

Metoda LCC

W ocenie rozwiązań konstrukcyjnych torowisk tramwajowych

Igor Gisterek, Jacek Makuch

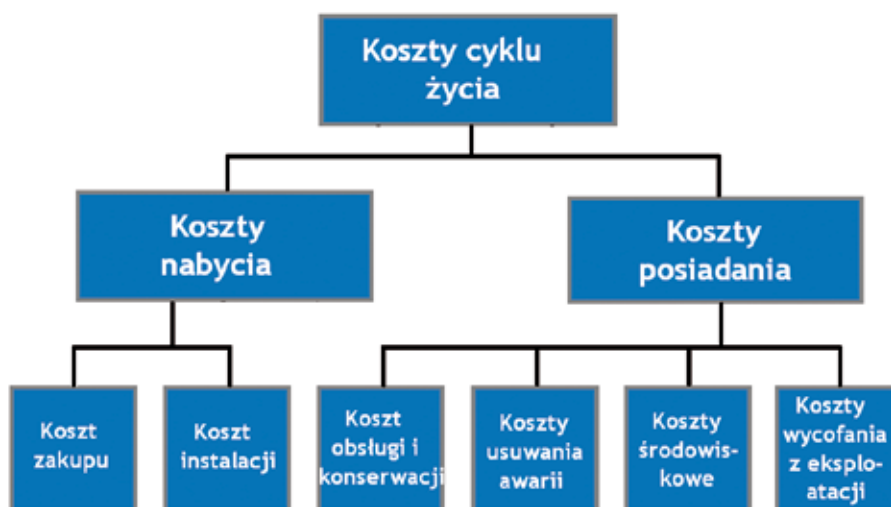
W pracy poruszono tematykę związaną z nowoczesnymi metodami wielokryterialnej analizy doboru optymalnych konstrukcji torowisk tramwajowych. Opisano podstawowe założenia metody LCC oraz na podstawie licznych przykładów dowiedziono konieczności konsekwentnego prowadzenie bieżących robót utrzymaniowych i dokonywania drobnych napraw. Wykazano, że koszty zainwestowania w nowoczesną technologię i właściwego utrzymania są często niższe, niż często powtarzanych remontów generalnych wykonywanych z zastosowaniem tradycyjnych technologii.



Igor Gisterek,
Mgr inż., Zakład Infrastruktury Transportu Szynowego PWR



Jacek Makuch
Dr inż., Zakład Infrastruktury Transportu Szynowego PWR



1. Elementy składowe kosztów cyklu życia

Metoda LCC (Life Cycle Cost) stosowana jest do analizowania kosztów w całym okresie eksploatacji systemu, czyli cyklu jego „życia”. Podstawy naukowe dla tego typu obliczeń zostały położone około 30 lat temu, natomiast masowe wdrożenia jej założeń rozpoczęły się wraz z opracowaniem normy ISO 14040 dotyczącej oceny cyklu życia wyrobu (Life Cycle Assessment). Do elementów składowych oceny należą szeroko rozumiane koszty nabycia, zainstalowania oraz całego okresu eksploatacji. Bardziej szczegółowe zestawienie poszczególnych składowych analizy przedstawia wykres zamieszczony na rys. 1.

Jak wynika z przedstawionego powyżej zestawienia, okres liczenia kosztów obejmuje cały czas stosowania danego rozwiązania konstrukcyjnego, od momentu jego wbudowania aż do chwili jego rozbiórki i utylizacji. Metoda LCC jako narzędzie porównawczej analizy wielokryterialnej ma na celu umożliwienie inwestorowi dokonanie najwłaściwszego wyboru, biorąc pod uwagę koszty nabycia, eksploatacji, napraw i de-

montażu. Jest to rozwiązanie odmienne od obecnego w dzisiejszych postępowaniach przetargowych dotyczących budowy i remontów torowisk tramwajowych we Wrocławiu, gdzie zasadnicze kryterium stanowią koszty nabycia (tzw. kryterium 100% cena) oraz czasami okres gwarancji. Zastosowanie metody LCC umożliwia:

