

Wojciech Ulatowski

# Analiza kosztów urządzeń infrastruktury tramwajowej w pełnym cyklu życia

Zarówno dla firm prywatnych, jak i jednostek budżetowych finansowanych ze środków państwowych, rachunek finansowy jest jednym z najważniejszych kryteriów przy podejmowaniu decyzji o zakupie nowego urządzenia. Jednostki odpowiedzialne za ramienia miasta za infrastrukturę tramwajową w Polsce nie są tutaj wyjątkiem. Dodatkowo, wybór rozwiązania jest zdeterminowany przez obowiązującą ustawę o zamówieniach publicznych z 29 stycznia 2004 r. – Prawo zamówień publicznych (Dz.U. z 2006 r. nr 164, poz. 1163, z późn. zm.), nakazującą wybór oferty najkorzystniejszej. Wydaje się jednak, że zapisy tej ustawy są często źle interpretowane przez zamawiających, którzy za ofertę najkorzystniejszą uważają ofertę z najniższą ceną zakupu.

Wynikiem tego w specyfikacjach istotnych warunków zamówienia (SIWZ) dominującym, a często i jedynym kryterium wyboru rozwiązania jest cena zakupu. Należy jednak zwrócić uwagę, że zgodnie z art. 91 ust. 2 ustawy z 29 stycznia 2004 r. Prawo zamówień publicznych „kryteriami oceny ofert są cena albo cena i inne kryteria odnoszące się do przedmiotu zamówienia, w szczególności jakość, funkcjonalność, parametry techniczne, zastosowanie najlepszych dostępnych technologii w zakresie oddziaływania na środowisko, koszty eksploatacji, serwis oraz termin wykonania zamówienia”. Wynika z tego, że zamawiający już na etapie określania SIWZ powinni w większym stopniu niż obecnie zwracać uwagę na koszty związane z utrzymaniem i eksploatacją systemu. Dotyczy to również urządzeń automatyki instalowanych w zwrótnicach tramwajowych. Należy pamiętać, że montowane obecnie urządzenia będą użytkowane przez wiele lat, a to wymusza branie pod uwagę nie tylko kosztów zakupu, lecz również przeprowadzenie analizy kosztów utrzymania danego urządzenia lub systemu. Potwierdzają to między innymi wyniki prowadzonych w Niemczech badań, z których wynika, że koszty utrzymania znacznie przewyższają koszty zakupów i to nawet kilkanaście razy. Wynika z tego, że podczas podejmowania decyzji o kupnie danego systemu powinniśmy kierować się nie tylko kosztami zakupu, lecz brać pod uwagę koszty w pełnym cyklu życia produktu.

## Koszt cyklu życia

Koszt cyklu życia produktu, w skrócie LCC (*Life Cycle Cost*), można zdefiniować jako całkowity, szacunkowy koszt poniesiony w całym cyklu życia produktu. Wskaźnik ten uwzględnia dwa główne podsystemy związane z produktem, a mianowicie podsystem produkcyjny odpowiedzialny za wytworzenie produktu oraz podsystem obsługowy niezbędny podczas użytkowania systemu. Ogólny wzór stosowany do wyliczenia wskaźnika LCC jest następujący [4]:

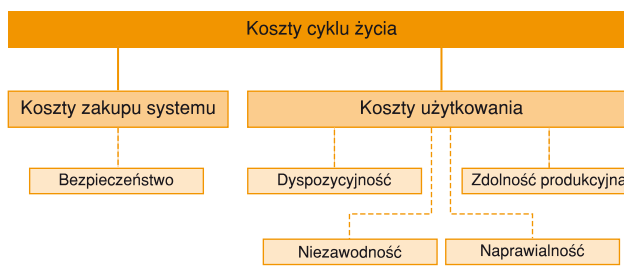
$$LCC = IC + \sum_{j=1}^n COF_j \left( \frac{1+p}{1+i} \right)^j$$

gdzie:

- IC – koszty zakupu i uruchomienia systemu,
- COF – roczne koszty użytkowania systemu,
- n – zakładana liczba lat użytkowania systemu,
- j – kolejny rok użytkowania systemu,
- p – stopa inflacji,
- i – nominalna stopa oprocentowania (dyskontowa).

