

# Cele wyliczania kosztów cyklu życia torów kolejowych DB AG

**W celu zwiększenia konkurencyjności komunikacji szynowej w porównaniu z innymi systemami komunikacyjnymi kolei niemieckiej, DB AG postawiła sobie za cel ekonomiczną i techniczną optymalizację utrzymania torowisk kolejowych. Wymaga to zastosowania nowych metod, które już w fazie projektowania pozwolą na ekonomiczną i techniczną ocenę konstrukcji toru kolejowego.**

**Niniejszy artykuł jest pierwszą częścią z serii trzech artykułów, określono w nim niektóre cele kolei niemieckich DB AG w zakresie eksploatacji torowisk kolejowych z punktu widzenia badań naukowych. W drugim artykule z tej serii przedstawione zostaną podstawowe założenia do określenia kosztu cyklu życia toru kolejowego. Artykuł kończący serię będzie opisem pierwszych zastosowań nowej metody.**

Nakłady finansowe przeznaczane na budowę nowych torowisk i przebudowę istniejących są znaczne. Przykładowo w 1999 r. koleje niemieckie zainwestowały na ten cel 1,7 mld DM. Dla osiągnięcia niskich kosztów eksploatacji muszą być wprowadzane rozwiązania konstrukcyjne torowisk, charakteryzujące się niskimi kosztami cyklu życia (ang. life cycle cost – w skrócie LCC). Obok niskich kosztów konstrukcje te muszą spełniać inne wymagania, jak np. charakteryzować się wysoką niezawodnością, czy też muszą być przyjazne dla otoczenia. Utrudnieniem przy tym jest fakt, że tor kolejowy z reguły ma długi okres eksploatacji i jego ocena możliwa jest dopiero po kilku latach. Doświadczenia z obecnymi systemami można odnieść tylko do tras o zbliżonych warunkach eksploatacji i porównywalnych warunkach brzegowych.

Aby jeszcze przed budową systemu, jakim jest tor kolejowy, uzyskać możliwość jego technicznej i ekonomicznej oceny, w Centrum Naukowo-Technologicznym Kolei Niemieckiej podjęty został projekt naukowo-badawczy pod nazwą „System TETrAs” [5]. Już obecna wersja systemu w fazie prototypu umożliwi komputerową optymalizację i ocenę

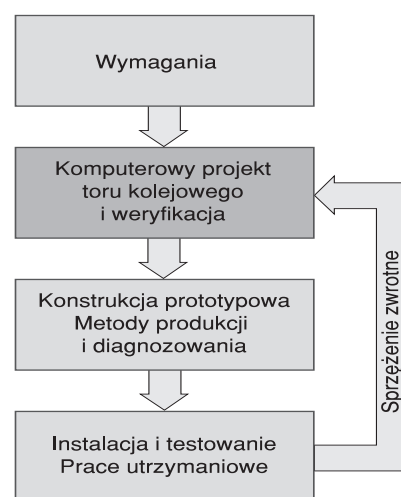
istniejących konstrukcji torów kolejowych. Na bazie sprawdzonych modeli przeprowadzane jest, oprócz ocen technicznych, również szacowanie kosztu cyklu życia (LCC).

## Cele z naukowego punktu widzenia

W artykule opisane są niektóre cele i sposoby, które z badawczego punktu widzenia mogą prowadzić do znacznego obniżenia kosztów cyklu życia linii kolejowej. Okazuje się przy tym, że optymalne rozwiązanie może zostać znalezione tylko wówczas, gdy analizie poddane zostanie wzajemne oddziaływanie komponentów systemu. Przy wstępowaniu więc na nową drogę przy opracowywaniu metod oceny toru kolejowego jest rzeczą ważną, aby uniknąć optymalizacji częściowych i aby oprócz toru kolejowego uwzględniony został również pojazd.

## Kompleksowy projekt

Jak już na wstępie wspomniano, komputerowy projekt toru kolejowego i komputerowa weryfikacja toru kolejowego powinny stanowić podstawę do dokonania wyboru konstrukcji, która spełniałaby postawione wymagania. Osiągnięcie długoterminowego celu może zostać uzyskane tylko poprzez opracowanie zamkniętego, kompleksowego projektu (rys. 1).



