ZASTOSOWANIE ANALIZY TYPU *LCCA* DO OCENY WARIANTÓW MODERNIZACJI MOSTU

Marcin SZEREMETA*, Tomasz SIWOWSKI**
*) Promost Consulting, Rzeszów
**) Politechnika Rzeszowska

Streszczenie

Przedmiotem pracy jest analiza kosztów w cyklu życia (*LCCA*, ang. *Life Cycle Cost Analysis*) dla trzech wariantów modernizacji istniejącego mostu drogowego o konstrukcji krwtownicowej. Przeanalizowano warianty modernizacji mostu, zakładajace wymiane istniejącej żelbetowej płyty pomostu na: nową płytę żelbetową, stalowy pomost otrotropowy oraz pomost kompozytowy w postaci stalowo-elastomerowej płyty warstwowej (*sandwich*). Analiza LCCA wykazała, że najmniejsze koszty w 60-letnim cyklu życia generuje rozwiązanie trzecie, najbardziej innowacyjne, lecz najdroższe w kosztach bezpośrednich wbudowania. Przykład pokazuje, że tylko przy zastosowaniu analizy w cyklu życia można uzasadnić ekonomiczność wdrażania nowoczesnych i zaawansowanych technologicznie materiałów i technologii w budowie i utrzymaniu mostów, spełniając przy tym jedną z głównych zasad zrównoważonego rozwoju.

Słowa kluczowe: LCCA, analiza kosztów, cykl życia, pomost, sandwich

1. WSTĘP

Jednym z narzędzi do oceny stopnia wdrożenia zasad zrównoważonego rozwoju w mostownictwie jest ekonomiczna analiza cyklu życia (*LCCA*, ang. *Life Cycle Cost Analysis*) [1]. Analiza pozwala na oszacowanie kosztów generowanych w ciągu całego życia obiektu mostowego, obejmujacego cztery kolejno następujące po sobie fazy, tj.: pozyskanie surowców (wydobycie, przetwarzanie), produkcję (wytworzenie prefabrykatów, półproduktów, montaż konstrukcji), użytkowanie (eksploatacja, utrzymanie) oraz końcowe zagospodarowanie (rozbiórka, recykling, utylizacja odpadów). We wszystkich fazach występuje także dostawa i zużycie energii, natomiast w niektórych fazach i pomiędzy nimi występuje transport. W każdej fazie poszczególne, charakterystyczne dla niej procesy generują określone koszty. Analiza typu *LCCA* stosowana jest m.in. do porównywania równych wariantów konstrukcyjnych, materiałowych lub technologicznych w kontekście spełnienia przez nie zasad zrównoważonego rozwoju. Przykładowe zastosowanie ekonomicznej analizy cyklu życia do oceny wariantów modernizacji stalowego mostu kratowego opisano w niniejszej pracy.

2. ANALIZA *LCCA* W MOSTOWNICTWIE

Dla każdej administracji drogowej mosty to inwestycja długoterminowa. Każdy most wymaga nakładów finansowych na utrzymanie, planowane w jego cyklu życia. Analiza ekonomiczna inwestycji mostowej powinna uwzględniać przyszłe wydatki, związane z utrzymaniem mostu. Podejmowanie decyzji o wyborze wariantu mostu jedynie na podstawie kosztów budowy może prowadzić do dużych strat finansowych, zarówno administracji drogowej, jak również użytkowników mostu. Aby ich uniknąć, przed wyborem ostatecznego wariantu wskazane jest zatem przeprowadzanie analizy *LCCA*.

Analiza *LCCA* może być różnorodnie wykorzystywana w procesie podejmowania decyzji. Jednym z typowych zastosowań jest opracowanie najkorzystniejszej ekonomicznie strategii utrzymaniowej, dzięki możliwości oszacowania i porównania kosztów różnych działań podejmowanych w przyszłości – w cyklu życia obiektu. Drugim z zastosowań *LCCA* jest ocena nowych materiałów i rozwiązań konstrukcyjnych. Te materiały i rozwiązania są zazwyczaj znacznie droższe przy bezpośrednim wbudowaniu i nie mogą konkurować z rozwiązaniami tradycyjnymi. Jednakże oszczędności w całym cyklu życia, uzyskane dzięki ich wdrożeniu, mogą wielokrotnie przewyższyć różnicę w kosztach wbudowania. Analiza *LCCA* może to wykazać. W analizie tego typu można również uwzględnić odpowiednio wysoko poziom niepewności, związany z zastosowaniem nowego materiału i/lub konstrukcji.