Analiza LCC jest obecnie bardzo szeroko stosowana, ponieważ łączy ona w sobie dane kosztowe związane z zakupem i instalacją nowego urządzenia z danymi kosztowymi jego użytkowania. Dzięki temu podjęcie decyzji dotyczącej wyboru konkretnego rozwiązania gwarantuje większy sukces ekonomiczny. Osoba porównująca różne produkty ma wiedzę nie tylko o tym, ile kosztuje nowe urządzenie, ale również ile będzie kosztowało jego użytkowanie. Wskaźnik ten umożliwia wybranie rozwiązania najbardziej opłacalnego ekonomicznie.

Koszty zakupu urządzenia są ściśle powiązane z późniejszymi kosztami jego użytkowania. Wynika to z faktu, że producenci poprzez wykorzystanie tańszych materiałów oraz technologii są w stanie zaoferować relatywnie niedrogi urządzenie, przenosząc wysokie koszty związane z utrzymaniem na klienta. Zastosowanie bowiem droższych rozwiązań w większości przypadków skutkuje między innymi wydłużeniem czasu między oględzinami i przeglądami, a także redukcją kosztów związanych z awariami. To zaś gwarantuje wymierne korzyści dla klienta. Równie ważne, z punktu widzenia klienta jest żywotność urządzenia, czyli czas w którym może być ono eksploatowane. Im ten czas jest dłuższy tym rzadziej istnieje konieczność zakupu nowego rozwiązania. Na rysunku 1 przedstawiono wpływ parametrów charakteryzujących urządzenie na poszczególne składowe jego wskaźnika LCC.



Rys. 1. Koszty cyklu życia systemu

Na koszt zakupu urządzeń związanych z torową infrastrukturą tramwajową wpływa w bardzo dużym stopniu poziom bezpieczeństwa charakteryzujący dane urządzenie. Wymagany poziom bezpieczeństwa w urządzeniach infrastruktury torowej ciągle wzrasta, a uzyskanie go implikuje stosowanie bardzo trwałych i niezawodnych rozwiązań, które są drogie. Z tego powodu, porównując ce-

ny konkurencyjnych systemów należy brać pod uwagę te, które mają identyczny poziom nienaruszalności bezpieczeństwa (SIL) [5]. W innym przypadku dokonana ocena nie jest obiektywna ani miarodajna.

Aby jednoznacznie powiązać koszty utrzymania urządzenia z jego właściwościami technicznymi, wprowadzono pojęcie skuteczności działania urządzenia (*Effectiveness*). Na pojęcie to składają się cztery cechy urządzenia [4]:

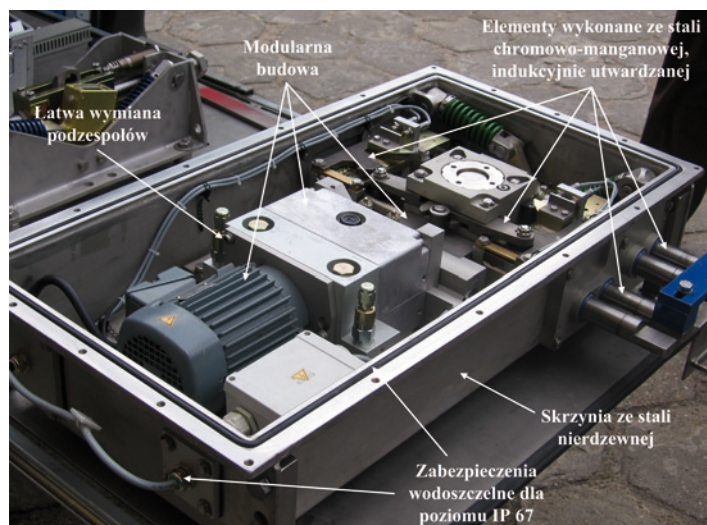
- dyspozycyjność (*Availability*) – gotowość urządzenia do wykonywania określonych funkcji w możliwie najdłuższym okresie;
- niezawodność (*Reliability*) – prawdopodobieństwo bezawaryjnego działania urządzenia w założonym okresie czasu; dla pojęcia niezawodności definiuje się średni czas między awariami (MTBF – *Mean Time Between Failure*);
- naprawialność (*Maintainability*) – zdolność do szybkiego i sprawnego prowadzenia obsługi i napraw urządzenia zgodnie z określonymi procedurami w założonym okresie czasu;
- zdolność produkcyjna (*Capability*) – zdolność do wytworzenia urządzenia zgodnie z określonymi standardami; parametr ten bierze pod uwagę liczbę poprawnie oraz niepoprawnie wyprodukowanych urządzeń oraz stosunek czasu wykorzystania urządzenia do czasu trwania jego procesu produkcyjnego.