Rys. 1. Zamknięty proces projektowania toru kolejowego

Poczynając od postawionych wymagań, wykonywany jest wstępny projekt toru kolejowego, zawierający również ocenę techniczną i prognozę kosztu LCC. Kolejnym etapem jest powstanie prototypu konstrukcji, łącznie ze wstępnymi danymi do celów diagnostycznych i danymi dotyczącymi utrzymania toru kolejowego w dobrym stanie technicznym. Budowa i wykonanie prób kończą pierwszy cykl projektowania.

Sprzężenie zwrotne między próbami eksploatacyjnymi a komputerowym projektem i weryfikacją – przeprowadzaną również komputerowo – prowadzi do stopniowego uwiarygodnienia prognozy modelowej, a przez to do ciągłej poprawy możliwości prognozowania, optymalizowania i opracowania lepszej strategii utrzymania.

## Komputerowo wspomagane projektowanie i weryfikacja toru kolejowego

Celem postawionym sobie przez kolej niemiecką jest optymalizacja całościowego systemu, składającego się z pojazdu, toru kolejowego i podłoża. Przyjęte kryteria optymalizacji to między innymi:

- zwiększenie dyspozycyjności,
- przedłużenie okresu życia,
- zmniejszenie poziomu hałasu i drgań,
- zwiększenie dochodów,
- zmniejszenie kosztów utrzymania.

Powinna zostać dokonana weryfikacja różnych konstrukcji toru kolejowego, przeprowadzana przy użyciu obiektywnej metody weryfikacji. Za podstawę należy przyjąć charakterystyki występującego obciążenia, zużywania się zastosowanych części składowych i materiałów, jak również koszty budowy, eksploatacji, utrzymania i demontażu.

Potrzebne do tego informacje i dane pozyskiwane będą z przeprowadzanych pomiarów, uwiarygodnionych modeli symulacyjnych [2, 4] oraz z przeprowadzanych doświadczeń.

Na rysunku 2 przedstawiono schematycznie wybrany sposób postępowania. Punktem wyjścia do rozpoczęcia procesu weryfikacji może być w jednym przypadku np. rzeczywisty lub fikcyjny tor kolejowy, który może być zdefiniowany za pomocą dowolnych składników, lub w innym przypadku, realne lub fikcyjne obciążenie, które wynika z eksploatacji i warunków otoczenia (np. temperatura, wilgotność). Obecnie, oprócz nawierzchni z tłucznią badane również mogą być nawierzchnie twarde, czy też systemy z usprężynowaną masą budowli ziemnych lub obiektów inżynierskich (np. most, tunel), jak również przekrycia przerw dylatacyjnych między różnymi rodzajami budowli [3]. Oprócz czysto konstrukcyjnych parametrów toru kolejowego i pojazdu, uwzględniane mogą być również stan techniczny toru kolejowego i pojazdu, jak np. odchyłki położenia toru, spłaszczenia lub nieokrągłość kół.

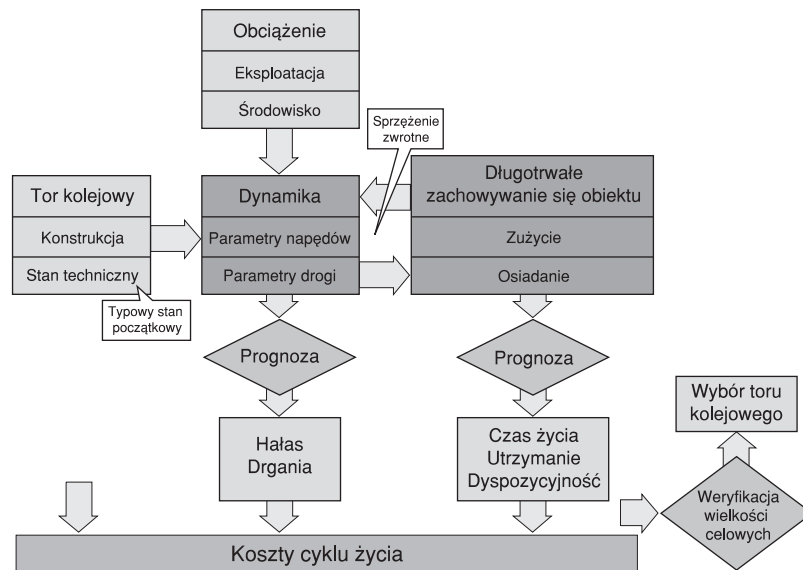
Przedstawione na rysunku 1 sprzężenie zwrotne między projektem a weryfikacją i próbami umożliwia:

- a) sprawdzenie prognoz modelowych,
- b) poszerzenie bazy danych,
- c) określenie zasadniczych kierunków dalszego rozwoju modeli.

Dla nowych konstrukcji torów kolejowych, jak np. tory na szerokich podkładach lub na podkładach ramowych, dla których nie ma jeszcze uwiarygodnionych modeli, jest rzeczą niezwykle pilną sprawdzenie prognoz modelowych. Pewność prognozowania powinna być tak wysoka, aby uzyskać możliwość określania pewnych, wiarygodnych tendencji.

### Warunki eksploatacyjne

Parametry eksploatacyjne, jak np. prędkość ruchu pojazdów, dopuszczalne obciążenie na oś lub dopuszczalne dzienne obciążenie tonowe, wywierają znaczący wpływ na okres



Rys. 2. Schematyczne przedstawienie procesu weryfikacji

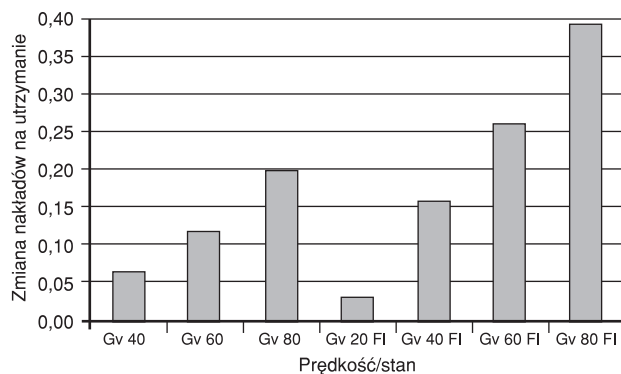
trwałości życia oraz na koszty utrzymania toru kolejowego. W zależności od parametrów eksploatacyjnych wynikają różne wymagania dotyczące toru kolejowego, które muszą być uwzględniane już na etapie budowy. Aby móc określić ważne ze względów gospodarczych wartości graniczne, należy zbadać, które parametry eksploatacyjne z ekonomicznego punktu widzenia są jeszcze dopuszczalne. Przy tym muszą zostać uwzględnione również takie efekty, jak np. złudne wrażenia wywoływane jazdą pociągów z dużymi prędkościami.

### Stan techniczny pojazdów

Stan techniczny pojazdów, jak np. niewłaściwe obciążenie, ograniczone usprężynowanie pierwszego lub drugiego stopnia, spłaszczenia kół lub nieokrągłe koła mają ogromny wpływ na obciążalność, okres użytkowania oraz nakłady na utrzymanie toru kolejowego w dobrym stanie technicznym, a przez to również na koszty cyklu życia.

Obecnie wpływ złego stanu technicznego pojazdów na uszkodzenia toru kolejowego nie jest dostatecznie znany. Ustalenie takiej zależności powinno stać się celem dalszych badań w tym kierunku. Z badań tych powinny wynikać wartości graniczne parametrów stanu technicznego pojazdu, które prowadziłyby do minimalnych kosztów cyklu życia, przy uwzględnieniu kosztów utrzymania pojazdu i kosztów utrzymania toru kolejowego.