Główne etapy typowej analizy *LCCA* dla projektów mostowych to [1]:

a) zdefiniowanie różnych wariantów technicznych dla obiektu;
b) zdefiniowanie głównych parametrów ekonomicznych: okresu analizy (cyklu życia), stopy dyskontowej, wskaźnika inflacji;
c) ustalenie terminów i zakresu głównych działań w cyklu życia obiektu (tzw. strategia utrzymaniowa),
d) oszacowanie kosztów generowanych przez poszczególne działania w cyklu życia obiektu;
e) obliczenie kosztów całkowitych w cyklu życia obiektu;
f) wybór rodzaju analizy *LCCA*: deterministycznej lub probabilistycznej;
g) analiza wrażliwości dla uzyskanego wyniku;
h) analiza wyników końcowych i wnioski.

Metodykę wykonywania analizy *LCCA* obiektów mostowych, dostosowaną do oceny kosztów cyklu życia nowych materiałów i/lub rozwiązań konstrukcyjnych opracowali Ehlen & Marshall [2]. Przygotowano także specjalne oprogramowanie *BridgeLCC 2.0*, pozwalające na łatwe i szybkie przeprowadzanie deterministycznej i probabilistycznej analizy *LCCA* [3]. W niniejszej pracy wykorzystano również tą metodykę (oraz oprogramowanie) do analizy porównawczej wariantów modernizacji obiektu mostowego.

3. OPIS MOSTU I WARIANTÓW JEGO MODERNIZACJI

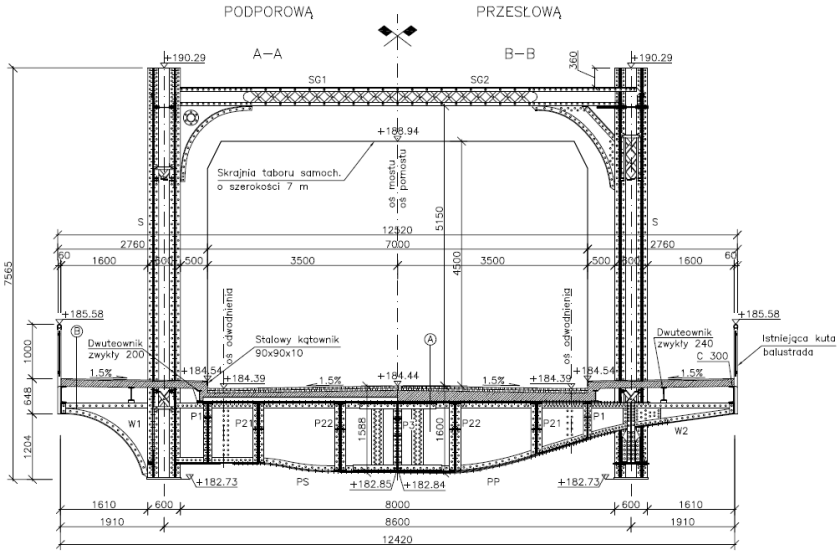
Most drogowy jest położony nad Sanem w ciągu drogi wojewódzkiej nr 865 Jarosław – Bełżec. Jest to most trójprzęsłowy o rozpietościach przęseł swobodnie podartych 3 x 60,5 m i długości całkowitej 185,6 m. Przęsła to nitowane kratownice typu X o pasach równoległych, z jezdnią pośrednią (rys.1). Całkowita szerokość użytkowa mostu wynosi 10,0 m. Na ruszcie pomostu ułożono stalowe kształtowniki „Zoresa", a na nich żelbetową płytę pomostu wraz z typowym wyposażeniem (rys.2). Konstrukcja stalowa przęseł jest częścią nieistniejącego już starego mostu drogowo – kolejowego przez Wisłę w Fordonie z 1893 r. W latach 1953-1954 przęsła zostały przystosowane do warunków nowej lokalizacji w Jarosławiu i powtórnie wbudowane. Od tego czasu, z wyjątkiem standardowych robót utrzymaniowych most nie był moderniozowany.