- rzetelne porównanie różnych rozwiązań dających osiągnięcie zamierzonego celu,
 - ocenę trwałości, niezawodności i wymagań odnośnie obsługi danego rozwiązania,
 - umożliwienie procesu monitorowania w trakcie eksploatacji i podejmowanie decyzji w oparciu o realne koszty eksploatacji,
 - ocenę zmienności kosztów eksploatacji w zależności od koniunktury rynkowej,
 - podjęcie optymalnej decyzji równoważącej wyższy koszt początkowej inwestycji i niższe koszty utrzymania dla osiągnięcia rozwiązania w konsekwencji najtańszego.
- Problemami związanymi z wprowadzeniem metody LCC w naszych warunkach są przede wszystkim:

- rozdzielność instytucji, więc i budżetów na inwestycje i utrzymanie,
- brak rzetelnych danych dotyczących kosztów utrzymania danego odcinka toru,
- możliwość czasowego lub permanentnego ograniczenia wydatków na eksploatację.

Nowoczesne rozwiązania konstrukcji torowisk tramwajowych

Stosowanie nowoczesnych konstrukcji torowisk posiada niezwykle istotne znaczenie dla funkcjonowania, wizerunku i budżetów instytucji zarządzających utrzymaniem infrastruktury transportowej. Analiza literatury dowodzi, że jest to jeden z pełnoprawnych sposobów ograniczania hałasu komunikacyjnego w miastach: w państwach Europy zachodniej do roku 1989 udział tramwajowych torowisk zamkniętych wynosił około 55%, zaś otwartych około 45%. W latach 1990 – 99 proporcje te zmieniły się dość wyraźnie, dzieląc udziały pomiędzy torowiska zielone (20%), zamknięte (65%) i otwarte

(15%), by po roku 2000 zatrzymać się orientacyjnie w proporcjach 40% torowisk trawiastych i 60% zamkniętych, z całkowitym wyeliminowaniem konstrukcji kolejowej na tłuczniu w obszarach śródmiejskich [1].

Oferowane przez producentów nowoczesne systemy nawierzchni szynowych można podzielić na kilka podgrup:

- torowiska zamknięte z mocowaniem szyn do płyty betonowej lub żelbetowej za pomocą przytwierdzeń,
- torowiska zamknięte z mocowaniem szyn za pomocą elementów sprężystych i/lub mas zalewowych w korytach wykształconych w płycie żelbetowej,
- torowiska konstruowane wraz z otaczającą nawierzchnią drogową jako płyty żelbetowe na podparciu sprężysto - tłumiącym (system masa – tłumik),
- systemy podóp blokowych,
- torowiska zielone w postaci żelbetowych podkładów podłużnych,
- torowiska zielone pozostałych systemów [4].

Wszystkie wymienione powyżej rozwiązania niewątpliwie cechują się wyższym kosztem zakupu komponentów i instalacji, niż tradycyjne systemy budowy torowisk stosowane dziś we Wrocławiu. Przy planowaniu inwestycji i remontów należy brać pod uwagę powyższe rozwiązania w analizie za pomocą metody LCC. Prawdopodobnie okaże się, że uwzględniając koszty środowiskowe, związane z ochroną przed nadmiernym hałasem i innymi uciążliwymi cechami rozwiązań tradycyjnych, opłacalne stanie się zastosowanie rozwiązania o wyższym koszcie nabycia, ale niskich kosztach eksploatacji. Dodatkowo, może okazać się możliwa rezygnacja z innych elementów inwestycji, np. ekranów akustycznych. Należy również uwzględnić istotne czynniki pozafinansowe, jak estetyka danego rozwiązania.

Znaczenie kosztów nabycia

Oszczędności czynione podczas zakupu elementów systemu i ich instalacji w znakomitej większości przypadków okazują się być oszczędnościami pozornymi. Dobrym przykładem może być stosowanie wypełnień komór szynowych w formie bloczków betonowych, które często ulegają uszkodzeniu (pęknięcia, wykruszenia) już podczas ich wbudowywania w tor. Ich stosowanie, powiązane z powszechnym brakiem należytej konserwacji uszczelniającej masy przy główce szyny, powoduje ekspresową degradację torowiska poprzez gromadzenie wody w głębi nawierzchni wokół szyny, zwiększenie hałasu oraz drgań. Zastosowanie właściwych wypełnień, wykonanych z materiału elastycznego, hydrofobowego i ekologicznego, jak granulowana guma pozyskiwana z przetwarzanych opon, pozwoliłoby na

znaczne wydłużenie okresu bezproblemowej eksploatacji torowiska. Niestety, bloczki betonowe zastosowano podczas prawie wszystkich dużych remontów i budów prowadzonych ostatnio, jak Rondo Reagana czy ul. Bardzka.

