Dg/A) koszty nabycia stanowią łączne wydatki na modernizację, uwzględniające między innymi: koszty dokumentacji, koszty dopuszczenia do eksploatacji, koszty zakupu i dostawy silnika spalinowego, koszty niezbędnych podzespołów i elementów oraz koszty robocizny. Założono, że modernizacja lokomotywy SM42 będzie przeprowadzona w ramach naprawy głównej pojazdu.

Koszty posiadania K_P to koszty związane z eksploatacją lokomotywy, czyli utrzymaniem i użytkowaniem. Stanowią je koszty zużycia paliwa, oleju silnikowego, utrzymania bieżącego, utrzymania profilaktycznego i inne. Strukturę kosztów, która została przyjęta w modelu LCC, przedstawiono na rysunku 2.

W zastosowanym modelu zdefiniowano 10 elementów kosztów wykorzystując 26 parametrów i funkcji. Wycenę elementów kosztu przeprowadzono z zastosowaniem inżynierskiej metody szacowania kosztu i oparto o ceny stałe (netto) z poziomu 2011 r. Analizę LCC wykonano na niezdykontowanych wartościach kosztów.

Jednym z elementów kosztu w zastosowanym modelu były koszty utrzymania bieżącego (KUB) związane z naprawami bieżącymi lokomotywy. KUB uwzględniają zarówno koszty robocizny, jak również koszty materiałów i części zamiennych. Do wyznaczenia KUB wykorzystano funkcję odnowy $H(t)$, wyznaczoną w ramach analizy niezawodnościowej, która wyraża oczekiwaną liczbę uszkodzeń do chwili t . Koszty utrzymania bieżącego lokomotywy w analizowanych wariantach wyrażono następującą formułą:

$$KUB = [H(t_i) - H(t_{i-1})] \cdot (MMH \cdot CPH + ACM) \text{ [zł/rok]} \quad (2)$$

gdzie:

$H(t_i)$ – wartość funkcji odnowy w i -tym roku eksploatacji,

MMH – średnia pracochłonność naprawy bieżącej,

CPH – koszt roboczogodziny przy naprawie bieżącej,

ACM – średni koszt zużycia materiałów w naprawie bieżącej.

Koszty utrzymania profilaktycznego (KUP) stanowią wydatki na naprawy i przeglądy okresowe wynikające z cyklu utrzymania lokomotywy.

Koszty braku gotowości (KBG) to suma kosztów będących konsekwencją znajdowania się lokomotywy w stanie uniemożliwiającym wykonanie przewidzianych do realizacji zadań. Do kosztów braku gotowości zalicza się np.: koszty kar umownych,

koszty gwarancji, koszty utraconych możliwości i inne. W formule obliczeniowej na KBG wykorzystywany jest wskaźnik gotowości technicznej (A) wyznaczony w ramach analizy niezawodnościowej.

Koszty zużycia oleju napędowego (KZP) i oleju silnikowego (KZO) obliczono na podstawie charakterystyk uniwersalnych silników HCP a8C22 i CAT C27 oraz danych eksploatacyjnych zgromadzonych przez PKP Cargo S.A.

Koszty opłat środowiskowych (KOS) związane są z opłatami ustalonymi przez Ministerstwo Środowiska za emisję szkodliwych substancji zawartych w spalinach. Wysokość tych opłat zależy od wskaźników publikowanych przez ministerstwo i jest proporcjonalna do zużycia paliwa przez lokomotywę.

