

Adam Tutecki

Modele decyzyjne w odnowie parku spalinowych pojazdów trakcyjnych

Proekologiczny charakter transportu szynowego nie zwalnia kolei od podejmowania działań dla umocnienia swej pozycji na rynku, zwłaszcza europejskim. Opracowywane dokumenty i podejmowane działania przez Parlament Europejski, Radę Europy, Komisję Europejską i UIC zmierzają do dalszego ograniczenia wpływu na środowisko naturalne (emisja spalin, redukcja hałasu, poszukiwanie nowych źródeł energii) [1]. Według Banku Światowego rocznie na świecie w transporcie kolejowym inwestuje się 70 mld USD, z czego 45 mld w infrastrukturę a 25 mld w środki transportowe. Park lokomotyw spalinowych do prac liniowych na świecie w 2000 r. wynosił 86 tys. pojazdów z czego na Unię Europejską przypadła udział w wysokości 13% [2]. Udział trakcji spalinowej w ogólnej działalności przewozowej państw Unii Europejskiej kształtuje się na poziomie 19,7% (w Polsce ok. 8%).

W strukturze parku spalinowych pojazdów trakcyjnych obejmującym lokomotywy liniowe i manewrowe, zespoły trakcyjne i lekkie pojazdy szynowe (autobusy) zachodzą obecnie istotne zmiany. Obserwuje się zmniejszenie ilostanu lokomotyw (w latach 1995–2000 o 28%) przy zwiększającym się udziale zespołów trakcyjnych i pojazdów do przewozu pasażerów (zwiększenie o 4%) [3]. Cechą charakterystyczną jest również fakt, że 1/3 parku spalinowych pojazdów trakcyjnych w Unii Europejskiej stanowią pojazdy wyprodukowane przed 1970 r.

W ostatnim okresie czasu obserwuje się znaczące zmiany wśród operatorów działających na europejskim rynku towarowych przewozów kolejowych. Obok dotychczasowych przedsiębiorstw państwowych pojawiają się prywatni operatorzy, którzy dynamicznie się rozwijając przejmują coraz większe udziały w przewozach. Aktualnie w Polsce około 40 przedsiębiorstw otrzymało koncesje na świadczenie usług w zakresie przewozów towarowych kolejją. Mówiąc więc o odnowie parku spalinowych pojazdów trakcyjnych dla przewozów towarowych w Polsce, trzeba mieć na uwadze dwa sektory przewoźników, które mają różne strategie realizacji celu.

W dalszej części przedstawiono wybrane kryteria ekonomiczno-techniczne, które winny stanowić podstawę decyzyjną w kształtowaniu struktury parku spalinowych pojazdów trakcyjnych. Takie podejście od wielu lat prezentowane jest w pracach badawczo-rozwojowych Instytutu Pojazdów Szynowych Politechniki Krakowskiej [4, 13, 14, 15] zarówno w odniesieniu do parku wagonów towarowych, wagonów osobowych jak również dla pojazdów trakcyjnych.

Odnowa parku lokomotyw spalinowych

System transportowy będący zbiorem środków produkcji, zasobów ludzkich, infrastruktury, materiałów, energii i informacji, powiązanych ze sobą zależnościami funkcjonalnymi realizuje cel nadrzędny, którym jest usługa transportowa. Środkiem produkcji

jest m.in. spalinowy pojazd trakcyjny, stanowiący element zbioru interpretowanego jako ilostan lub też park spalinowych pojazdów trakcyjnych.

Zbiór ten można zapisać jako:

$$PSPT = \{SPL, SPM, SZT, LPS, SPS\}$$

gdzie:

PSPT – park spalinowych pojazdów trakcyjnych,

SPL – spalinowe pojazdy do prac liniowych,

SPM – spalinowe pojazdy do prac manewrowych,

SZT – spalinowe zespoły trakcyjne,

LPS – lekkie pojazdy szynowe z napędem spalinowym (autobusy szynowe),

SPS – spalinowe pojazdy specjalne (drezyny, kolejki górskie itp.).



Rys. 1 Struktura zarządzania parkiem spalinowych pojazdów trakcyjnych

Struktura zarządzania parkiem spalinowych pojazdów trakcyjnych, przedstawiona schematycznie na rysunku 1, uwzględnia poszczególne etapy i fazy cyklu trwałości (życia) pojazdu od chwili jego nabycia do złomowania [5, 17]. Z punktu widzenia gotowości pojazdu istotna jest faza obsługiwanego obejmująca konserwację (przeglądy okresowe), naprawę i modernizację.