Rys. 1. Widok ogólny mostu

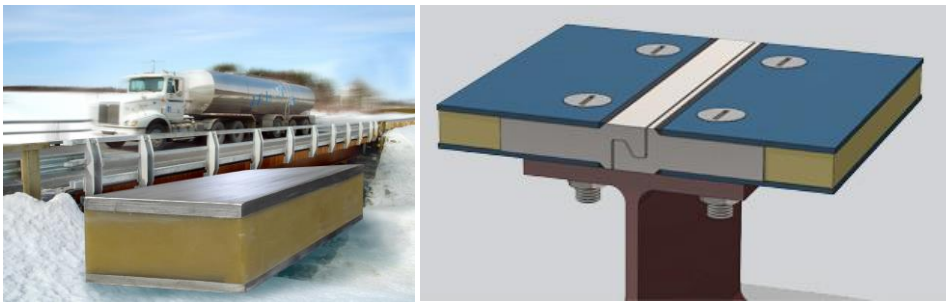
Założenia do modernizacji mostu były związane z koniecznością dostosowania jego parametrów użytkowych do obowiązujących przepisów technicznych dla mostów, położonych w ciagu dróg wojewódzkich. Podstawowym elementem modernizacji była całkowita wymiana istniejącej, żelbetowej płyty pomostu wraz z wyposażeniem oraz wzmocnienie stalowych belek pomostu i dźwigarów głównych do klasy B wg PN-85/S-10030. W projekcie koncepcyjnym modernizacji mostu założono trzy warianty nowej płyty pomostu:

- płytę żelbetową, wykonywaną monolitycznie na deskowaniu opartym na belkach pomostu;
- stalową płytę ortotropową, wykonywaną z prefabrykowanych paneli o szerokości ½ szerokości jezdni, mocowanych do belek pomostu za pomocą spawania;

- płytę kompozytową typu SPS (*sandwich plate system*), wykonywaną z prefabrykowanych paneli o szerokości ½ szerokości jezdni, mocowanych do belek pomostu za pomocą śrub sprężajacych.



Rys. 2. Przekrój poprzeczny mostu przez modernizacją



Rys. 3. Panel SPS jako pomost obiektu mostowego

Dwa pierwsze warianty to rozwiązania standardowe, wielokrotnie stosowane w podobnych przypadkach modernizacji istniejacych mostów stalowych. Wariant trzeci zakłada wykorzystanie do modernizacji innowacyjnych paneli SPS, zbudowanych z dwóch blach stalowych o grubości 6 mm oraz rdzenia elastomerowego o grubości uzależnionej od wymaganej nośności panelu (rys.3). Badania i zastosowanie paneli SPS do modernizacji mostów opisano szczegółowo m.in. w pracach [4] i [5].

W tabeli 1 przedstawiono podstawowe parametry wariantów nowego pomostu. Każdy z nich spełnia jednakowo wymagania dotyczące nośności, nato-

miast w różny sposób wymagania dotyczące trwałości. Związane jest to głównie z różną trwałością materiałów, z których wykonano panel/płytę pomostu. Poza trwałością poszczególne warianty różnią się między sobą także ciężarem jednostkowym oraz związanym z nim zakresem wzmocnienia dźwigarów głównych i belek pomostu. Ponadto założono standardowe dla każdego rodzaju płyty pomostu wyposażenie oraz zabezpieczenie antykorozyjne.

Tabela 1. Podstawowe parametry analizowanych wariantów

Parametr płyty pomostu	Wariant		
	1	2	3
Typ	Płyta żelbetowa, monolityczna	Płyta stalowa, ortotropowa	Płyta kompozytowa, typu SPS
Materiał	Beton zwykły C35/45	Stal konstrukcyjna S355M	Stal konstrukcyjna S355M, elastomer
Masa jednostkowa (z wyposażeniem) [kg/m^2]	1010	406	281
Grubośc płyty [mm]	270	500	320
Wyposażenie	Izolacja typu SBS, nawierzchnia z 2 warstw betonu asfaltowego, 90 mm	Izolacja typu SBS, nawierzchnia z 2 warstw asfaltu lanego, 70 mm	Izolacja natryskowa, nawierzchnia typu PCC, 40 mm
Zabezpieczenie antykorozyjne	Standardowa powłoka PCC	Metalizacja + doszczelnienie	Metalizacja + doszczelnienie
Trwałość [lat] wg [6]	30	60	60

Oprócz całkowitej wymiany płyty pomostu wraz z wyposażeniem, modernizacja mostu obejmowała także wzmocnienie bezpośrednie i odnowę zabezpieczenia antykorozyjnego konstrukcji stalowej oraz remont podpór.