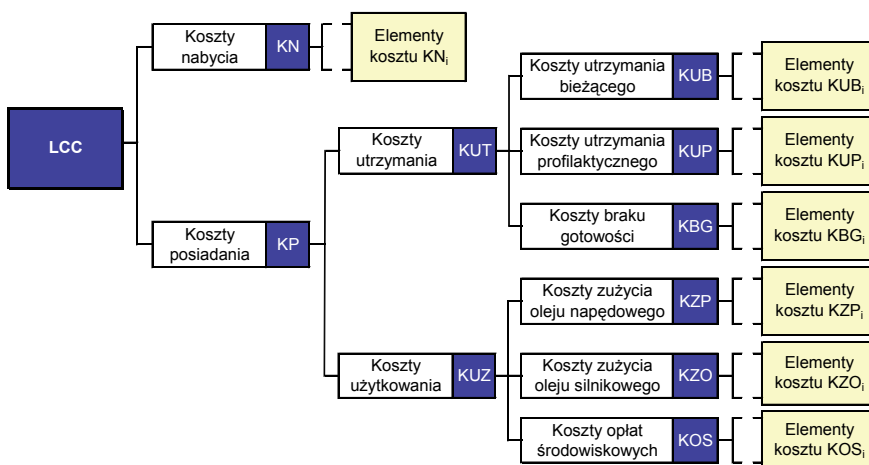
Analiza modelu LCC i wyniki końcowe

Analiza modelu kosztu wykazała, że proponowany wariant modernizacji lokomotywy SM42 w wersji 6Dg/A jest w pełni uzasadniony ekonomicznie. Z obliczeń przeprowadzonych przy zastosowaniu oprogramowania CATLOC wynika, że modernizacja lokomotywy zapewnia bardzo duże oszczędności w kosztach całkowitych – około 6,0 mln zł, tj. 33,1% mniej w porównaniu do lokomotywy niezmodernizowanej. Według pierwszych analiz wykonanych w 2007 r. przed powstaniem prototypu lokomotywy oszczędności szacowane były na poziomie 35,9%.

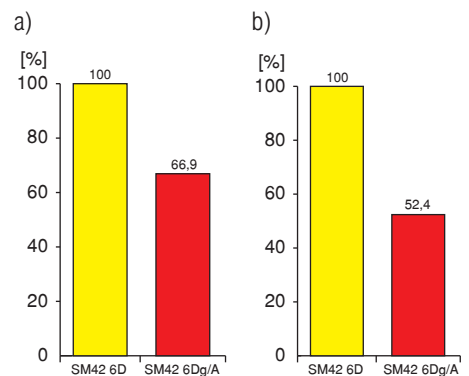
Porównanie kosztów całkowitych (LCC) w 25-letnim okresie dla analizowanych wariantów przedstawiono na rysunku 3a. Bardzo duże oszczędności uzyskuje się w kosztach eksploatacji zmodernizowanej lokomotywy SM42 6Dg/A. Koszty te są aż o 47,6% niższe w porównaniu do lokomotywy niezmodernizowanej (rys. 3b).

Dla niezmodernizowanej lokomotywy SM42 kosztami dominującymi są koszty zużycia paliwa (KZP) 36,1% oraz koszty utrzymania profilaktycznego (KUP) 36,5%. Koszty napraw bieżących oraz braku gotowości stanowią 16,7% kosztów całkowitych (rys. 4a).

Dla zmodernizowanej lokomotywy SM42 6Dg/A znaczące obniżenie kosztów generowanych w cyklu trwałości otrzymano dzięki zwiększeniu niezawodności, gotowości i dostępności części zamiennych. Przekłada się to na redukcję nakładów na utrzymanie bieżące oraz niższe koszty obsługi profilaktycznych pojazdu (przeglądy, naprawy okresowe). Koszty utrzymania profilaktycznego (KUP) lokomotywy zmodernizowanej stanowią 29% kosztów