Park PSPT ma określoną wartość użytkową, która podlega zmianie w czasie jako rezultat zużywania i starzenia się zespołów, podzespołów, części itp. Procesowi temu towarzyszą zwiększające się koszty utrzymania i eksploatacji.

Odnowa w znaczeniu ogólnym ma na celu odtworzenie lub utrzymanie na określonym poziomie wartości użytkowej obiektu lub systemu. W przypadku spalinowych pojazdów trakcyjnych odnowa parku może być dokonywana poprzez:

- zakup nowych pojazdów,
- modernizację,
- naprawę.

Pod pojęciem modernizacji należy rozumieć wprowadzenie zmian konstrukcyjnych lub zastosowanie nowych zespołów poprawiających właściwości eksploatacyjno-techniczne pojazdu, ale nie zmieniających jego przeznaczenia.

Cel modernizacji:

- poprawa efektywności eksploatacji lokomotywy spalinowej poprzez zmniejszenie zużycia paliwa i materiałów eksploatacyjnych oraz zwiększenie przebiegów międzynaprawczych;

- dostosowanie parametrów techniczno-eksploatacyjnych do wymagań przepisów międzynarodowych;
- poprawa wskaźników oddziaływania na środowisko naturalne;
- poprawa warunków pracy maszynisty lokomotywy – (wskaźniki ergonomiczne);
- wprowadzenie nowoczesnych systemów sterowania.

Potrzeba modernizacji istotnie związana jest również z gospodarką częściami zamiennymi. W większości przypadków wiek eksploatowanych silników spalinowych zawiera się w przedziale 20–30 lat i nie są w większości produkowane. Na rynku występują braki oryginalnych części zamiennych; dostępne produkowane są często przez firmy o małym potencjale technologicznym, co ma wpływ na jakość i trwałość części. Prowadzi to do zwiększenia awaryjności silników, zmniejszenia współczynnika gotowości pojazdów (często na poziomie poniżej 0,8), a w konsekwencji do zwiększenia kosztów utrzymania. Wstępna analiza wykonana dla silnika spalinowego lokomotywy manewrowej serii SM42 wskazuje, że aktualny koszt części zamiennych w przybliżeniu odpowiada cenie nowego silnika.

Modele decyzyjne

Konieczność odnowy parku spalinowych pojazdów trakcyjnych stwarza określoną sytuację decyzyjną wymagającą podjęcia decyzji w oparciu o złożony zbiór zmiennych. Tak jak w większości modeli matematycznych zadań decyzyjnych optymalizacja funkcji kryterium winna być dokonywana w oparciu o parametry ekonomiczne (cena, koszt, nakłady).

Na rysunku 2 przedstawiono schematycznie model decyzyjny odnowy parku spalinowych pojazdów trakcyjnych PSPT. W modelu tym na podstawie zmiennych decyzyjnych określone są efektywne nakłady na odnowę N_e które mogą spełniać warunek:

$$N_e < N_{gr} - \text{modernizacja}$$

$$N_e > N_{gr} - \text{zakup nowych pojazdów}$$

gdzie:

N_{gr} – nakłady na odnowę przy założonym granicznym okresie zwrotu OZ_{gr} .

Na kolejach niemieckich odnowa parku lokomotyw spalinowych, głównie manewrowych typu 218 realizowana jest również poprzez tzw. unowocześnianie, polegające na zastosowaniu katalizatorów, wymianę turbosprężarki, modyfikację pompy wtryskowej i tłoków [6].

Do oceny efektywności odnowy poprzez obliczenie okresu trwałości lub optymalnych nakładów mogą być zastosowane następujące metody:

- modele odnowy sprzedającej,
- proste i dyskontowe metody oceny efektywności przedsięwzięcia,

- kalkulacja kosztów cyklu trwałości LCC,
- analityczny proces sieciowy ANP.

Modele odnowy sprzedającej.