4. ZAŁOŻENIA DO ANALIZY *LCCA*

Porównawczą analizę kosztów w cyklu życia mostu przeprowadzono dla trzech wariantów nowej płyty pomostu oraz związanych z nimi wyposażeniem, a także zakresem wzmocnienia elementów stalowych. Ponieważ pozostałe elementy modernizacji (np. rozbiórki, zabezpieczenie antykorozyjne, remont podpór, itp.) są jednakowe i niezależne od rodzaju nowego pomostu, nie uwzględniano ich w porówanawczej analizie *LCCA*. Założono podniesienie nośności oraz uzyskanie 60-letniej trwałości mostu (cykl życia) po modernizacji. W analizie przyjeto

standardowe okresy trwałości wg [6]: dla płyty żelbetowej 30 lat, dla płyt stalowych 60 lat, dla wyposażenia pomostu (izolacja, nawierzchnia, itp.) 15 lat oraz dla zabezpieczenia antykorozyjnego stali 15 lat. Założono także 30-letnią trwałość nawierzchi PCC na pomoście kompozytowym [4].

Tabela 2. Scenariusze cyklu życia dla analizowanych wariantów

Czas cyklu życia [rok]	Wariant		
	Płyta żelbetowa, monolityczna	Płyta stalowa, ortotropowa	Płyta kompozytowa, panele typu SPS
T	• Rozbiórka starej płyty • Wzmocnienie belek pomostu • Wzmocnienie dźwigarów głównych • Odnowa zabezpieczenia antykorozyjnego • Wykonanie nowej płyty żelbetowej • Wykonanie wyposażenia pomostu	• Rozbiórka starej płyty • Wzmocnienie belek pomostu • Odnowa zabezpieczenia antykorozyjnego • Wykonanie nowej płyty stalowej • Wykonanie wyposażenia pomostu	• Rozbiórka starej płyty • Wzmocnienie belek pomostu • Odnowa zabezpieczenia antykorozyjnego • Wykonanie nowej płyty kompozytowej • Wykonanie wyposażenia pomostu
T+15	• Wymiana izolacji i nawierzchni • Remont płyty żelbetowej • Odnowa zabezpieczenia antykorozyjnego	• Wymiana izolacji i nawierzchni • Odnowa zabezpieczenia antykorozyjnego	• Odnowa zabezpieczenia antykorozyjnego
T+30	• Rozbiórka płyty • Wykonanie nowej płyty żelbetowej • Wykonanie wyposażenia pomostu • Odnowa zabezpieczenia antykorozyjnego	• Naprawa płyty stalowej • Wymiana izolacji i nawierzchni • Odnowa zabezpieczenia antykorozyjnego	• Naprawa płyty stalowej • Wymiana izolacji i nawierzchni • Odnowa zabezpieczenia antykorozyjnego
T+45	• Wymiana izolacji i nawierzchni • Remont płyty żelbetowej • Odnowa zabezpieczenia antykorozyjnego	• Wymiana izolacji i nawierzchni • Odnowa zabezpieczenia antykorozyjnego	• Odnowa zabezpieczenia antykorozyjnego
T+60	• Rozbiórka mostu • Utylizacja materiałów z rozbiórki	• Rozbiórka mostu • Utylizacja materiałów z rozbiórki • Recykling złomu	• Rozbiórka mostu • Utylizacja materiałów z rozbiórki • Recykling paneli SPS

Pierwszym etapem analizy było sporządzenie scenariuszy utrzymaniowych dla poszczególnych wariantów. Obejmują one wszystkie działania związane z modernizacją, eksploatacją, utrzymaniem i utylizacją obiektu mostowego. Działania te, zachodzące w zakladanym cyklu życia konstrukcji (60 lat), będą generować zarówno koszty administracji drogowej, koszty użytkowników, jak i koszty społeczne. W tabeli 2 zamieszczono zestawienie podstawowych prac utrzymaniowych, przewidzianych dla poszczególnych wariantów modernizacji w czasie zakładanego cyklu życia mostu. Dodatkowo w ramach bieżącego utrzymania założono wykonywanie corocznych prac porządkowych, 5-letnich przeglądów i tzw. remontów cząstkowych pomostu co 7 lat.