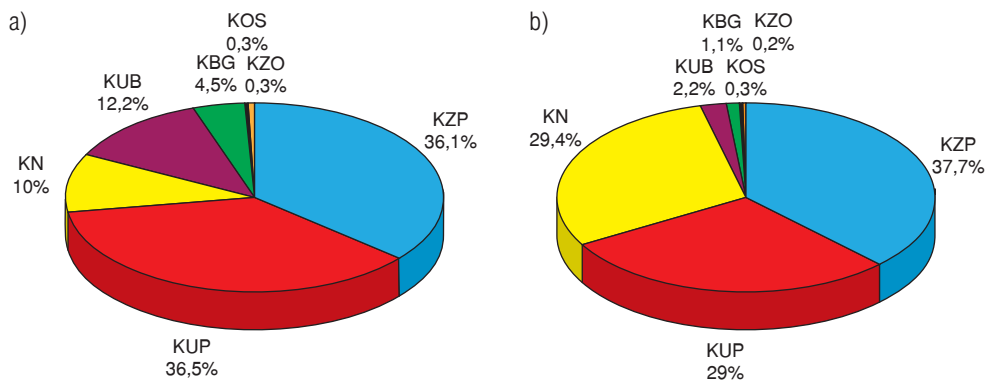


Rys. 2. Struktura kosztów zdefiniowana w modelu LCC



Rys. 3. Porównanie kosztów LCC

a) koszty całkowite, b) koszty posiadania



Rys. 4. Koszty dominujące w LCC analizowanych wariantów

a) wariant SM42 6D, b) wariant SM42 6Dg/A

KZP – koszty zużycia paliwa, KUP – koszty utrzymania profilaktycznego, KN – koszty nabycia, KUB – koszty utrzymania bieżącego, KBG – koszty braku gotowości, KOS – koszty opłat środowiskowych, KZO – koszty zużycia oleju silnikowego

ogółem, a utrzymania bieżącego (KUB) niewiele ponad 2,2%. Największy udział w LCC mają koszty zużycia paliwa (KZP) – 37,7% (rys. 4b).

Największe oszczędności w ujęciu wartościowym w stosunku do lokomotywy niezmodernizowanej dotyczą kosztów zużycia oleju napędowego i kosztów oleju silnikowego. Oszczędności te są uzależnione od warunków eksploatacji lokomotywy, która wykonuje w przedsiębiorstwie PKP Cargo bardzo zróżnicowaną pracę, tj. od lekkiej pracy manewrowej ze składami pasażerskimi do ciężkiej pracy na górcie rozrządowej ze składami towarowymi. Eksploatacja nadzorowana wykazała, że oszczędności w zużyciu paliwa wynoszą średnio 30,2%, a w zużyciu oleju silnikowego 57,8%. Biorąc pod uwagę aktualną tendencję wzrostu cen paliw, w planowaniu długookresowym ma to ogromne znaczenie.

Na rysunku 5 przedstawiono rozkład kosztów posiadania dla zmodernizowanej lokomotywy w 25-letnim okresie eksploatacji, gdzie: KZP – koszty zużycia paliwa, PU5 – koszty poziomu utrzymania 5, PU4 – koszty poziomu utrzymania 4, PU3 – koszty poziomu utrzymania 3, PU2 – koszty poziomu utrzymania 2, PU1 – koszty poziomu utrzymania 1, KUB – koszty napraw bieżących, KBG – koszty braku gotowości, KOS – koszty opłat środowiskowych, KZO – koszty zużycia oleju silnikowego.

W przeprowadzonej analizie wykazano, że modernizacja lokomotywy spalinowej serii SM42 w wersji 6Dg/A zapewnia znaczące oszczędności w kosztach eksploatacji w stosunku do lokomotywy niezmodernizowanej. W tabeli 2 zestawiono średni poziom oszczędności w ujęciu rocznym dla wybranych kategorii kosztów zmodernizowanej lokomotywy SM42 w wersji 6Dg/A.