Stosowanie elementów tańszych, ale wątpliwej jakości, ma miejsce również przy doborze rozjazdów. Rozwiązania niedrogie często obciążone są wadami, które właściwie powinny dyskwalifikować je z kolejnych procesów inwestycyjnych. Przykładowo, w niektórych półzrotnicach wbudowanych w ostatnich latach we Wrocławiu można zaobserwować przypadki niepoprawnej pracy iglic spowodowane prostym przeniesieniem kształtu ich przekroju poprzecznego stosowanego w przypadku osad czopowych do rozjazdów z osadami sprężystymi, przez co są one znacznie przeszywnione w strefie przytwierdzenia [5]. Skutkuje to możliwością lokalnych zwężeń prześwitu torów w połowie długości iglic, co mogło przyczynić się do kilku wypadków z wykolejeniem tramwaju.

Zmniejszenie nakładów na instalację torowiska najczęściej ma katastrofalny wpływ na trwałość torowiska. Należy tu zaznaczyć, że najczęściej jest dokonywane bez wiedzy inwestora. Główny wykonawca, który musi spełniać wysokie wymagania związane z doświadczeniem czy zasobami kadrowymi najczęściej dobiera sobie podwykonawców, którzy mają znacznie gorsze referencje, ale podejmują się przeprowadzenia prac za część pierwotnej ceny. Często podwykonawcą zostaje konkurent w postępowaniu przetargowym. Luki w polskim prawo-

dawstwie właściwie pozbawiają inwestora wpływu na dobór podwykonawców. Zyski biorące się z różnicy pomiędzy wygrywającą ofertą a oszczędnościami na kosztach wykonania trafiają do kieszeni wykonawców, natomiast konsekwencje, w tym finansowe, niższej jakości robót ponosi inwestor, czyli ostatecznie pasażer lub ogólnie podatnik. Przykładem niskiej jakości prac związanych z budową torowiska może być ulica Szewska, gdzie odbiory około 2 km toru pojedynczego i kilkunastu rozjazdów trwały ponad pół roku, a prace naprawcze na nowym torowisku były prowadzone w sposób budzący sceptycyzm co do ich jakości.

Wpływ właściwego utrzymania na trwałość torowiska tramwajowego

W grupie kosztów posiadania w metrze LCC można wyodrębnić elementy należące do kosztów właściwej eksploatacji. Zalicza się do niej między innymi:

- koszt obsługi, związany np. z codziennym utrzymaniem czystości w rejonie torowiska,
- koszt konserwacji, obejmujący drobne, bieżące prace i poprawki mające na celu utrzymanie pierwotnego stanu torowiska, jak np. wymiana wykruszonej masy zalewowej przy główce szyny,
- koszty usuwania awarii,
- koszty środowiskowe, składające się m.in. z ochrony przed hałasem oraz innych kosztów zewnętrznych generowanych przez torowisko.

Wszystkie wymienione powyżej czynniki są między sobą powiązane skomplikowaną i



2. Zastosowanie bloczków betonowych w komorach szyn, przytwierdzenie szyn do podbudowy łapkami Łp3 – tanie materiały kosztem trwałości.



3. Konserwacja polegająca na wymianie bitumicznego uszczelnienia przyszynowego.

rozbudowaną siecią połączeń. Poprawa lub zaniedbanie w określonym elemencie stanu danego torowiska pociąga za sobą zmniejszenie lub zwiększenie kosztów w wielu innych aspektach. Taka sieć zależności sprawia, że oszczędności czynione w ramach jednej procedury są w ujęciu globalnym pozorne, bo pociągają za sobą zwiększone wydatki w innych działach czy jednostkach budżetowych.