Niezbędnym czynnikiem do oszacowania wartości cyklu życia dla poszczególnych wariantów jest przyjęcie ograniczeń ruchu na moście podczas prac utrzymaniowych. Ograniczenia w ruchu drogowym generują bardzo duże koszty użytkowników oraz koszty społeczne. W przypadku analizowanego mostu przyjęto dla wszystkich wariantów taką samą organizację ruchu na moście tj., ruch wahadłowy sterowany sygnalizacją świetlną. Wymaga to prowadzenia robót połową jezdni. Ograniczenia i tymczasowa organizacja ruchu będą obowiązywały w latach T, T+15, T+30 oraz T+45, podczas robót utrzymaniowych planowanych w scenariuszu. Czas trwania ograniczen w tuchu na moście przyjeto wg realnego harmonogramu wykonawcy robót (tabela 3).

Tabela 3. Czas trwania ograniczeń w ruchu na moście

Czas cyklu życia [rok]	Wariant		
	Pomost żelbetowy	Pomost stalowy	Pomost kompozytowy
T	Pomost: 265 dni Ustrój nośny: 80 dni Razem: 345 dni	Pomost: 215 dni Ustrój nośny: 40 dni Razem: 255 dni	Pomost: 235 dni Ustrój nośny: 40 dni Razem: 275 dni
T+15	Pomost: 60 dni	Pomost: 60 dni	Pomost: 20 dni
T+30	Pomost: 265 dni	Pomost: 90 dni	Pomost: 90 dni
T+45	Pomost: 60 dni	Pomost: 60 dni	Pomost: 20 dni

Koszty poszczególnych robót przyjęto na podstawie kosztorysu wykonawcy w przypadku wariantu żelbetowego oraz biuletynu cen robót drogowych i mostowych z III kwartału 2009 r., a także danych producentów paneli SPS i nawierzchni PCC dla koncepcji kompozytowej. Koszty użytkowników tj. koszt pracy kierowców, koszt czasu pasażerów oraz koszty związane z opóźnieniami w transporcie oraz koszty środowiskowe obliczono na podstawie instrukcji [7]. Pominieto koszty eksploatacji pojazdów oraz koszty wypadków drogowych, ponieważ przyjęta organizacja ruchu nie skutkuje wydłużeniem odcinka drogi czy zwiększeniem prawdopodobieństwa wystąpienia zdarzeń drogowych. Do

obliczenia kosztów bieżących ponoszonych w przyszłości przyjęto stopę dyskontową na poziomie 5,5%, zgodnie z ogólnymi wytycznymi sporządzania studiów wykonalności oraz średnioroczną inflację na poziomie 2%.

5. WYNIKI ANALIZY *LCCA*

Całkowite koszty cyklu życia dla każdego z wariantów obliczono wykorzystując program komputerowy *Bridge LCC 2.0* [3]. Zestawienie kosztów *LCC* w 60-letnim cyklu życia z podziałem na poszczególnych płatników i okres cyklu zycia przedstawiono w tabeli 4.

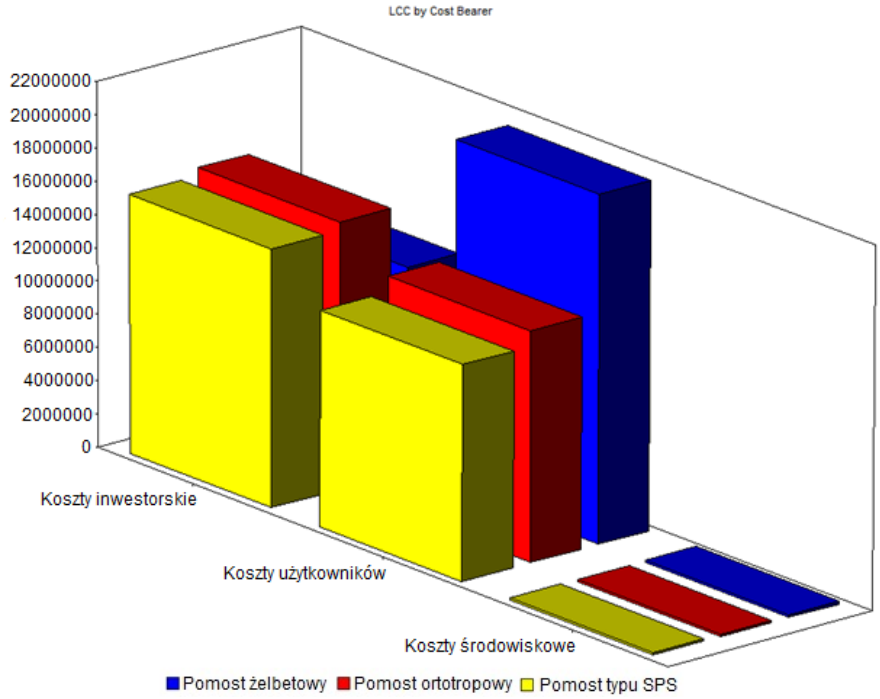
Tabela 4. Zestawienie wyników analizy *LCCA* dla analizowanych wariantów