Zgodnie z definicją odnowę nazywamy sprzedającą, jeżeli w chwili wymiany obiekt jest sprawny [7]. Znalazła ona zastosowanie praktyczne w sytuacji gdy obiekty starzeją się podczas eksploatacji prowadząc do zwiększenia intensywności awarii, a tym samym do powstania strat z tytułu zakłóceń w ruchu kolejowym lub też uszkodzenia innych zespołów pojazdu. Odnowę sprzedającą możemy rozpatrywać na dwóch poziomach:

- I – park spalinowych pojazdów trakcyjnych PSPT, gdzie obiektem jest pojazd,
- II – spalinowy pojazd trakcyjny gdzie obiektem jest zespół, podzespół lub element.

W obliczeniach analitycznych uwzględnia się dwa modele odnowy sprzedającej:

- 1) odnowa sprzedająca oparta o wiek elementów,
- 2) cykliczna odnowa sprzedająca.

W pierwszym przypadku obiekty są odnawiane w chwilach uszkodzeń (awarii) lub sprzedająco w chwilach osiągnięcia założonego wieku, natomiast w drugim, cyklicznie dla optymalnej długości cyklu [7, 8].

Metody oceny opłacalności przedsięwzięć

Odnowa parku spalinowych pojazdów trakcyjnych należy do grupy przedsięwzięć inwestycyjnych o charakterze odtworzeniowo-modernizacyjnym, które polegają na zastępowaniu zużytych lub przestarzałych pojazdów nowymi, jak również na modernizacji istniejących w celu obniżenia kosztów utrzymania i eksploatacji..

Wyznaczenie odpowiedniego kryterium oceny przedsięwzięć oraz zastosowanie właściwych metod rachunku opłacalności, przy podejmowaniu decyzji inwestycyjnych, pozwala wytyczyć prawidłowe kierunki rozwoju operatora przewozów jak również przedsiębiorstw produkujących i modernizujących pojazdy.

Wybór opracowanych dotąd i stosowanych w praktyce metod badań efektywności przedsięwzięć inwestycyjnych [9] zależy od indywidualnych cech przedsięwzięcia.

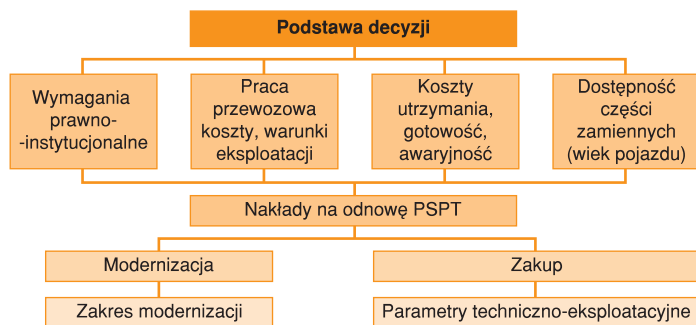
Pośród prostych metod oceny finansowej oraz metod dyskontowych do analizy opłacalności odnowy parku spalinowych pojazdów trakcyjnych można wykorzystać:

- okres zwrotu nakładów – OZ ,
- analizę prognozy rentowności – BEP ,
- wartość zaktualizowaną netto – NPV ,
- wewnętrzną stopę zwrotu – IRR .

Przez okres zwrotu rozumie się czas niezbędny do odzyskania początkowych nakładów na realizację przedsięwzięcia z osiągniętych nadwyżek finansowych. Nadwyżki te obejmują zysk netto oraz amortyzację i są obliczane dla kolejnych lat funkcjonowania przedsięwzięcia.

Metoda okresu zwrotu pozwala na dokonanie wyboru, takiego wariantu przedsięwzięcia, który umożliwi najszybsze odzyskanie początkowych nakładów. Pojedyncze przedsięwzięcie może natomiast zostać zrealizowane, jeżeli charakteryzujący go okres zwrotu jest krótszy lub równy okresowi przyjętemu przez inwestora za dopuszczalny, a określanemu zazwyczaj na podstawie doświadczeń z podobnymi przedsięwzięciami.

Strategia modernizacji spalinowych pojazdów trakcyjnych na kolejach europejskich zakłada, że okres zwrotu nakładów OZ musi



Rys. 2. Model decyzyjny odnowy parku spalinowych pojazdów trakcyjnych PSPT

być mniejszy od 5 lat. Dla tak przyjętego okresu oblicza się efektywne nakłady na modernizację.

