

# Podstawy metodyczne komparatywnej analizy efektywności ekonomicznej modernizacji taboru kolejowego

## Methodical basis for comparative analysis of rolling stock modernization economic effectiveness



**Juliusz Engelhardt**

Prof. zw. dr hab.

Uniwersytet Szczeciński, Wydział Zarządzania i Ekonomiki Usług

juliusz.engelhardt@wzieu.pl

**Streszczenie:** Artykuł jest poświęcony zagadnieniom analityczno - metodycznym związanym z oceną efektywności ekonomicznej modernizacji taboru kolejowego. Jest to problem bardzo aktualny, ponieważ przewoźnicy kolejowi dość często decydują się na kompleksowe modernizacje taboru kolejowego, zwłaszcza lokomotyw, wagonów pasażerskich i zespołów trakcyjnych. W artykule wskazano na konieczność prowadzenia analiz opłacalności modernizacji taboru kolejowego przy odrębnym uwzględnieniu trzech założeń, a mianowicie: a) zakładając tę samą roczną wydajność przewozową i oczekując korzyści po stronie kosztów eksploatacyjnych, b) zakładając takie same koszty eksploatacyjne nowego i zmodernizowanego pojazdu i oczekując korzyści po stronie wzrostu wydajności przewozowej, c) zakładając zróżnicowane koszty eksploatacyjne oraz zróżnicowaną wydajność przewozową nowego i zmodernizowanego pojazdu. Obliczanie efektywności inwestycji powinno być przeprowadzone metodą zdyskontowanych przepływów pieniężnych w wersji złożonej (przyrostowej) ponieważ metoda ta pozwala lepiej uchwycić korzyści wynikające z modernizacji taboru.

**Słowa kluczowe:** Tabor kolejowy; Analiza ekonomiczna; Efektywność inwestycji

**Abstract:** The article is dedicated to the analytical and methodological issues related to the economic effectiveness appraisal of rolling stock modernization. It is a very current topic because rail carriers often take up decision on comprehensive modernization of the rolling stock, especially locomotives, passenger carriages and multiple units. There was pointed out in the article the necessity of conduction of rolling stock modernization feasibility studies considering three different assumptions: a) assuming the same annual transport efficiency and expecting benefits at the exploitation costs side, b) assuming the same exploitation costs of the new and modernized carriage and expecting benefits at the transport efficiency side, c) assuming varied exploitation costs and varied transport efficiency of the new and modernized rolling stock. Feasibility study should be conducted by the means of discounted cash flow method - increase version, because that method allows best to capture the benefits resulting from the rolling stock modernization.

**Keywords:** Camp Railway; Economic analysis; Efficiency of investment

W polskiej praktyce gospodarczej przewoźnicy kolejowi dość często decydują się na kompleksowe modernizacje taboru kolejowego, zwłaszcza lokomotyw, wagonów pasażerskich i zespołów trakcyjnych. W takich przypadkach inwestowanie w modernizację nie prowadzi do poprawy struktury wiekowej taboru (obniżania przeciętnego wieku), co jest konkluzją oczywistą. Modernizacje taboru kolejowego prowadzą jednak do korzystnych zmian jakościowych w strukturze taboru pod warunkiem, że są to przedsięwzięcia opłacalne.

W sposób ogólny opłacalność modernizacji taboru kolejowego można obliczać w trzech wariantach:

**I. Zakładając tę samą roczną wydajność przewozową** i oczekując korzyści po stronie kosztów eksploatacyjnych:

- modernizacja jest opłacalna, kiedy spełniony jest warunek;

$$(C_{ZAK} - C_{MOD}) - (K_{EKSP}^{NOWY} - K_{EKSP}^{MOD}) \times t_{EKSP}^{MOD} > 0(1)$$

- modernizacja jest nieopłacalna, korzystniejszy jest zakup nowego pojazdu kiedy;

$$(K_{EKSP}^{NOWY} - K_{EKSP}^{MOD}) \times t_{EKSP}^{MOD} - (C_{ZAK} - C_{MOD}) > 0(2)$$

gdzie:

$C_{ZAK}$  - cena zakupu nowej jednostki taborowej,

$C_{MOD}$  - cena modernizacji jednostki taborowej,

$K_{EKSP}^{NOWY}$  - roczny koszt eksploatacji (bez amortyzacji) nowej jednostki taborowej,

$K_{EKSP}^{MOD}$  - roczny koszt eksploatacji (bez amortyzacji) zmodernizowanej jednostki taborowej,

$t_{EKSP}^{MOD}$  - okres eksploatacji jednostki taborowej po modernizacji, w latach.