Koszty obsługi torowiska zamkniętego w porównaniu do nakładów inwestycyjnych na jego wybudowanie są znikome, ale kumulują się przez cały okres eksploatacji. Wydatki poniesione na częste, najlepiej codzienne oczyszczanie powierzchni ulic i torowisk zwracają się choćby w postaci wydłużonej żywotności konstrukcji torowiska, oznakowania poziomego oraz taboru tramwajowego i autobusowego czy zmniejszonych kosztów na utrzymanie pojazdów w czystości. Nie bez znaczenia jest aspekt zdrowotny prawidłowej obsługi nawierzchni utwardzonych w mieście, gdyż zapylenie jest poważnym patogenem, przyczyniającym się do zwiększenia zachorowalności na choroby układu krążenia i oddechowego oraz nowotwory. Torowiska zielone charakteryzują się nieco zwiększonym zapotrzebowaniem na utrzymanie, ponieważ wymagają regularnej pielęgnacji poprzez podlewanie, koszenie czy odchwaszczanie, jednak za to w niektórych rozwiązaniach konstrukcyjnych ponad 90% powierzchni torowiska stanowi powierzchnia biologicznie czynna.

Prace konserwacyjne można podzielić

na dwa rodzaje: prowadzone cyklicznie i prowadzone doraźnie, w miarę zapotrzebowania. Roboty prowadzone zgodnie z harmonogramem powinny uwzględniać rzeczywiste zapotrzebowanie i w razie potrzeby powinno dojść do skorygowania planu prac. Koszty konserwacji również narastają przez cały okres eksploatacji torowiska. Częściowo ich zakres pokrywa się z naprawą drobniejszych awarii, dlatego trudno jednoznacznie wyznaczyć granicę pomiędzy tymi grupami kosztów. Charakterystyczną tendencją jest niski udział tych kosztów w początkowym okresie eksploatacji i wyraźny wzrost ich wysokości w okresie poprzedzającym generalny remont torowiska. Przykładem konserwacji bieżącej wykonywanej regularnie może być kontrola i regulacja przytwierdzeń typu K na torach z nawierzchnią podsypkową. Poluzowanie łapek tych mocowań powoduje niepotrzebne zwiększenie zakresu ruchu szyny, co może stać się przyczyną jej pęknięcia zmęczeniowego, oraz jest skutecznym generatorem hałasu. Dodatkowo zwiększony zakres ugięć szyny powoduje lawinowy przyrost oddziaływań dynamicznych, co przekłada się na utratę geometrii rusztu torowego. Niestety, długoletnie obserwacje prowadzone przez autorów dowodzą, że zarządca infrastruktury całkowicie ignoruje ten problem.

Jako zagadnienie wieloaspektowe można potraktować prace związane z należywym utrzymaniem nawierzchni szynowej. Wiedza o konieczności dokonywania takich zabiegów była powszechna już na początku

XX wieku. Do dziś we Wrocławiu zachowały się dwa wozy techniczne: G 063 Schörling / SSB oraz G 064 Bremen, obydwa z roku 1928, służące do szlifowania szyn. Pojazdy te były eksploatowane aż do lat 90.; od tego czasu zarządca infrastruktury zleca wykonanie szlifowania szyn podmiotom zewnętrznym w miarę posiadanych środków. Z prowadzonych obserwacji wynika, że zakres tych prac jest niezadowalający – zużycie faliste szyny jest powszechne na obszarze całego miasta, zarówno na torowiskach nowych, jak i eksploatowanych od dawna. Biorąc pod uwagę rozległość sieci, uzasadniony wydaje się zakup nowoczesnego pojazdu wielozadaniowego, na przykład podobnego typu jak nabyty w roku 2005 przez Tramwaje Warszawskie.