Analiza prognozy rentowności obejmuje badanie tzw. punktu wyrównania (*Break-Even-Point*), w którym realizowane przychody ze sprzedaży dokładnie pokrywają poniesione koszty. Jest to punkt graniczny, po przekroczeniu którego realizowane przedsięwzięcie zacznie przynosić zyski. Próg rentowności może być wyrażony ilościowo lub wartościowo. Może on ponadto informować, jaką część zdolności przewozowej trzeba wykorzystać, aby ponoszone koszty zrównoważyć przychodami ze sprzedaży usług.

Metoda dyskontowa wartości zaktualizowanej netto pozwala określić aktualną wartość wpływów i wydatków pieniężnych związanych z realizacją ocenianego przedsięwzięcia odtworzeniowo-modernizacyjnego [9].

Poziom wewnętrzną stopy zwrotu *IRR* określa opłacalność przedsięwzięcia. Jest ono opłacalne, gdy *IRR* jest wyższe od stopy granicznej, będącej najniższą możliwą do zaakceptowania przez inwestora stopą rentowności.

Proste i dyskontowe metody oceny opłacalności przedsięwzięć o charakterze odtworzeniowo-modernizacyjnym zostały wykorzystane w pracach dotyczących efektywności modernizacji lokomotyw serii ST44 i SM42 [13, 15].

Koszty LCC

Kalkulacja kosztów LCC jest od wielu lat międzynarodową podstawą decyzyjną dla elektrowni i samolotów, natomiast w przypadku pojazdów szynowych zaledwie kilka ośrodków europejskich zajmuje się tym zagadnieniem. Mimo początkowych obaw producenci europejscy podjęli problem kosztów LCC, które w naturalny sposób zostały wymuszone przez nabywców zainteresowanych jednoznacznym kryterium decyzyjnym.

Koszty cyklu trwałości LCC są kosztami całościowymi, zawierającymi trzy podstawowe zbiory danych dotyczące kosztów inwestycji, utrzymania i eksploatacji.

$$LCC = K_i + K_u + K_e$$

gdzie:

K_i – koszty inwestycyjne,

K_u – koszty utrzymania,

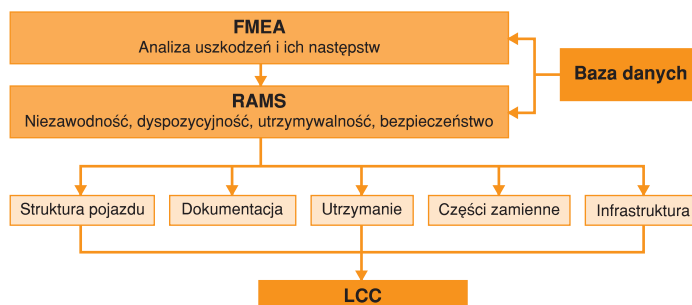
K_e – koszty eksploatacji.

Każdy z elementów zbiorów wymaga dokładnego zdefiniowania i opisanego na podstawie danych eksploatacyjnych, doświadczalnych lub też pozyskanych inną drogą (np. metody eksperckie). Szczegółowo rozpisana struktura pozwala na wykorzystanie kosztów LCC jako:

- podstawy decyzyjnej przy zakupie nowych środków transportu szynowego;
- integrującej części umów przy zakupie – niespełnienie warunków LCC powoduje roszczenia gwarancyjne;
- podstawy decyzyjnej przy modernizacji i przebudowie;
- kryterium oceny technologii, możliwość porównania różnych wariantów procesów technologicznych;
- podstawy kształtowania kosztów usługi transportowej.

Można więc ocenić jak np. wysokie koszty inwestycyjne wpływają na obniżkę kosztów utrzymania i eksploatacji, lub też ogólnie jak każdy element zbioru wpływa na zmianę pozostałych, a tym samym na koszty całościowe LCC.

Identyfikacja składowych kosztów LCC jest stosunkowo prosta [10, 11]. Istota problemu polega na pozyskaniu niezbędnych informacji, budowaniu baz danych, właściwym ich opracowaniu dla potrzeb zbudowanego modelu. Z kalkulacją kosztów LCC pojazdów szynowych ściśle wiąże się model FMEA i RAMS (rys. 3). Analiza uszkodzeń i ich następstw FMEA (*Failure Modes and Effects Analysis*) dostarcza informacji odnośnie eksploatacyjnych konsekwencji uszkodzeń i o sposobie ich usuwania. Model RAMS obejmuje niezawodność (*Reliability*), dyspozycyjność (*Availability*), utrzymywalność (*Maintainability*) i bezpieczeństwo (*Safety*). Pozwala on na określenie wpływu wymienionych parametrów zwłaszcza na koszty inwestycyjne K_i .