**II. Zakładając takie same koszty eksploatacyjne** nowego i zmodernizowanego pojazdu i oczekując korzyści po stronie wzrostu wydajności przewozowej:

- modernizacja jest opłacalna, kiedy spełniony jest warunek;

$$(C_{ZAK} - C_{MOD}) - (P^{NOWY} - P^{MOD}) \times t_{EKSP}^{MOD} > 0 \quad (3)$$

- modernizacja jest nieopłacalna, korzystniejszy jest zakup nowego pojazdu, kiedy:

$$(P^{NOWY} - P^{MOD}) \times t_{EKSP}^{MOD} - (C_{ZAK} - C_{MOD}) > 0 \quad (4)$$

gdzie:

$P^{NOWY}$  - roczna wartość przychodów realizowanych przez nową jednostkę taborową,

$P^{MOD}$  - roczna wartość przychodów realizowanych przez modernizowaną jednostkę taborową,

- pozostałe oznaczenia jak w poprzednich wzorach.

### III. Zakładając zróżnicowane koszty eksploatacyjne oraz zróżnicowaną wydajność przewozową nowego i zmodernizowanego pojazdu:

- modernizacja jest opłacalna, kiedy spełniony jest warunek;

$$C_{ZAK} - C_{MOD} > (P^{NOWY} - K_{EKSP}^{NOWY}) \times t_{EKSP}^{MOD} - (P^{MOD} - K_{EKSP}^{MOD}) \times t_{EKSP}^{MOD} \quad (5)$$

- modernizacja jest nieopłacalna, korzystniejszy jest zakup nowego pojazdu, kiedy:

$$(P^{NOWY} - K_{EKSP}^{NOWY}) \times t_{EKSP}^{MOD} - (P^{MOD} - K_{EKSP}^{MOD}) \times t_{EKSP}^{MOD} > C_{ZAK} - C_{MOD} \quad (6)$$

gdzie: - oznaczenia jak w poprzednich wzorach.

Można przyjąć, że wzory (1) – (6) wyrażają teoretycznie ogólne warunki opłacalności modernizacji taboru kolejowego w porównaniu z zakupem nowego taboru, jednakże zaprezentowana wyżej analiza miałaby charakter statyczny, nieuwzględniający wartości pieniądza w czasie (dyskonta). Z tego względu powyższą metodykę należy zmodyfikować w taki sposób, aby uwzględnić w analizie nie tylko wspomniane dyskonto, lecz również bardzo ważną dla wyników obliczeń efektywności inwestycyjnej projektów taboro-

wych, wartość rezydualną projektów. Tak, więc w przypadku **modernizacji posiadanego taboru** obliczanie efektywności inwestycji powinno być, co do zasady, przeprowadzone metodą zdyskontowanych przepływów pieniężnych w **wersji złożonej (przyrostowej)**, chociaż można przyjąć, że w wyjątkowych sytuacjach może być również zastosowana metoda prosta. Jednakże metoda złożona (przyrostowa) pozwala lepiej uchwycić korzyści wynikające z modernizacji ze względu na posiadanie odpowiedniej bazy odniesienia dla realizowanego projektu. Co więcej, metoda ta pozwala zweryfikować dwa podstawowe dylematy decyzyjne w postaci pytań:

- czy opłaca się lub nie opłaca się modernizować tabor,
- czy opłaca modernizować stary tabor, czy zakupić nowy tabor.