Szlifowanie szyn stanowi nie tylko środek walki z hałasem, ale również zapobiega powstawaniu głębokich wad i uszkodzeń szyn [6]. Pomimo różnych objawów i sposobów ich powstawania, mechanizm rozwoju wady jest zawsze taki sam – do awarii dochodzi przez długotrwałą kumulację nadmiernych obciążeń dynamicznych, które w prawidłowo utrzymanym torze mają wielokrotnie mniejsze wartości lub nie występują wcale. Należy ponownie podkreślić, że zapobieganie powstawaniu takich wad jest zawsze tańsze, niż usuwanie ich skutków. Degradacja torowisk związana z przekroczeniem jednego lub kilku dopuszczalnych parametrów eksploatacyjnych pociąga za sobą konsekwencje w szerokim otoczeniu tego miejsca. Uszkodzona nawierzchnia powoduje przyspieszone zużycie taboru, co pociąga za sobą konieczność znacznego zwiększenia nakładów ponoszonych na jego naprawy, a i tak stan techniczny pojazdów pogarsza się w ekspresowym tempie. Z tego właśnie powodu typ 102Na został już właściwie wycofany w całej Polsce, natomiast analogicznej konstrukcji wiedeńskie wozy typu E1 produkcji Lohnera są chętnie kupowane przez Kraków i po małej modernizacji przeznaczone do dalszej, długoletniej służby.

Najpoważniejszymi konsekwencjami eksploatacji zaniedbanych torowisk jest usuwanie skutków wypadków, jakie mają miejsce najczęściej w miejscach skokowych nieciągłości nawierzchni szynowej [7]. Pomijając znaczne koszty ponoszone na naprawę uszkodzonego taboru, poważne zagrożenie z tego tytułu dotyczy również życia i zdrowia przewożonych pasażerów. Czasami zniszczeniu ulegają egzemplarze unikatowe, których wartości nie można policzyć jedynie w kryteriach finansowych – wystarczy przypomnieć wypadek składu Trelenberg / LH Neu - Berolina nr 1 i 2 (Jaś i Małgosia) w lipcu 2009 roku, po którym zniszczone wagony nie zostały jeszcze odbudowane. Powodem rozbicia bezcennych wozów było roztopione uszczelnienie przyszynowe, które pokrywa-

jąc główkę szyny znacznie wydłużało drogę hamowania. Poza zagrożeniem dla pojazdów szynowych, zniszczona nawierzchnia torowisk zamkniętych powoduje również nadmierne zużycie zawieszania pojazdów samochodowych.

Osobnym zagadnieniem jest jakość prowadzonych prac utrzymaniowych i robót budowlanych. Niepokojącym zjawiskiem jest wykonywanie takich remontów, których efektem jest nieznaczna poprawa stanu torowiska oraz wypełniającej je nawierzchni drogowej. Trwałość i jakość takich „napraw” jest wysoce niezadowalająca. Zarówno w przypadku ulicy Nowowiejskiej, jak i Remonta niedawne zamknięcia związane z pracami budowlanymi trwały mniej więcej dwukrotnie dłużej, niż czas jaki upłynął od chwili ich zakończenia do momentu ponownego powstania dużych uszkodzeń nawierzchni. Niepokojące zjawisko miało również miejsce podczas remontu ulicy Podwale na odcinku Sądowa – Świdnicka, gdzie skrajnie wyeksploatowane torowisko otrzymało jedynie nowy dywanik asfaltowy.

Problemem przy właściwym ustaleniu standardów wykonania i utrzymania nawierzchni torowisk jest brak obowiązujących przepisów prawnych. Na podstawie art. 5 ust. 3 ustawy z dnia 12 września 2002 r. o normalizacji (Dz.U. Nr 169, poz. 1386) Polskie Normy z aktów prawnych do obowiązkowego stosowania stały się zbiorem dobrych praktyk zalecanych do naśladowania. Stosowane najczęściej przepisy w formie warunków technicznych pochodzą z lat 80. i 90., przez co nie uwzględniają postępu technicznego w konstrukcji nawierzchni szynowych, krawędzi przystankowych i taboru, zwłaszcza niskopodłogowego. Zacołanie polskiego prawodawstwa widoczne jest zwłaszcza przy próbach wykonania wysokich krawędzi peronowych, dopasowanych do wysokości wejścia do nowoczesnych wagonów na odstęp pionowy i poziomy nie przekraczający kilku centymetrów. To, co w krajach Europy Zachodniej jest od lat przyjętą normą, w Polsce wymaga każdorazowo uzyskania odstępstwa od warunków technicznych u kompetentnego ministra za pośrednictwem wojewody. Zresztą, utrzymanie należytego stanu nawierzchni wraz z wyszczególnieniem dopuszczalnych odchyśleń od geometrii toru zawarte jest nawet w istniejących, leciwych przepisach [8], a i tak pozostaje konsekwentnie ignorowane.