Rys. 3. Schemat kalkulacji kosztów LCC

Dotychczas wykonane analizy wskazują, że w przypadku pojazdów szynowych koszty inwestycyjne wynoszą około 50% LCC, natomiast koszty utrzymania 12–25%, a koszty eksploatacyjne 25–38% [10]. Kalkulacja LCC jest szczególnie zalecana dla większych zakupów nowych pojazdów a zwłaszcza drogie, jak np. zespoły trakcyjne dużych prędkości, lokomotywy, wagony osobowe.

Analityczny proces sieciowy

Analityczny proces sieciowy ANP (*Analytic Network Process*) stanowi wielokryterialną metodę podejmowania decyzji, która od nazwiska twórcy nazywana jest również metodą Saaty'ego [12]. Struktura problemu przedstawiona jest w postaci sieci stanowiącej system obiektów, w którym istnieją zależności pomiędzy grupami obiektów i wewnątrz nich oraz sprzężenia zwrotne.

Metoda ANP obejmuje trzy poziomy analizy:

- I. Strategiczne kryteria, w odniesieniu do których szacowany jest system decyzyjny z uwzględnieniem jego podsystemów: korzyści, kosztów, szans, ryzyka.
- II. Kontrolna hierarchia lub sieci kryteriów i subkryteriów, które sprawdzają interakcje w badanym podsystemie.
- III. Sieci zależności pomiędzy elementami i ich grupami.

Proces decyzyjny odnowy parku spalinowych pojazdów trakcyjnych spełnia założenia metody ANP. Dla podsystemów: korzyści, kosztów, szans i ryzyka formułuje się kryteria organizacyjne, produkcyjne, technologiczne i ekonomiczne, dla których można obliczyć wartości priorytetów. Tym samym możemy określić optymalny wariant rozwoju przedsięwzięcia wskazując istotne korzyści i zagrożenia.

Wybrane problemy modernizacji w praktyce

Modernizacja lokomotyw spalinowych nie jest problemem ostatnich lat. W praktyce eksploatacyjnej, głównie nowych operatorów na rynku przewozów kolejowych, podyktowana jest ona zapotrze-

bowaniem na efektywny środek transportowy przy ograniczonych nakładach inwestycyjnych. Na drugim planie pojawiają się problemy oddziaływania na środowisko głównie w zakresie emisji gazów.

W Polsce notuje się stosunkowo dużo przykładów modernizacji lokomotyw spalinowych jak np. lokomotywy SM32, SM42, SM48, ST44 [19]. Mają one jednak charakter jednostkowy i brak jest pełnej strategii w zakresie odnowy parku lokomotyw spalinowych. Decyzja o modernizacji winna być poparta wnikliwą analizą ekonomiczno – techniczną w oparciu o istniejące metody przedstawione poprzednio. Realizowany obecnie powszechnie schemat, że najpierw modernizujemy wg a priori przyjętego zakresu, a później określamy efekty modernizacji jest błędny. Jak podkreślano wielokrotnie w niniejszym artykule, modernizacja jest przedsięwzięciem o charakterze odtworzeniowo-inwestycyjnym i ma swoje zasady i metodykę realizacji.

W tabelicy 1 zestawiono wykonane przykłady modernizacji lokomotyw spalinowych w krajach Europy Środkowo-Wschodniej. Na kolejach niemieckich opracowano strategię rozwoju spalinowych pojazdów trakcyjnych, która od prawie pięciu lat znajduje się w sferze realizacji [6]. Podobne programy są realizowane w Czechach i na Węgrzech, gdzie struktura parku jest zbliżona do istniejącej na kolejach polskich. Zwraca uwagę fakt, że modernizacje wyszły poza zakres prototypów i realizowane są dla coraz większych serii produkcyjnych. Z zestawienia wynika, że liderem w zakresie stosowanych silników spalinowych jest firma Caterpillar, w dalszej kolejności MTU i Kolomna (Rosja).