Nazwa kategorii kosztów	Wariant		
	Pomost żelbetowy	Pomost ortotropowy	Pomost kompozytowy
Koszty całkowite cyklu życia (LCC)	33 584 453 zł	30 229 411 zł	28 798 957 zł
Inwestor (KI)	12 308 048 zł	16 129 035 zł	15 632 292 zł
Użytkownik (KU)	21 106 462 zł	13 987 085 zł	13 060 208 zł
Środowisko (KS)	169 943 zł	113 291 zł	106 457 zł
Przygotowanie i budowa (PB)	21 690 062 zł	21 296 829 zł	22 582 644 zł
Eksploatacja i utrzymanie (EU)	11 857 500 zł	8 901 846 zł	6 212 002 zł
Zagospodarowanie końcowe (ZK)	36 891 zł	30 736 zł	4 310 zł

Analiza *LCCA* dla rozpatrywanych wariantów wykazała, że najdroższym rozwiązaniem w zakładanym cyklu życia jest monolityczna płyta żelbetowa. Wariant ten okazał się droższy o 11% i 17% w porównaniu odpowiednio do pomostu stalowego i kompozytowego. Najtańszym rozwiązaniem w cyklu życia okazał sie natomiast innowacyjny pomost kompozytowy SPS. Jest on tańszy od pomostu stalowego jedynie o 4,7%, co zgodnie z zasadami *LCCA* oznacza, że oba warianty należy traktować jako równoważne [2].

Jak można było przewidzieć, płyta żelbetowa jest rozwiązaniem zdecydowanie najtańszym dla inwestora – wariant ten jest tańszy o 30 % od pomostu stalowego i 27 % od pomostu kompozytowego. Wynika to z faktu niskich cen robót i materiałów, potrzebnych do budowy i utrzymania pomostów żelbetowych. Różnica poczatkowa (dla inwestora) nie została zniwelowana także w cyklu życia, pomimo faktu znacznie szerszego zakresu niezbędnych prac utrzymaniowych w okresie eksplatacji mostu. W roku T+30 płyta żelbetowa osiąga planowaną trwałość i konieczna jest jej całkowita wymiana, natomiast w przy-

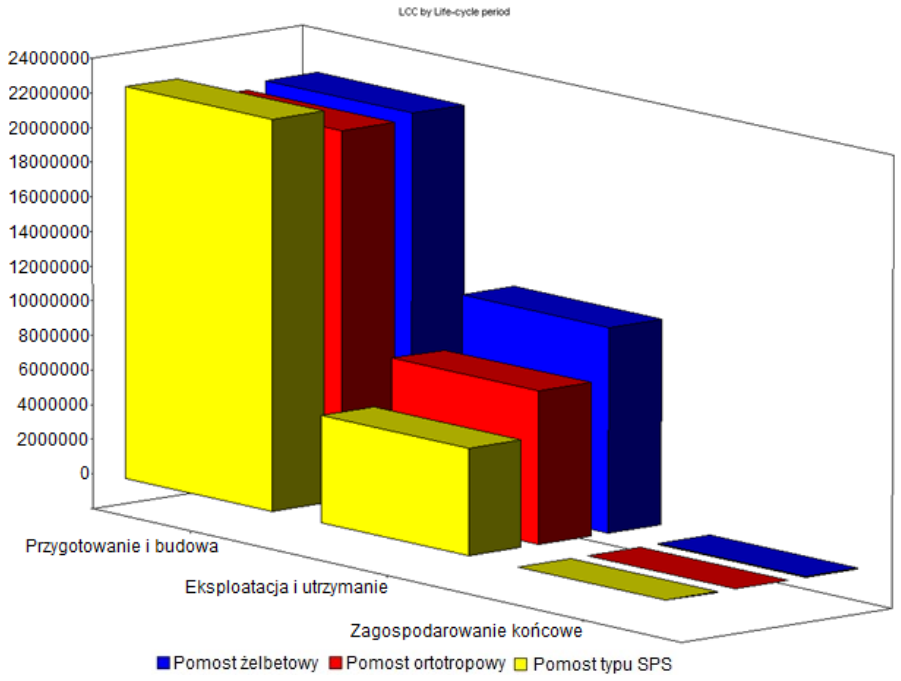
padku dwóch pozostałych wariantów wymagana jest jedynie naprawa istniejącego pomostu. Należy zwrócić także uwagę na dość wysokie koszty inwestora dla wariantu stalowego w stosunku do wariantu kompozytowego.