Na rysunku 3 przedstawiono przykładowo wpływ prędkości jazdy transportów towarowych ze średnią liczbą spłaszczeń (Gv 40 do Gv 80) oraz ze zwiększoną liczbą spłaszczeń (Gv 20 Fl do Gv 80 Fl) na wzrost nakładów na utrzymanie. Wyniki odnoszą się do transportów towarowych o prędkości 20 km/h. Zwiększenie prędkości do 80 km/h, przy zwiększonej liczbie spłaszczeń (Gv 80 Fl) prowadzi do zwiększenia o ok. 40% nakładów na utrzymanie toru kolejowego, w porównaniu z transportem towarowym poruszającym się z prędkością 20 km/h i średnią liczbą spłaszczeń.



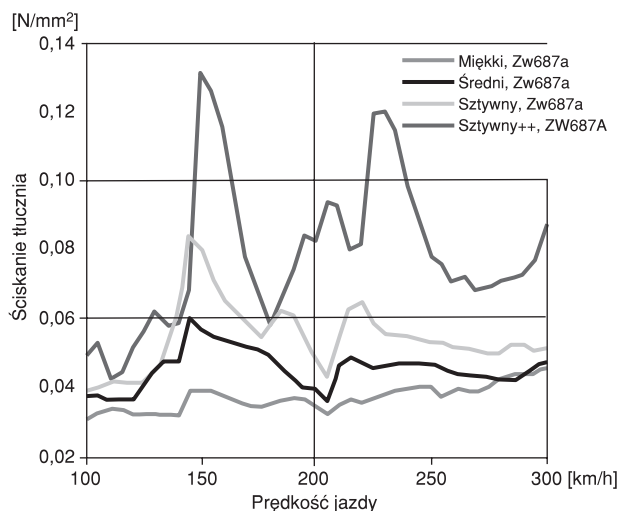
Rys. 3. Względne wpływy splaszceń i prędkości jazdy na nakłady na utrzymanie; odniesienie: transport towarowy z prędkością 20 km/h (Gv 20)

### Geotechniczne wymagania w stosunku do podłoża

Geotechniczne wymagania w odniesieniu do podłoża są ściśle uwarunkowane osiadaniem podtorza. Dzisiejsze pomiary ukierunkowane są na małe plastyczne deformacje oraz osiągnięcie dopuszczalnej obciążalności podłoża. Na tej podstawie wyprowadzona zostaje minimalna wartość modułu odkształcenia  $E_{V2}$  i gęstość  $D_{Pr}$  w zależności od rodzaju trasy i prędkości. Dynamiczna interakcja między podłożem a nawierzchnią i pojazdem bywa jednak zaniedbywana przy pomiarach.

Ponieważ budowa zgodnie z obecną procedurą może prowadzić do znacznego przekroczenia wymaganych wartości minimalnych, przyjmowane są zbyt duże wartości sztywności podłoża dla nawierzchni tłuczniowej. Prowadzi to do zbyt wysokich obciążeń tłucznia, podkładów i szyn.

Na rysunku 4 przedstawiono wpływ sztywności podłoża na parcie na tłuczeń, spowodowane przez środkowy wagon ICE z jednym nieokrągłym kołem. Prędkość zmieniała się od 100 do 300 km/h. Bardzo twarde podłoża (zmienna sztyw-



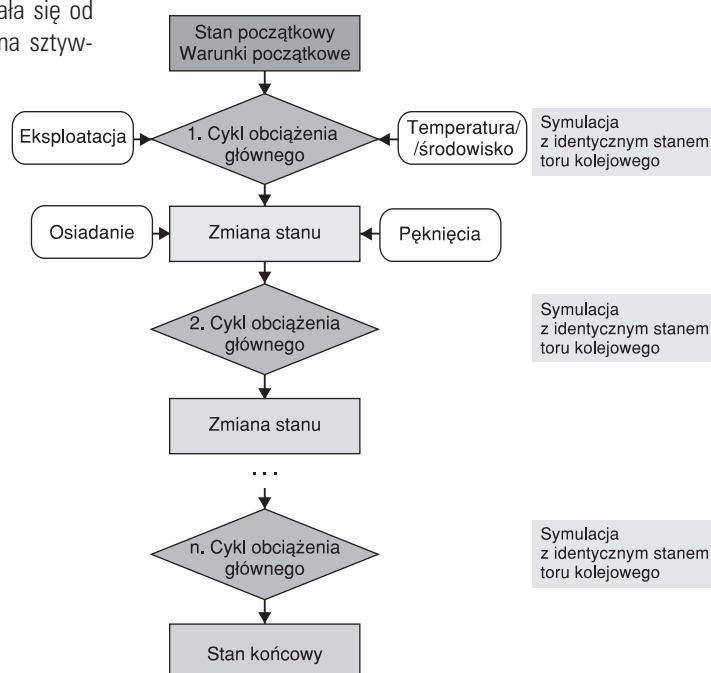
Rys. 4. Wpływ sztywności podłoża na ściskanie tłucznia