Podsumowanie i wnioski

Podsumowując, wprowadzenie metody LCC przy doborze konstrukcji torowisk tramwajowych wydaje się niezwykle obiecujące. Obliczenie rzeczywistych i całłościowych kosztów związanych z okresem eksploatacji



4. Wrocławski wagon – szlifierka G 064 Bremen, fot. Michał Jerczyński, maj 2000.

danego rozwiązania da szansę wprowadzenia nowoczesnych rozwiązań, które obecnie nie mają szans zastosowania. Stosowana procedura przetargowa, w której brane pod uwagę są tylko koszty nabycia, tj. zakupu komponentów i ich instalacji, powinna zostać jak najszybciej zastąpiona postępowaniem bazującym na bardziej realnym wyliczeniu rzeczywistych nakładów podczas całego okresu użytkowania. Przeznaczenie pewnych środków na właściwą eksploatację, bieżącą konserwację i drobne naprawy pozwoli na znaczne zredukowanie nakładów ponoszonych na kolejne remonty generalne oraz wydłuży okresy między nimi. Dążenie w kierunku zwiększania niezawodności stosowanych rozwiązań, na przykład przez wymiany elementów nawierzchni w trybie uprzedzającym awarię [3] zmniejsza koszty zewnętrzne spowodowane prowadzeniem prac remontowych oraz przyczynia się do zwiększenia zaufania i frekwencji pasażerów, co bezpośrednio przekłada się na większe wpływy z biletów.

Wnioski:

- rozwój i modernizację systemu torowisk tramwajowych powinny być prowadzone tylko z zastosowaniem nowoczesnych rozwiązań, wolnych od stosowania pozornie tańszych zamienników o znacznie gorszych parametrach,
- należy rygorystycznie przestrzegać reżimu utrzymania i bieżących napraw torowisk,
- w celu uniknięcia kłopotów z eksploatacją torowisk należy podnieść standard ich wykonania oraz zwiększyć nakłady na bieżące utrzymanie, w tym również czystość,
- należy dążyć do wyeliminowania z obszarów śródmiejskich tradycyjnej konstrukcji torowiska na podsypce tłuczniowej, m.in. ze względu na ochronę przez hałasem. ◀

Materiały źródłowe:

- [1] Groneck Ch.: Französische Planungsleitsbilder für Straßenbahnsysteme im Vergleich zu Deutschland, rozprawa doktorska, BUW 2007
- [2] Czyżula W., Wajer R.: Problemy eksploatacji torowisk tramwajowych, Ogólnopolska Konferencja Naukowo-Techniczna „Nowoczesne technologie i systemy zarządzania w kolejnictwie”, Zakopane – Kościelisko 2010
- [3] Morel O., Molecki B.: Zasady organizacji przewozów regionalnych w Szwajcarii, w: Rola samorządu w kształtowaniu transportu regionalnego w Polsce i w Europie, PWr 2010
- [4] Oleksiewicz W.: Nowoczesne konstrukcje torowisk tramwajowych – kierunki rozwoju, Konferencja Naukowo – Techniczna „Miasto i Transport 2006”
- [5] Makuch J.: Problemy doskonalenia konstrukcji rozjazdów tramwajowych w świetle wrocławskich doświadczeń. Transport Miejski i Regionalny 11 / 2010
- [6] Siefer T., Hempe T.: Auswirkungen der Schienenpflege auf das Gesamtsystem Gleis, wystąpienie na ÖVG Jahrestagung 2007
- [7] Krużyński M., Piotrowski A., Makuch J., Gisterek I.: Ekspertyza techniczna zwrotnicy tramwajowej w ul. Nowy Świat we Wrocławiu po wykolejeniach w dniach 23.08.2007 i 3.09.2007, grudzień 2007
- [8] Wytyczne techniczne projektowania, budowy i utrzymania torów tramwajowych. MAGTIOŚ 1983
- [9] Polska Norma PN-K-9201 1:1998: Torowiska tramwajowe. Wymagania i badania.