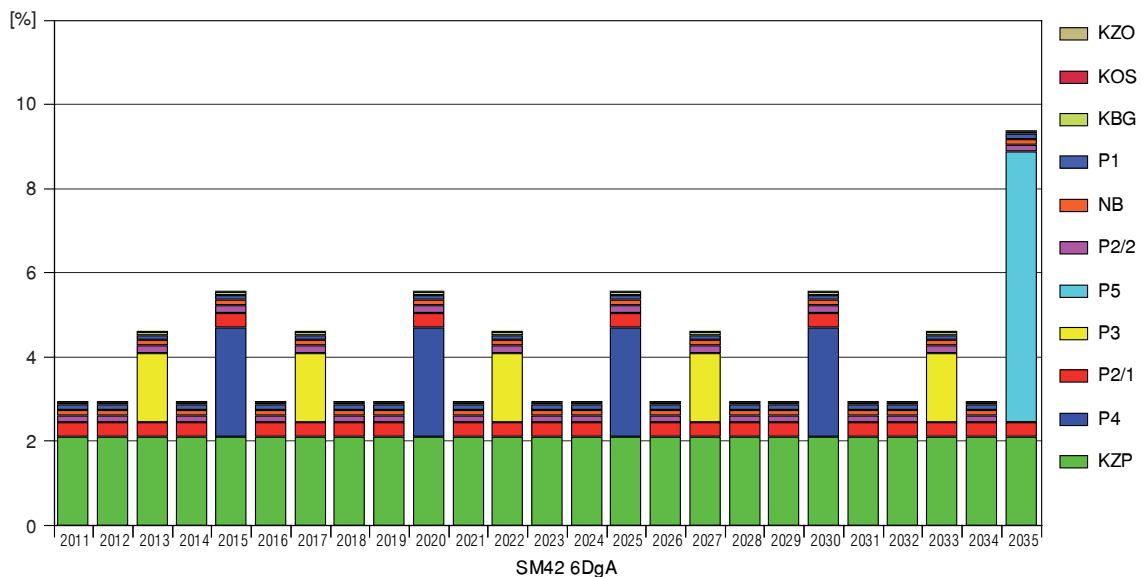
Tabela 2

Poziom oszczędności w ujęciu rocznym dla lokomotywy SM42 6Dg/A

Kategoria kosztu	Poziom oszczędności
Koszty utrzymania profilaktycznego KUP	53,2%
Koszty utrzymania bieżącego KUB	87,7%
Koszty zużycia oleju napędowego KZP	30,2%
Koszty zużycia oleju silnikowego KZO	57,8%
Koszty braku gotowości KBG	83,8%
Koszty opłat środowiskowych KOS	30,2%

Analiza korzyści–kosztów

W kolejnym etapie oceny efektywności modernizacji lokomotywy SM42 przeprowadzono analizę korzyści–kosztów, która polega – w uproszczeniu – na sprowadzeniu zakładanych przyszłych kosz-



Rys. 5. Rozkład kosztów posiadania dla lokomotywy SM42 6Dg/A w 25-letnim okresie eksploatacji

tów i korzyści z modernizacji lokomotywy do wartości aktualnych, z uwzględnieniem zmiany wartości pieniądza w czasie. Celem analizy jest dostarczenie informacji, czy modernizacja lokomotywy dostarcza odpowiednich korzyści adekwatnych do kosztów modernizacji.

Analizę przeprowadzono zgodnie z zaleceniami UNIDO – Organizacji Narodów Zjednoczonych do Spraw Rozwoju Przemysłowego. W analizie uwzględniono wszystkie dane kosztowe opracowane dla potrzeb kalkulacji LCC oraz uzupełniono je o dodatkowe założenia, jak: stopę dyskontową, koszty amortyzacji, obciążenia podatkowe, przychody z działalności i inne. W celu przeprowadzenia pełnej analizy efektywności finansowo-ekonomicznej modernizacji określono następujące podstawowe wskaźniki [1]:

- zaktualizowaną wartość netto (*Net Present Value*) NPV,
- wewnętrzną stopę zwrotu (*Internal Rate of Return*) IRR,
- okres zwrotu nakładu (*Payback Period*) PP,
- współczynnik korzyści-koszty (*Benefit/Cost Ratio*) B/C Ratio.

Wartości wybranych wskaźników charakteryzujących poziom efektywności, obliczonych przy wykorzystaniu programu komputerowego UNIDO Comfar III Expert, dla stopy dyskontowej $i = 7\%$, zestawiono w tabeli 3.

Tabela 3

Wybrane wskaźniki efektywności modernizacji lokomotywy SM42 6Dg/A

Wariant	Wskaźnik
SM42 6Dg/A	NPV = 2 494 543,90 zł
	IRR = 21,35 %
	PP = 7 lat
	B/C Ratio = 1,59

Na podstawie przeprowadzonej analizy korzyści–kosztów stwierdzono, że modernizacja lokomotywy SM42 w wersji 6Dg/A wykazuje pełną efektywność i ekonomiczne uzasadnienie. Dodatkowo dla analizowanego wariantu modernizacji przeprowadzono analizę wrażliwości, mającą na celu określenie tzw. nakładów granicznych, czyli maksymalnych nakładów na modernizację lokomotywy. Uwzględniając wszystkie założenia z analizy LCC oraz wymagania dotyczące sposobu finansowania przedsięwzięcia, obliczony margines bezpieczeństwa ze względu na nakłady inwestycyjne wynosi aż 98,9%. Przy takim wzroście aktualnych nakładów na modernizację, efekty ekonomiczne uzyskiwane w 25-letnim okresie eksploatacji lokomotywy są porównywalne do efektów uzyskiwanych dla lokomotywy przed modernizacją.