W wykonanych pracach analitycznych [12, 13, 14, 20] posługiwano się również metodą kosztów LCC w wersji uproszczonej. Na rysunku 4 przedstawiono przykładową strukturę kosztów LCC zmodernizowanej lokomotywy spalinowej przy przyjętym okresie eksploatacji $T=15$ lat. Porównując jednostkowe koszty LCC, przypadające na rok lub na 10 tys. brtkm, lokomotywy przed modernizacją i po modernizacji uzyskujemy jednoznacznie informację o efektywności modernizacji.

Istotny wpływ na efektywność modernizacji mają koszty części zamiennych. W wykorzystywanych modelach decyzyjnych uwzględnia się sytuacje:

- część zamienna będzie wytwarzana w czasie produkcji silnika i wtedy koszt będzie mniejszy,
- część zamienna będzie wytwarzana osobno (po zakończeniu produkcji silnika – lokomotywy przed modernizacją) i z uwagą na technologię koszt wytwarzania będzie większy.

Na rysunku 5 przedstawiono koszty napraw bieżących lokomotywy spalinowej SM42 przy uwzględnieniu wymienionych sytuacji. Silnik a8C22 obecnie jest nie produkowany, a części zamienne dostarczane są przez nowych dostawców, którzy uruchomili ich produkcję. Ich cena, również przy uwzględnieniu ich niższej jakości, jest istotnie wyższa (około czterokrotnie).

Podsumowanie

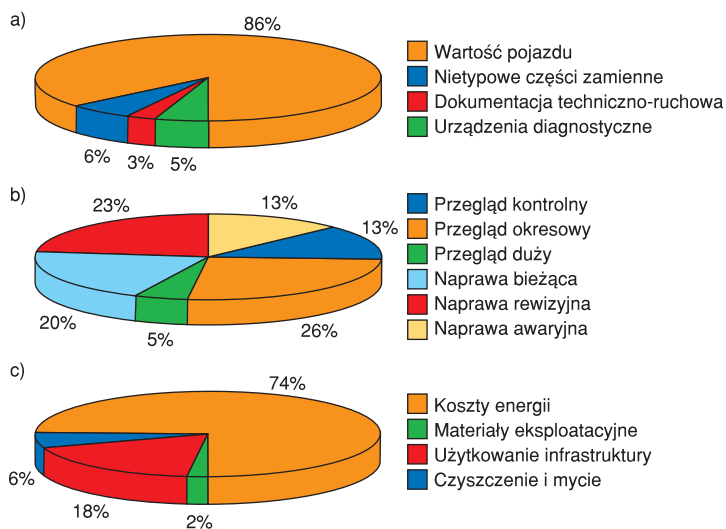
Przedstawiona charakterystyka metod oceny przedsięwzięć odtworzeniowo-modernizacyjnych wskazuje na możliwości ich wykorzystania w procesie decyzyjnym związanym z odnową parku