Wyliczenie tych parametrów, charakteryzujących dane rozwiązanie wraz z analizą LCC zdecydowanie ułatwia wybór odpowiedniego rozwiązania. Parametry te są ściśle powiązane z kosztami LCC, przykładowo – im większa niezawodność danego urządzenia, tym dłuższe czasy między jego ewentualnymi naprawami, a co za tym idzie zdecydowanie mniejsze koszty napraw.

Łącząc te rozważania z zagadnieniami dotyczącymi urządzeń infrastruktury torowej można wysunąć twierdzenie, że urządzenia te muszą charakteryzować się minimalnym czasem obsługi oraz napraw. To zaś wymusza ich prostą konstrukcję, umożliwiającą łatwą i szybką wymianę uszkodzonych elementów, a także jak największą niezawodność tych urządzeń. Wymagania te powodują wzrost kosztów inwestycyjnych, gwarantując jednocześnie redukcję kosztów użytkowania.

## Zmniejszanie kosztów LCC

Przedstawione zostaną sposoby zmniejszania kosztów LCC dla przykładowych urządzeń infrastruktury tramwajowej, jakimi są na-



Rys. 2. Stosowane w napędzie CSV 24 (prod. Contec) rozwiązania obniżające LCC

pędy zwrotnicowe oraz systemy sterowania zwrotnicami firmy Contec [1, 2]. Na koszty cyklu życia tych urządzeń wpływają przede wszystkim koszty:

- zakupu
  - urządzenia lub systemu
  - montażu i rozruchu
  - szkolenie personelu
  - wyposażenia dodatkowego
- utrzymania
  - energii
  - eksploatacji
  - obsługi i napraw
  - części zamiennych
  - strat spowodowanych awarią
  - ochrony środowiska
  - demontażu i utylizacji urządzeń.

Wymienione koszty cząstkowe należy ze sobą zsumować, aby otrzymać całkowity koszt cyklu życia systemu. Aby zminimalizować te koszty, firmy wprowadzają w swoich rozwiązaniach, oraz w strukturach organizacyjnych, wiele innowacyjnych rozwiązań.

Podstawowym rozwiązaniem gwarantującym wysoką niezawodność oraz niskie koszty LCC jest stosowanie najwyższej jakości materiałów do produkcji elementów ruchomych oraz narażonych na działania mechaniczne lub warunki atmosferyczne. W napędach firmy Contec wszystkie te elementy wykonane są ze specjalnej stali manganowo-chromowej, która dodatkowo jest indukcyjnie utwardzana. Pozwoliło to na uzyskanie dla napędu CSV 24 poziomu bezpieczeństwa SIL 3. Skrzynia napędu wykonana jest ze stali nierdzewnej i gwarantuje szczelność na poziomie IP 67 (rys. 2).

Zaniechanie przez czołowych producentów napędów zwrotnicowych rozwijania konstrukcji elektromagnetycznych wynika w dużej mierze z faktu, że w tych konstrukcjach nie jest możliwe osiągnięcie wymaganych parametrów niezawodności, dyspozycyjności oraz naprawialności. Szeroko stosowane obecnie napędy elektrohydrauliczne gwarantują zdecydowanie wyższy poziom wymiennych parametrów. Dodatkowo, w konstrukcjach elektrohydraulicznych nie występuje jeden z bardziej zawodnych elementów napędu elektromagnetycznego, czyli tłumik, którego rolę pełni tu moduł hydrauliczny.