Podsumowanie

Celem modernizacji lokomotywy spalinowej serii SM42 jest przywrócenie, poprawa i dostosowanie do współczesnych wymagań własności użytkowych. Główne obszary przebudowy i modernizacji powinny dotyczyć: zespołu napędowego z silnikiem o ograniczonym poziomie emisji spalin, sterowania mikroprocesorowego zespołem silnik–prądnice, poprawy ergonomii kabiny i stanowiska pracy maszynisty, ekonomicznego napędu maszyn i urządzeń pomocniczych oraz poprawy elementów układu hamulcowego.

Baza danych wyjściowych do analizy i oceny efektywności modernizacji została oparta na aktualnych kosztach modernizacji, kosztach utrzymania profilaktycznego i bieżącego oraz cenach oleju napędowego i silnikowego. Dane dotyczące poziomu zużycia paliwa zostały wykorzystane w stanie rzeczywistym i uwzględniały zróżnicowany charakter pracy lokomotywy. W przeprowadzonej ocenie efektywności wykazano, że modernizacja lokomotywy spalinowej serii SM42 w wersji 6Dg/A zapewnia istotne oszczędności w kosztach eksploatacji w stosunku do lokomotywy niezmodyfikowanej. W okresie 25 lat użytkowania pojazdu oszczędności te mogą wynosić około 6 mln zł dla jednej lokomotywy.



Literatura

- [1] Hawranek P.M., Behrens W.: *Poradnik przygotowania przemysłowych studiów feasibility*. UNIDO Warszawa 1993.
- [2] Marciniak Z.: *Dotychczasowe projekty modernizacji lokomotyw spalinowych w Polsce*. Technika Transportu Szynowego 9/2005.
- [3] *Studium techniczno-ekonomiczne odnowy parku pojazdów trakcyjnych eksploatowanych przez PKP Cargo S.A. Etap IV Modernizacja manewrowej lokomotywy spalinowej serii SM42*. Projekt badawczy M8/631/2006, Politechnika Krakowska, Instytut Pojazdów Szynowych, Kraków, 2007.
- [4] Szkoda M., Tutecki A.: *Analiza efektywności modernizacji lokomotyw spalinowych serii SM42 i ST44*. Seminarium SITK: Wymagania w zakresie standaryzacji, bezpieczeństwa eksploatacji i utrzymania oraz efektywności inwestycji dla nowego i modernizowanego taboru kolejowego, Warszawa, 2011.
- [5] Szkoda M.: *Analiza kosztu cyklu trwałości LCC w ocenie pojazdów szynowych*. Seminarium SITK: Rynek lokomotyw – rozwiązania techniczne. Aspekty prawne i ekonomiczne modernizacji lokomotyw, Dobieszaków, 2006.
- [6] Szkoda M.: *Metoda oceny kosztu cyklu trwałości (LCC) pojazdu szynowego*. Konferencja SITK: Wymagania w zakresie ochrony środowiska dla taboru kolejowego. Kierunki modernizacji i rozwoju konstrukcji, Cedzyna, 2006.
- [7] Tutecki A., Szkoda M.: *Koszt cyklu trwałości LCC jako model decyzyjny modernizacji pojazdów szynowych*. XVII Konferencja Naukowa POJAZDY SZYNOWE, Kazimierz Dolny, 2006.
- [8] Tutecki A.: *Modele decyzyjne w odnowie parku spalinowych pojazdów trakcyjnych*. Technika Transportu Szynowego 9/2005.
- [9] *Weryfikacja oceny efektywności modernizacji lokomotywy serii SM42 w wersji 6Dg/A*. Projekt badawczy nr M8/76/2011/1, Politechnika Krakowska, Instytut Pojazdów Szynowych, Kraków, 2011.

dr inż. Maciej Szkoda
 dr inż. Adam Tutecki
 Politechnika Krakowska
 Instytut Pojazdów Szynowych