Tablica 1

Wybrane przykłady modernizacji lokomotyw spalinowych

Kraj	Typ lokomotywy	Silnik	Zakres modernizacji	Uwagi
Niemcy	202, 212	Caterpillar 3512B DITA	Wymiana silnika, przekonstruowanie przekładni hydrodynamicznej Voitha, zabudowa nowych pulpitów maszynisty, nowe układy zasilania	2 szt.
Niemcy	218	MTU 12V 956 TB 11	Modyfikacja pompy wtryskowej, tłoków, turbosprężarki dotadowania, katalizator utleniający (redukuje CO i HC), katalizator redukujący (redukuje emisję tlenków azotu), filtra (wychwytuje sadzę i pozostałe substancje)	
Niemcy	218	MTU 4000 Common Rail Caterpillar 3516b TITA:E Kolomna 12D49	Wymiana silnika, zwiększenie mocy do 2200 kW, odnowa instalacji elektrycznej, wyłączników oraz wyposażenia sygnalizacyjnego i zabezpieczającego	64 szt.
Niemcy	290/294	MTU 8V 4000 R41	Wymiana silnika, wymiana przekładni na nowe firmy VOITH, nowe układy chłodzenia, nowy wentylator, zastosowanie nowych pomp hydrostatycznych, silników hydraulicznych ze stałym i zmiennym przełożeniem, elementów sterujących, zbiorników oleju oraz chłodnic oleju hydrostatycznego	
Niemcy	360/365	Caterpillar 3412 E DITA	Wymiana silnika, radiowy układ zdalnego sterowania, wymiana agregatów sprężarkowych oraz napędu hydrostatycznego wentylatora systemu klimatyzacji	
Czechy	752	K6 S 310 DR	Zastosowano wyremontowane silniki odzyskane z lokomotyw serii 771s, zamontowano nowy kompresor turbinowy z napędem mechanicznym razem z hamulcem elektrodynamicznym	
Czechy	753	Caterpillar 3512 B DITA SCAC	Wymiana silnika wraz z prądnicą główną produkcji Siemens z przełożeniem prąd zmienny – prąd stały, nowa sprężarka turbinowa z napędem hydrostatycznym, nowa konstrukcja napędu hydraulicznego dwóch nowych wentylatorów chłodzenia silnika, zaprojektowano nowy blok chłodniczy z dwoma wentylatorami przebudowa pulpitu, zabudowa klimatyzacji	
Czechy	740.301	Caterpillar 3406 DITA	Wymiana silnika z obniżeniem mocy z 880 kW na 370 kW wraz z wymianą prądnicy	
Włochy	220 (ex DB V200)	Caterpillar 3508	Wymiana silnika, zabudowa dwustopniowego układu chłodzenia, nowy układ wydechowy, wlotu powietrza oraz zasilania paliwem, remont napędu hydrostatycznego wentylatora chłodzenia silnika wysokoprężnego łącznie z instalacją nowych pomp hydrostatycznych napędzanych bezpośrednio od silnika, modernizacja kabin maszynisty	
Węgry	M41	Caterpillar 3512B HD-SC	Wymiana silnika	12 szt.
Węgry	M43	Caterpillar 3406C DITA	Wymiana silnika	2 szt.
Węgry	M44	Caterpillar 3508 DITA	Wymiana silnika	36 szt.
Węgry	M47	MTU	Wymiana silnika	41 szt.
Węgry	M62	Caterpillar	Wymiana silnika	50 szt.
Węgry	M62	MTU	Wymiana silnika	3 szt.

Opracowano na podstawie czasopism: Railvolution, Railway Gazette International, ETR, Rynek Kolejowy



Rys. 4. Przykładowa struktura kosztów LCC zmodernizowanej lokomotywy spalinowej dla okresu eksploatacji $T = 15$ lat:

a) koszty inwestycyjne, b) koszty utrzymania, c) koszty eksploatacji

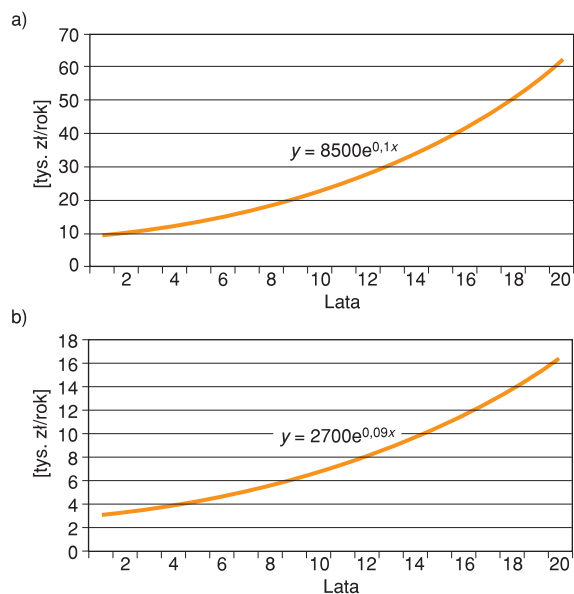
spalinowych pojazdów trakcyjnych. Świadczy również o wielokryterialnych aspektach procesu decyzyjnego. Można również zauważyć, że przedstawione metody się wzajemnie uzupełniają. Np. metoda odnowy uprzedzającej pozwala nam określić wiek pojazdu, dla którego uzasadniona jest modernizacja; natomiast koszty LCC umożliwią znalezienie optymalnych relacji między kosztami utrzymania i eksploatacji.

Istnieje pilna potrzeba systemowego podejścia do zagadnienia odnowy parku lokomotyw spalinowych w Polsce. Należy dążyć w kierunku ograniczenia liczby dostawców zespołów (głównie silnika) i podzespołów dla modernizowanych lokomotyw. Większe partie dostaw pozwolą na wynegocjowanie korzystniejszych cen i warunków serwisu posprzedażnego.