Rozpatrując wskazane wyżej warianty analizy metodą *NPV* w wersji przyrostowej, można wyjść od podstawowego wzoru ogólnego tej metody:

$$NPV = \sum_{t=0}^n \frac{S_t}{(1+r)^t} + \frac{RV_n^{III}}{(1+r)^n} \quad (7)$$

gdzie:

$S_t$  - suma przepływów finansowych (pieniężnych) generowanych przez dany projekt w danym roku,

$r$  - stopa dyskontowa,

$RV_n^{III}$  - wartość rezydualna przedsięwzięcia inwestycyjnego po ostatnim roku prognozy, odpowiednia dla rozpatrywanego wariantu.

$$S_t = CF_t - N_t \quad (8)$$

gdzie:

$CF_t$  - przepływy operacyjne projektu w danym roku, bez VAT,

$N_t$  - nakłady inwestycyjne projektu w danym roku, bez VAT.

Wzory (7) i (8) mają charakter ogólny. Natomiast od tego miejsca należy wprowadzić parametry właściwe dla rozpatrywanych wariantów decyzyjnych (wariant I i II) oraz wskazać na sposób obliczenia elementów składowych wzorów dla tych wariantów. Dla uproszczenia analizy w dalszych obliczeniach pominięto podatek do-

chodowy oraz zmiany kapitału obrotowego.

### Wariant I - modernizować lub nie modernizować;

$$CF_t^I = (P_t^{MOD} - P_t^{NIEM}) - (Keu_t^{MOD} - Keu_t^{NIEM}) \quad (9)$$

gdzie:

$PT^{MOD}$  - przychody ze sprzedaży usług przewozowych generowane przez tabor zmodernizowany, w danym roku,

$P_t^{NIEM}$  - przychody ze sprzedaży usług przewozowych generowane przez tabor niezmodernizowany, w danym roku,

$Keu_t^{MOD}$  - koszty eksploatacji i utrzymania taboru zmodernizowanego, w danym roku,

$Keu_t^{NIEM}$  - koszty eksploatacji i utrzymania taboru niezmodernizowanego, w danym roku.

W przypadku opcji bez modernizowania taboru nie występują wydatki inwestycyjne, zakłada się, bowiem tylko jego utrzymanie na poziomie prostego odtworzenia, czyli przywracania pierwotnych właściwości konstrukcyjnych i użytkowych. Można, więc zapisać, że wydatki inwestycyjne w tym wariantcie wynoszą tylko tyle ile wydano na modernizację taboru. Wartość rezydualną przedsięwzięcia inwestycyjnego oblicza się w sposób właściwy dla podejścia dochodowego, jako różnicę wartości dochodowej taboru zmodernizowanego po ostatnim roku prognozy i wartości likwidacyjnej taboru niepodlegającego modernizacji, co można zapisać następująco:

$$RV_n^I = \frac{RV_n^{MOD} - RV_n^{NIEM}}{r} \quad (10)$$

gdzie:

$RV_t^{MOD}$  - wartość rezydualna zmodernizowanego taboru po ostatnim roku prognozy, obliczona metodą dochodową,

$RV_t^{NIEM}$  - wartość rezydualna niezmodernizowanego taboru po ostatnim roku prognozy, obliczona metodą likwidacyjną.

## Wariant II - modernizować czy zakupić nowy tabor;

$$CF_t^II = (P_t^{NOWY} - P_t^{MOD}) - (Keu_t^{NOWY} - Keu_t^{MOD}) \quad (11)$$

gdzie:

$P_t^{NOWY}$  - przychody ze sprzedaży usług przewozowych generowane przez nowo zakupiony tabor, w danym roku,  
 $P_t^{MOD}$  - przychody ze sprzedaży usług przewozowych generowane przez tabor zmodernizowany, w danym roku,  
 $Keu_t^{NOWY}$  - koszty eksploatacji i utrzymania nowego taboru, w danym roku,  
 $Keu_t^{MOD}$  - koszty eksploatacji i utrzymania taboru zmodernizowanego, w danym roku.