ności ++) prowadzi do dwa razy większych nacisków na tłuczeń, niż podłoża o średniej sztywności. Wymagane byłyby więc oprócz wartości minimalnych, również górne wartości graniczne dla modułu odkształcenia i gęstości, które z jednej strony zapewnią długotrwałą stabilność podłoża, z drugiej strony jednakże uwzględnią również dynamiczne właściwości toru. Jest to tym bardziej ważne, ponieważ zbyt sztywne podłoża nie będzie mogło zostać całkowicie skompensowane poprzez miękkie przewarstwienie.

### Proces wytwórczy i dokładność wykonania

Szczególnie przy twardej nawierzchni torów kolejowych, ale również przy nawierzchni tłuczniowej, wychodzimy z założenia, że technologia i dokładność wykonania w trakcie budowy torowiska kolejowego mają znaczący wpływ na jego żywotność lub jego przydatność do użytkowania. Ponieważ technologia i dokładność wykonania mają również bezpośredni wpływ na koszty wytwórcze, należy zbadać za pomocą modeli czy zwiększone nakłady na budowę odbiją się pozytywnie na kosztach LCC.

Na rysunku 5 przedstawiono schematycznie symulację długotrwałego procesu użytkowania toru kolejowego o twardej nawierzchni (bezpodsypkowej), za pomocą modeli symulacyjnych. Warunki początkowe dla toru kolejowego określone zostały za pomocą specjalnych modeli pęknięć, które wychodząc z hydratacji i procesów, którym poddawany jest beton, pozwalają na szacunkowe przedstawienie początkowego obrazu pęknięć [1]. Następnym etapem jest symulacja za pomocą modeli dynamicznych, uwzględniających pęknięcia w fazie początkowej, obciążenia toru kolejowego na skutek ruchu pociągów i wpływów środowiska oraz prognozowanie rozwoju pęknięć i osiadania. Jeżeli osiągnięty zo-



Rys. 5. Przebieg długotrwałego procesu dla toru kolejowego o twardej nawierzchni (FF); schematyczne przedstawienie obiegu symulacji

stanie stan graniczny toru kolejowego, konieczna jest jej rozbudowa.

Gdyby takie badania wykazały silną zależność czasu trwałości użytkowania od warunków początkowych dla toru kolejowego, to muszą zostać postawione pewne wymagania odnośnie metody produkcji i tolerancji produkcji.

### Podsumowanie i wnioski

Konkurencyjna walka kolei z innymi systemami komunikacyjnymi wymaga opracowania nowych, ukierunkowanych na wymagania i na obniżenie kosztu cyklu życia konstrukcji kolejowych dróg jezdnych. W tym celu konieczne jest opracowanie metod umożliwiających oszacowanie kosztów LCC jeszcze przed budową toru kolejowego. Przy tym jednakże należy mieć pewność, że uzyskiwane prognozy są wystarczająco dokładne, aby móc jednoznacznie wypowiedzieć się o trendach i aby innowacyjne konstrukcje dróg jezdnych nie były weryfikowane na podstawie błędnych modeli. Stawia to duże wymagania zarówno w stosunku do metod, jak i modeli.