Literatura

- [1] Raczyński J.: *Ograniczanie emisji spalin z silników kolejowych w prawie unijnym*. Technika Transportu Szynowego 7-8/2004.
- [2] Knutton M.: *Rail Privatisation Creates New Opportunities*. International Railway Outlook 2001.
- [3] Pre-study: *UIC Action Plan for reduction of diesel exhaust emissions from tractive units*. CTR Annex 4.18.507 Final version 2004-03-19.
- [4] Tulecki A.: *Zarządzanie innowacjami w zakresie środków technicznych transportu szynowego*. II Konferencja Naukowo-Techniczna „Nowoczesne technologie i systemy zarządzania w kolejnictwie”. Krynica 17–19 listopada 2004.
- [5] Bućko J.: *Wybrane aspekty eksploatacji środków trwałych w ocenie techniczno-ekonomicznej przedsiębiorstwa*. Problemy Eksploatacji 12/1994 – wyd. MCNEMT – Radom.
- [6] Valent I.: *DB Modernises Its Diesel Locomotive Fleet*. Railvolution 2/2005.
- [7] Kopociński B.: *Zarys teorii odnowy i niezawodność*. PWN, Warszawa 1973.
- [8] Bobrowski D.: *Modele i metody matematyczne teorii niezawodności w przykładach i zadaniach*. WNT, Warszawa 1985.
- [9] Sierpińska M., Jachna T.: *Ocena przedsiębiorstwa według standardów światowych*. PWN, Warszawa 1994.
- [10] Tulecki A.: *Life cycle cost (LCC) – miarą efektywności pojazdów szynowych*. Przegląd kolejowy 6/1999.



Rys. 5. Zależność kosztów napraw bieżących od czasu eksploatacji dla lokomotywy

a) niezmodernizowanej, b) zmodernizowanej

- [11] EN 60300-3-3:2004 *Zarządzanie niezawodnością – Część 3-3: Przewodnik zastosowań – Szacowanie kosztu cyklu życia*.
- [12] Saaty T. L.: *Decision Making with Dependence and Feedback: The Analytic Network Process*. RWS Publications. Pittsburgh. PA. 2001.
- [13] *Ocena efektywności modernizacji liniowych lokomotyw spalinowych serii ST44*. Praca nr M8/618/2004. Instytut Pojazdów Szynowych Politechniki Krakowskiej, Kraków, maj 2005.
- [14] *Warunki i efektywność eksploatacji lokomotywy spalinowej „BLUE TIGER”*. Praca nr M8/691/2004. Instytut Pojazdów Szynowych Politechniki Krakowskiej, luty 2005.
- [15] *Analiza uwarunkowań i efektywności modernizacji manewrowych lokomotyw spalinowych serii SM42 eksploatowanych przez KOLPREM Sp. z o.o. na bocznicę Ispat Polska Stal S.A. Oddział w Dąbrowie Górniczej*. Praca nr M8/694/2004. Instytut Pojazdów Szynowych Politechniki Krakowskiej, Kraków, czerwiec 2005.
- [16] Szkoła M.: *Ekonomiczna ocena efektywności modernizacji*. W ramach opracowania: Analiza uwarunkowań i efektywności modernizacji manewrowych lokomotyw spalinowych serii SM42 eksploatowanych przez KOLPREM Sp. z o.o. na bocznicę Ispat Polska Stal S.A. Oddział w Dąbrowie Górniczej. Praca nr M8/694/2004. Instytut Pojazdów Szynowych Politechniki Krakowskiej, Kraków, czerwiec 2005.
- [17] Oziemiński S.: *Efektywność eksploatacji maszyn. Podstawy techniczno-ekonomiczne*. Biblioteka Problemów Eksploatacji, ITE Radom.
- [18] *Badania operacyjne*. Praca zbiorowa pod redakcją E. Ignasiaka. PWE Warszawa 1996.
- [19] Stokowy B.: *Doświadczenia eksploatacyjne z modernizowanymi lokomotywami spalinowymi*. Technika Transportu Szynowego 11-12/2004.
- [20] Tulecki A.: *Ekonomiczno-techniczne aspekty odnowy parku spalinowych pojazdów trakcyjnych*. Czasopismo Techniczne. Wydawnictwo Politechniki Krakowskiej 2.3-M/2005

Autor

dr inż. Adam Tulecki
Instytut Pojazdów Szynowych
Politechnika Krakowska