Wydatki inwestycyjne w tym wariantcie  $N_t^II$  oblicza się, jako różnicę pomiędzy wydatkami kapitałowymi na zakup nowego taboru a wydatkami na modernizację taboru, czyli:

$$N_t^II = N_t^{NOWY} - N_t^{MOD} \quad (12)$$

gdzie:

$N_t^{NOWY}$  - nakłady inwestycyjne na zakup nowego taboru, w danym roku,  
 $N_t^{MOD}$  - nakłady inwestycyjne na modernizację taboru, w danym roku,

Wartość rezydualną przedsięwzięcia inwestycyjnego w tym wariantcie oblicza się, jako różnicę wartości dochodowej taboru nowego po ostatnim roku prognozy i wartości likwidacyjnej lub dochodowej (w zależności od wieku taboru i jego właściwości użytkowych po okresie prognozy) taboru podlegającego modernizacji, co można zapisać następująco:

$$RV_n^I = \frac{RV_n^{NOWY} - RV_n^{MOD}}{r} \quad (13)$$

gdzie:

$RV_n^{NOWY}$  - wartość rezydualna nowego taboru po ostatnim roku prognozy, obliczona metodą dochodową,  
 $RV_n^{MOD}$  - wartość rezydualna zmodernizowanego taboru po ostatnim roku prognozy, obliczona metodą dochodową lub likwidacyjną.

Wnioskowanie ekonomiczne na pod-

stawie przeprowadzonych analiz jest, co do zasady, proste. Każda dodatnia wartość  $NPV$  oznacza, że stopa rentowności danego projektu jest wyższa od stopy granicznej, czyli stopy dyskontowej i dlatego projekt jest opłacalny ekonomicznie. Przy dodatnich wartościach  $NPV$  dla dwóch wariantów decyduje wyższa wartość tego wskaźnika. Projekty, dla których wartość  $NPV$  jest ujemna, są nieopłacalne z ekonomicznego punktu widzenia, natomiast projekty z  $NPV$  równym zero traktuje się, jako akceptowalne, ponieważ ich rentowność jest równa stopie granicznej. Dodatkowo, powyższe obliczenia można uzupełnić wyliczeniem tzw. wewnętrznej stopy zwrotu projektu  $IRR$ . Jeżeli wskaźnik ten jest wyższy od przyjętej stopy dyskontowej, która jest stopą graniczną, to oznacza, że projekt jest opłacalny, natomiast przy  $IRR$  niższym od rozpatrywanej stopy dyskontowej, projekt jest nieopłacalny i powinien być odrzucony.

Jednym z ważniejszych zagadnień merytorycznych związanych z analizą efektywności projektów taborowych w przedsiębiorstwach kolejowych według podanej wyżej metodyki, jest właściwe oszacowanie przychodów i kosztów, które będą bezpośrednio przypisane rozpatrywanym wariantom inwestycyjnym. Należy, bowiem zauważyć, że przedsiębiorstwa kolejowe sprzedają klientom usługę przewozową realizując przychody ze sprzedaży **tonokilometrów** lub **pasażerokilometrów** a tabor kolejowy generuje koszty, z których część jest stała a pozostała część związana z pracą eksploatacyjną.

Całkowite koszty eksploatacji i utrzymania taboru występujące w prezentowanych wyżej wzorach można odwzorować za pomocą następującej formuły:

$$Keu_t = K_t^{ST} + (k_t^{Jzm} \times pr_t^{EKSP}) \quad (14)$$

gdzie:

$K_t^{ST}$  - całkowite koszty stałe eksploatacji i utrzymania taboru, w danym roku,  
 $k_t^{Jzm}$  - koszt jednostkowy zmienny taboru obliczany na jednostkę pracy eksploatacyjnej,

$pr_t^{EKSP}$  - praca eksploatacyjna wykonana przez tabor, w danym roku.

Praca eksploatacyjna  $pr_t^{EKSP}$  ze wzoru (14) jest określana w sposób odpowiedni dla danego rodzaju taboru. Na ogół wyraża się ją w następujących miernikach:

- dla lokomotyw - w **lokomotywo-kilometrach** lub **brutto-tonokilometrach** wykonanych odpowiednio w ruchu pasażerskim lub towarowym,
- dla wagonów - w **wagono-kilometrach** wykonanych odpowiednio w ruchu pasażerskim lub towarowym,
- dla pasażerskich zespołów trakcyjnych lub pociągów zespolonych - w **pociągo-kilometrach**.