Rys. 4. Podział kosztów cyklu życia ze względu na płatnika

Na rys.4 pokazano podział kosztów cyklu życia ze względu na płatnika. Jak juz wspomniano, biorąc pod uwagę tylko koszty inwestorskie zdecydowaną przewagę ma wariant żelbetowy, natomiast uwzgledniając w analizie koszty użytkowników wynik przedstawia się całkowicie odmiennie. Okazuje się, że koszty użytkowników generowane przez ograniczenia w ruchu drogowym podczas robót utrzymaniowych są dla wariantu z płytą żelbetową o 60 % większe niż dla pozostałych wariantów. Stanowią one największą składową spośród wszystkich składowych kosztów cyklu życia tego wariantu. Z kolei porównując wariant stalowy z wariantem kompozytowym okazuje się, że pomimo różnicy w czasie trwania robót budowlanych na korzyść wariantu SPS (szybkość montażu paneli, mniejszy zakres robót utrzymaniowych), koszty użytkownika są mniejsze jedynie o 6,8 %. Natomiast koszty środowiskowe są dla wszystkich porównywanych wariantów niewielkie, a wynikają jedynie z emisji spalin w związku z obniżeniem prędkości podróży i czasem trwania ograniczeń ruchu.

Na rys.5 pokazano podział całkowitych kosztów cyklu życia w zależności od okresu, w którym te koszty zostały poniesione. Najdroższy w okresie przygotowania i budowy pomost kompozytowy okazuje się być jednocześnie najtańszym w okresie eksploatacji i utrzymania. Różnica kosztów początkowych na niekorzyść pomostu kompozytowego zostaje zniwelowana w trakcie użytkowania obiektu. Warto podkreślić, że w tym przedziale czasowym koszty utrzymania i eksploatacji mostu z pomostem kompoyztowzm są o 90 % niższe od kosztów dla wariantu żelbetowego. Robi to wieksze wrażenie, jeżeli przedstawi się tą różnicę w rzeczywiście poniesionych wydatkach – ponad 5 mln złotych. Koszty związane z zagospodarowaniem końcowym nie są duże w żadnym z wariantów, lecz pomost stalowy i kompozytowy, dzięki możliwości dalszego wykorzystania generuje mniejsze obciążenie dla inwestora.



Rys. 5. Podział kosztów ze względu na okresy cyklu życia

W analizach *LCCA* często pojawia się współczynnik charakteryzujący oceniane warianty w cyklu życia, a wyrażany jako stosunek kosztów całkowitych *LCC* do kosztów bezposrednich poniesionych w roku T (tj. w okresie przygotowania i budowy). Dla wariantu kompozytowego współczynnik ten wynosi 1,28, natomiast dla wariantów żelbetowego i stalowego odpowiednio 1,55 i

1,42. Jeżeli uwzględnimy jedynie koszty poniesione przez inwestora, pomijając koszty środowiskowe i użytkowników, to w/w współczynnik wynosi dla wariantu kompozytowego 1,84, a dla wariantów żelbetowego i stalowego 2,73 oraz 1,87. Okazuje się, że zarówno dla pomostu kompozytowego jak i stalowego całkowite koszty 60-letniego cyklu życia nie przekraczają dwukrotnej wartości bezpośrednich kosztów wbudowania. Są to zatem koszty wyjątkowo niskie. Z kolei wariant żelbetowy ze względu na rozbudowaną strategię utrzymaniową zdecydowanie odstaje pod względem opłacalności w cyklu życia od pozostałych rozwiązań.