Uwzględniając te cechy nowoczesnych napędów zwrotnicowych, łatwo zauważyć, że możliwe jest znaczne wydłużenie czasów między przeglądami. Dla opisywanego rozwiązania wymagany jest przegląd ogólny co 12, zaś przegląd główny co 60 miesięcy [6].

Z przeprowadzonych badań wynika, że na duże koszty utrzymania mają w znacznym stopniu wpływ nakłady związane z usunięciem usterki. Oprócz aspektu ekonomicznego, należy również uwzględnić opinię użytkowników – im dłużej sieć tramwajowa jest wyłączona z ruchu, tym zadowolenie podróżnych maleje. Dlatego ważne jest, aby maksymalnie skrócić czas wymiany poszczególnych elementów po wystąpieniu awarii – wymiana silnika w napędzie firmy Contec trwa około 5 min, zaś modułu hydraulicznego około 10 min. Ponadto, niewielkie wymiary napędu oraz możliwość instalowania go bezpośrednio na podrozejzdnicach, redukuje koszty instalacji.

Równie cenne jest wsparcie, jakie zapewnia system sterowania zwrotnicami, na przykład TCS 300 firmy Contec, który diagnozuje i pomaga ekipom serwisowym usunąć awarię. System ten,

działający w czasie rzeczywistym, wyposażony jest w asystenta, który wskazuje ekipom serwisowym powody awarii i ukierunkowuje ich działania w celu rozwiązania problemu. Dzięki temu można znacząco podnieść efektywność działań ekip obsługowych oraz serwisowych, a także możliwe jest usunięcie usterki bez wstrzymywania ruchu tramwajów. Dodatkowo system sterowana TCS 300 analizuje rozwój wydarzeń i wykrywa możliwość wystąpienie niebezpieczeństwa w najbliższej przyszłości. Skutkuje to natychmiastowym wygenerowaniem wiadomości alarmowej, która może być przesłana e-mailem lub jako wiadomość tekstowa (SMS). Dostępność sieci tramwajowej jest znacznie zwiększona, dzięki skutecznemu zapobieganiu przestojom wynikającym z awarii systemu.

Dodatkowe elementy wpływające na ograniczenie kosztów utrzymania, to:

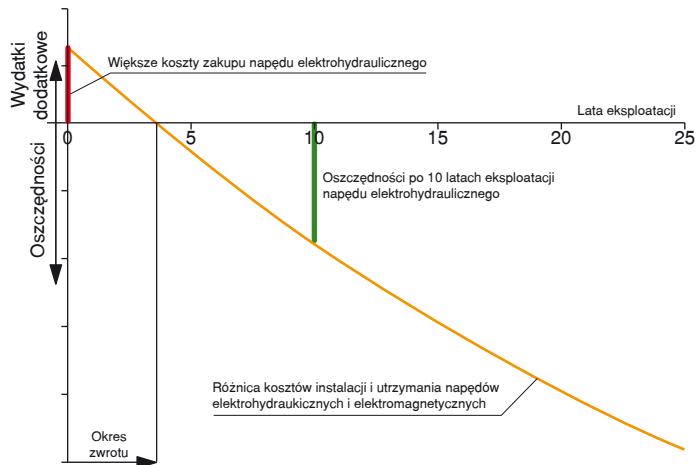
- mały pobór prądu w napędach elektrohydraulicznych, co gwarantuje dłuższą żywotność drogich przekładników na napięcie 750 V;
- modułowa konstrukcja, ułatwiająca wymianę podzespołów;
- silnik przymocowany jedną, a moduł hydrauliczny – czterema śrubami, co skraca czas wymiany;
- identyczne części zapasowe, niezależnie od napięcia zasilania i wersji napędu;
- przesuw iglicy do 100 mm, powodujący mniejsze zużycie zwrotnicy.