Oszacowanie całkowitych kosztów eksploatacji i utrzymania taboru w danym roku na potrzeby analizy efektywności projektów taborowych nie powinno nastęrczać większych trudności. W przedsiębiorstwach kolejowych prowadzi się, bowiem rozbudową ewidencję kosztów oraz rozbudowane statystyki pracy eksploatacyjnej. W tej sytuacji, w szczególności przy analizach projektów modernizacji taboru, przedsiębiorstwo dysponuje zazwyczaj rozbudowaną bazą danych historycznych, które odpowiednio przygotowane, stanowią punkt wyjściowy do projekcji finansowych. W przypadku projektów polegających na zakupach nowego, dotychczas nieeksploatowanego taboru, projekcje całkowitych kosztów eksploatacji i utrzymania mogą zawierać większe ryzyko nietrafności, ze względu na brak doświadczeń i historycznej bazy danych wyjściowych, ale w tym przypadku pomocne mogą być np. różne benchmarki albo wyniki porównywalnych kontraktów zakupowych, które obecnie bardzo często łączone są dodatkowymi zobowiązaniami dostawcy taboru w zakresie zapewnienia utrzymania tegoż taboru (ze wskazaniem stawki jednostkowej) przez określony, kilku lub nieraz kilkunastoletni okres czasu. Całkowite przychody ze sprzedaży usług przewozowych ta-

boru występujące w wzorach (9) i (11) można zapisać następująco:

$$P_t = p_t^{Jtkm} \times tkm_t \quad (15)$$

lub

$$P_t = p_t^{Jpkm} \times pkm_t \quad (16)$$

gdzie:

$p_t^{Jtkm}$  - przychód jednostkowy w zł za tonokilometr pracy przewozowej,

$p_t^{Jpkm}$  - przychód jednostkowy w zł za pasażerokilometr pracy przewozowej,  $tkm_t$  - praca przewozowa wykonana przez tabor towarowy (lokomotywy, wagony), w danym roku, w tonokilometrach,

$pkm_t$  - praca przewozowa wykonana przez tabor pasażerski (lokomotywy, wagony, zestawy trakcyjne, pociągi zespolone), w danym roku, w pasażerokilometrach.

Z powyższych wzorów wynika, że dla obliczenia przychodów ze sprzedaży generowanych w wyniku realizacji danego projektu inwestycyjnego przez dany rodzaj taboru, należy znać wielkość pracy przewozowej netto wykonanej w danym okresie przez ten tabor. W tym celu należy wykonać odpowiednie przeliczenia znanych ze statystyk lub zakładanych ex ante parametrów eksploatacyjnych na pracę przewozową netto.

W przypadku **lokomotyw zaangażowanych do obsługi ruchu towarowego** lub **pasażerskiego** można zastosować uniwersalny sposób oszacowania wielkości pracy przewozowej w tonokilometrach netto lub w pasażerokilometrach netto, według wzoru:

$$tkm/pkm_t^{LOK} = \frac{w_t^{U-NETTO} \times Q_t^{BRUTTO} \times I_t^{DOB} \times i_t^{INW} \times L_t^D}{w_t^K} \quad (17)$$

gdzie:

$tkm/pkm_t^{LOK}$  - praca przewozowa w tonokilometrach netto danego ilostanu lokomotyw, odpowiednio w ruchu towarowym lub pasażerskim,

$w_t^{U-NETTO}$  - wskaźnik wyrażający stosunek przeciętnego ciężaru netto pociągu do jego przeciętnego ciężaru brutto, odpowiednio dla ruchu towa-

rowego lub pasażerskiego,

$Q_t^{BRUTTO}$  - średni ciężar brutto pociągu towarowego w danym rodzaju przewozów lub średni ciężar brutto pociągu pasażerskiego w danym rodzaju przewozów,

$I_t^{DOB}$  - dobowy przebieg lokomotywy w danym rodzaju ruchu,

$i_t^{INW}$  - ilostan inwentarzowy lokomotyw, odpowiednio w ruchu towarowym lub pasażerskim,

$w_t^K$  - wskaźnik wyrażający stosunek lokomotywo-kilometrów do pociągo-kilometrów w danej grupie lokomotyw, odpowiedni dla ruchu towarowego lub pasażerskiego,

$L_t^D$  - liczba dni okresu obliczeniowego (365 dni w roku).