□

### Literatura

- [1] V. and Cervenka J.: *Computersimulation as a design tool for concrete structures*. ICCE-96.
- [2] Crail S., Ripke B., Zacher M.: *Systemvergleich Feste Fahrbahn – Vergleich der dynamischen Eigenschaften zweier Bauarten*. Eisenbahntechnische Rundschau, 10, 46, 469–479.
- [3] Le R., Ripke B., Zacher M.: *Ballast mats on high speed bridges*. Proceedings of the Fourth European Conference on Structural Dynamics, 1999.
- [4] Ripke B., Knothe K.: *Validation of the vehicle-track interaction model using in situ measurements*. EUROBAL report, 80410026A, 1996.
- [5] Ripke B.: *TETras – Technical and Economical Track Assessment*. Eisenbahntechnische Rundschau 1-2/2000.

Na podstawie:  
*Ziele der LCC Berechnung für die Fahrbahn der DB AG.*  
*Der Eisenbahn Ingenieur 12/2000*

Autor  
dr inż. Burchard Ripke jest kierownikiem projektu „Nowe systemy torów kolejowych i symulacji” na kolei niemieckiej DB AG

□ Dokończenie ze s. 41

się na siebie na długości około 5 m. Na obu końcach obwodu umieszczone są przekładniki prądowe, umocowane do szynki szyny, sprzęgające szyny z odbiornikami obwodu [1].

Z racji zastosowanych częstotliwości sygnału jest to obwód charakteryzujący się większą odpornością na zakłócenia niż obwód 50 Hz. Jednak metoda uodpornienia obwodu na zakłócenia ograniczająca się tylko do wartości częstotliwości i poziomu sygnału nie jest pełnym zabezpieczeniem. Pod znakiem zapytania stoi problem odporności tego obwodu na zakłócające oddziaływanie harmonicznych prądu trakcyjnego, jakie pojawią się w szynach po wprowadzeniu na linię metra nowego taboru z przekształtnikami energoelektronicznymi i silnikami asynchronicznymi. Obwody SOT-2U okażą się rozwiązaniem odpornym na zakłócenia powodowane przez nowy tabor tylko pod warunkiem, że odstęp czułości odbiorników od poziomu zakłóceń będzie wystarczający.

Podsumowując należy stwierdzić, że wprowadzenie na linie PKP i metra nowoczesnego taboru wymagać będzie modernizacji obwodów kontroli zajętości toru w kierunku uodpornienia ich na zakłócenia pochodzące od prądu trakcyjnego. Wobec odległej perspektywy wprowadzenia niesprawdzonego do tej pory i kosztownego lokalizowania położenia pociągu z pomocą łączności radiowej pozostaje GPS/GSM unowocześnienie obwodów torowych przez zasto-

sowanie kodowego obwodu torowego, w którym prócz poziomu i częstotliwości sygnału również forma sygnału – cyfrowa modulacja częstotliwości FSK lub cyfrowa modulacja fazy PSK oraz zastosowanie binarnego ciągu identyfikacyjnego obwodu, w maksymalny sposób uodporniają go na zakłócenia zarówno od prądu trakcyjnego, jak i sygnałów sąsiednich obwodów.

□

### Literatura:

- [1] Białoń A., Kazimierczak A.: *Bezłączkowe obwody torowe w metrze warszawskim*. Międzynarodowa Konferencja Naukowo-Techniczna „Technika sterowania ruchem kolejowym u progu XXI wieku”, Warszawa, 20-21 maj 1999.
- [2] Brylejew A.M.: *Avtomaticzeskaja lokomotivna sygnalizacija i avtoregulirovka*. Transport, Moskwa, 1981.
- [3] Chrzan M.: *Adaptacja systemu nawigacji satelitarnej NAVSTAR/GPS do prowadzenia ruchu kolejowego*. VII Konferencja Naukowa Trakcji Elektrycznej „Semtrak'96”, Zakopane, 1996.
- [4] Gellermann W. D., Martitz G., Rosenkranz U.: *LZB-700 – Die moderne Zugbeeinflussung mit Informationsübertragung über die Fahrschiene*. Signal und Draht 6/1992.
- [5] Lipiński A., Raczyński J.: *Satelitarne systemy śledzenia pociągów we Francji*. Technika Transportu Szynowego 12/1997.
- [6] Winter P., Froig P., Sterner B.: *Dokumentacja UIC europejskiego systemu sterowania pociągami ETCS*. Telekomunikacja i Sterowanie Ruchem 1/1997.