Oprócz technicznych rozwiązań, stosowanych w danym napędzie i w systemie sterowania, obniżających wskaźnik LCC, równie ważna jest organizacja produkcji. Ma ona wpływ na parametr zwany zdolnością produkcyjną. Do uzyskania produktu niezawodnego i dyspozycyjnego oraz łatwego w utrzymaniu i konserwacji niezbędne jest stosowanie odpowiednich technologii. Tylko odpowiedni park maszynowy oraz wysoko wyspecjalizowany personel są w stanie sprostać wysokim wymaganiom stawianym napędom zwrotnicowym i systemom sterowania zwrotnicami. Jedynie firmy z odpowiednim kapitałem, działające globalnie, są w stanie zainwestować w najnowsze technologie. Dzięki czemu ich produkty uzyskują wysoką precyzję oraz powtarzalność. Tylko firmy z odpowiednim zapleczem kadrowym oraz finansowym mogą prowadzić kosztowne badania rozwojowe oraz wdrażać najnowsze technologie. Działalność firmy na rynku lokalnym, ograniczona na przykład do jednego kraju, nie daje ekonomicznych podstaw do zwrotu środków zainwestowanych w system produkcyjny. Wynikiem tego jest częste oferowanie produktów, które ze względu na stosowanie przestarzałej technologii, są tańsze na etapie inwestycji, lecz zdecydowanie droższe podczas całego cyklu ich użytkowania.

Dostępne są już na polskim rynku produkty charakteryzujące się dużą niezawodnością działania, łatwością obsługi i długimi okresami między przeglądami, które dodatkowo gwarantują sukces finansowy [3]. Niewiele większe środki zainwestowane w nowoczesne technologicznie produkty zwrócą się w krótkim czasie, ponieważ koszty ich utrzymania są relatywnie niskie (rys. 3).

## Podsumowanie

Trwające obecnie oraz planowane inwestycje w infrastrukturę tramwajową powinny być oceniane w perspektywie kolejnych kilkudziesięciu lat. Należy sobie zdawać sprawę z faktu, że obecnie podejmowane decyzje określają nie tylko standard linii tramwajowych w Polsce, ale również koszty związane z ich przyszłym użyt-



Rys. 3. Różnica LCC dla napędów elektrohydraulicznych i elektromagnetycznych

kowaniem. Dostępność na rynku produktów, które minimalizują koszty ich utrzymania, konserwacji oraz napraw umożliwia instytucjom i firmom odpowiedzialnym za ich utrzymanie zaoszczędzenie znacznych środków finansowych. Obowiązująca obecnie ustawa o zamówieniach publicznych również dopuszcza zakup nie tylko produktów z najniższą ceną zakupu, lecz również tych, które są droższe podczas realizacji projektu, zaś zdecydowanie tańsze podczas użytkowania. Wynika to głównie z przekonania, że urządzenia dobre ze względu na swoją konstrukcję oraz stosowane w nich materiały nie mogą być tanie.



## Literatura

- [1] Materiały informacyjne firmy Contec Transportation Systems, www.contec-ts.com.
- [2] Materiały informacyjne firmy Tens Sp. z o.o., www.tens.pl.
- [3] Semrau K., Rosiński P.: *Rachunek całkowitych kosztów LCC dla systemów rozjazdów kolejowych*. Rynek Kolejowy 12/2006, s. 40–42.
- [4] Świderski M.: *Analiza LCC (Life Cycle Cost Analysis) narzędziem wspomagającym ocenę projektów inwestycyjnych związanych z techniką pompową*. IX Forum Użytkowników Pomp. Szczyrk, 1–3 października 2003.
- [5] Ulatowski W.: *Bezpieczeństwo urządzeń infrastruktury tramwajowej*. Technika Transportu Szynowego 7-8/2007, s. 38–41.
- [6] Ulatowski W.: *Dokumentacja techniczno-ruchowa elektrohydraulicznego napędu zwrotnicowego CSV-24*. TR-0001-042-DTR, materiały firmy Tens.

dr inż. Wojciech Ulatowski  
TENS Sp. z o.o.  
wojciech.ulatowski@tens.pl