Obliczenie pracy przewozowej netto wykonanej przez **wagony towarowe** objęte danym projektem inwestycyjnym można wykonać według wzoru

$$tkm_t^{WAGtow} = Z_t^{DYN} \times w_t^{CAL} \times km_t^{WAGtow} \times i_t^{INWwag} \times w_t^{ROB/INW} \quad (18)$$

gdzie:

$tkm_t^{WAGtow}$  - praca przewozowa w tonokilometrach netto danego ilostanu inwentarzowego wagonów towarowych wykonana w danym okresie (roku),

$Z_t^{DYN}$  - załadunek dynamiczny wagonu towarowego, w danym okresie,

$w_t^{CAL}$  - wskaźnik wykorzystania przebiegu całkowitego wagonu towarowego, obliczany jako stosunek wykonanych w danym okresie wagono-kilometrów ładownych do wagono-kilometrów całkowitych,

$km_t^{WAGtow}$  - przebieg całkowity 1 wagonu towarowego ilostanu inwentarzowego, w danym okresie,

$i_t^{INWwag}$  - ilostan inwentarzowy wagonów towarowych,

$w_t^K$  - wskaźnik wyrażający przeciętny udział ilostanu roboczego wagonów towarowych w ilostanie inwentarzowym, w danym okresie.

Obliczenie pracy przewozowej netto wykonanej przez **wagony pasażerskie, zespoły trakcyjne** lub **pociągi zespolone** objęte danym projektem inwestycyjnym można wykonać we-

dług następującego wzoru:

$$pkm_t^{WAGpas} = q_t^{WAGprzec} \times km_t^{WAGpas} \times i_t^{INWwag} \times w_t^{CZY/INW} \quad (19)$$

gdzie:

$pkm_t^{WAGpas}$  - praca przewozowa w pasażerokilometrach netto danego ilostanu inwentarzowego wagonów pasażerskich (zespołów trakcyjnych, pociągów zespolonych) wykonana w danym okresie (roku),

$q_t^{WAGprzec}$  - przeciętna liczba pasażerów w wagonie pasażerskim (w zespole trakcyjnym, w pociągu zespolonym), w danym okresie,

$km_t^{WAGpas}$  - przebieg całkowity 1 wagonu pasażerskiego (zespołu trakcyjnego, pociągu zespolonego) ilostanu inwentarzowego, w danym okresie,

$i_t^{INWwag}$  - ilostan inwentarzowy wagonów pasażerskich (zespołów trakcyjnych, pociągów zespolonych),

$w_t^{CZY/INW}$  - wskaźnik wyrażający przeciętny udział ilostanu czynnego wagonów pasażerskich (zespołów trakcyjnych, pociągów zespolonych) w ilostanie inwentarzowym, w danym okresie.

Po obliczeniu pracy przewozowej netto dla poszczególnych rodzajów i grup taboru w danym okresie (roku) i przyjęciu wskaźników jednostkowych przychodów oraz pozostałych założeń prognostycznych właściwych dla rozpatrywanego wariantu inwestycyjnego oblicza się prognozowane przychody, zgodnie ze wzorem (9) lub (11).

Przedstawiona metodyka porównawczej analizy efektywności ekonomicznej modernizacji taboru kolejowego dotyczy jedynie aspektów ekonomiczno – finansowych projektów związanych z procesami modernizacyjnymi taboru kolejowego. W sposób oczywisty nie obejmuje ona, zatem rozległej problematyki wszelkich uwarunkowań techniczno – eksploatacyjnych związanych z utrzymaniem taboru kolejowego przez przewoźników, z oddziaływaniem taboru na infrastrukturę kolejową, czy wreszcie z wieloma pozostałymi aspektami, takimi jak między innymi oddziaływanie taboru na środowisko, standardy bezpieczeństwa ruchu kolejowego, spełnianie warunków TSI i wiele innych zagadnień. ◀