6. PODSUMOWANIE

Przedstawiona w pracy analiza kosztów cyklu życia mostu jest jednym z możliwych narzędzi oceny stopnia wdrożenia zasad zrównoważonego rozwoju w mostownictwie. Użyte oprogramowanie jest ogólnie dostępne i stosunkowo proste w zastosowaniu, aczkolwiek mające kilka ograniczeń, mogących mieć wpływ na wyniki analizy. Jednym z takich ograniczeń jest deterministyczny charakter analizy, ograniczający skuteczność bazującego na jej wynikach procesu decyzyjnego. Na rynku istnieją jednak znacznie bardziej złożone programy posiadające zintegrowane bazy danych ekonomicznych w rozbudowaną analizę probabilistyczną. Konieczność wdrażania zasad zrównoważonego rozwoju spowoduje, że programy te staną się już wkrótce integralnym składnikiem nowoczesnego warsztatu biur projektów, także mostowych.

Wdrażanie zasad zrównoważonego rozwoju przez zastosowanie w procesie podejmowania decyzji analiz cyklu życia pozwala także na upowszechnienie zaawansowanych technologicznie materiałów, dla których barierą jest ich wysoki koszt bezpośredni. Tylko analiza kosztów w całym cyklu życia produktu, pozwalająca na uwzględnienie takich zalet zaawansowanych technologicznie materiałów jak trwałość, lekkość, łatwość kształtowania elementów, itp., może wykazać zasadność ich wykorzystania, także w budownictwie mostowym. Przedstawione w pracy wyniki analizy cyklu życia dla wariantu modernizacji mostu z pomostem kompozytowym SPS jednoznacznie wykazały, że jest to rozwiązanie najlepiej spełniające zasady zrównoważonego rozwoju. Koszty generowane przez budowę i eksploatację wariantu z pomostem kompozytowym były niższe w porównaniu z wariantami, opartymi na materiałach konwencjonalnych (żelbet, stal). Podobny wynik można uzyskać rozpatrując zastosowanie innych zaawansowanych technologicznie materiałów, jak stopy aluminium, kompozyty *FRP*, niekonwencjonalne betony (np. betony lekkie), czy konstrukcje hybrydowe (kompozyt – stal, kompozyt-beton) [1], [8].

LITERATURA

1. Siwowski T.: *Propozycja zastosowania zasad zrównoważonego rozwoju w modernizacji mostu*, Drogi i Mosty, **7**, 3 (2008) 55-91.
2. Ehlen M.A., Marshal H.E.: *The economics of new-technology materials: a case study of FRP bridge decking. Report No. NISTIR 5864*, Gaithersburg, USA, National Institute of Standards and Technology 1996.
3. Ehlen M.A.: *BridgeLCC 2.0 users manual. Life-cycle costing software for preliminary design of bridges*, Gaithersburg, USA, National Institute of Standards and Technology 2003.
4. Kennedy D.J.L., Dorton R. A., Alexander S.D.B.: *The Sandwich Plate System For Bridge Decks*, Pittsburgh, USA, Proceedings of the 19th Annual International Bridge Conference, IBC-02-10, 2002.
5. Kennedy S. J., Kennedy D. J. L., Dorton R. A., Wright D. G., Vincent, R. B.: *A true innovation: Steel plates with a structural elastomer core*, Kruger National Park, South Africa, Proceedings of the 5th International Conference on Composite Construction in Steel and Concrete V, 2004.
6. Rozporządzenie Ministra Transportu i Gospodarki Morskiej z dnia 30 maja 2000 r.*w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać drogowe obiekty inżynierskie i ich usytuowanie*, Dz.U. z 2000 r., nr 63, poz. 735.
7. Szrajber J., *Instrukcja oceny efektywności ekonomicznej przedsięwzięć drogowych i mostowych*, Warszawa, Instytut Badawczy Dróg i Mostów, 2006.
8. Siwowski T., *Pomosty drogowe*, Magazyn Autostrady, **4**, 10 (2006) 30-38 (część I), **4**, 11 (2006) 67-72 (część II).

THE APPLICATION OF *LCCA* FOR AN EVALUATION OF BRIDGE REHABILITATION CONCEPTS

Summary

The application of *LCCA* - life cycle costs analysis for a bridge rehabilitation case study is the subject of the paper. The comparative analysis of costs spent in the whole life of a bridge for three variants of its rehabilitation has been carried out. The bridge rehabilitation with the use of the RC deck, steel deck and sandwich plate deck (composite) has been considered in the study. The analysis clearly reveals, that life cycle costs is the least in the case of composite deck. Only the whole life cycle cost analysis could prove, that the application of advanced materials/products/technologies in bridge construction and rehabilitation leads up towards the sustainable development.