

# Środowiskowa ocena cyklu życia (LCA) jako kryterium wyboru w mostownictwie cz. II

Utworzono: wtorek, 27, marzec 2012 08:31 Tomasz Siwowski

---



Przedmiotem środowiskowej oceny cyklu życia były trzy warianty konstrukcyjne pomostu, zaprojektowane dla modernizowanego mostu przez Wisłę w Nagnajowie, położonego w ciągu drogi krajowej nr 9 (międzynarodowej E-371). Most został zbudowany w latach 1959-1961. Istniejący most i jego pomost pokazano na rys. 2. Modernizacja mostu w Nagnajowie była przedmiotem wcześniejszych studiów i analiz prowadzonych przez autora. W pracy [6] przeanalizowano kilka wariantów pomostów wykonanych z materiałów tradycyjnych (stal, beton zwykły, beton lekki). Aspekty techniczne i obliczeniowe modernizacji mostu z wykorzystaniem pomostu aluminiowego przedstawiono w pracy [7]. Analizę porównawczą różnych płyt pomostowych stosowanych do modernizacji kratownicowych mostów stalowych przedstawił autor w pracy [8], natomiast analizę porównawczą kosztów w cyklu życia (LCCA) dla wybranych wariantów pomostu mostu w Nagnajowie w pracy [1]. Końcowy projekt oraz realizację modernizacji pomostu według wariantu wybranego przez administratora mostu przedstawiono w pracy [9]. Wymienione prace w sposób obszerny przedstawiają stronę techniczną, obliczeniową i ekonomiczną zagadnienia. Przedstawiona poniżej środowiskowa ocena wariantów pomostu umożliwi holistyczne spojrzenie na dość powszechny współcześnie problem wymiany/modernizacji pomostu w tego typu obiektach mostowych.

# Środowiskowa ocena cyklu życia (LCA) jako kryterium wyboru w mostownictwie cz. II

Utworzono: wtorek, 27, marzec 2012 08:31 Tomasz Siwowski

---



## Przedmiot analizy LCA

Podstawowe założenia do modernizacji mostu były związane z koniecznością dostosowania jego parametrów użytkowych do obowiązujących wymagań technicznych. Założono zwiększenie nośności dźwigarów głównych i pomostu oraz uzyskanie 60-letniej trwałości mostu po modernizacji. W przypadku pomostu wymagana trwałość jest mniejsza i wynosi: dla elementów konstrukcyjnych pomostu – 30 lat, dla wyposażenia pomostu (izolacja, nawierzchnia itp.) – 15 lat oraz dla zabezpieczenia antykorozyjnego stali i betonu – 15 lat [10]. Aby spełnić te wymagania modernizacja mostu obejmowała m.in: wzmocnienie bezpośrednie stalowych dźwigarów głównych i belek rusztu pomostu, całkowitą wymianę płyty pomostu, odnowę zabezpieczenia antykorozyjnego i wyposażenia oraz remont i wzmocnienie podpór [9].

Podstawowym elementem modernizacji mostu była całkowita wymiana istniejącej płyty pomostu wraz z wyposażeniem oraz ewentualne wzmocnienie belek pomostu i dźwigarów głównych. Porównawczą analizę wpływów środowiskowych w ciągu cyklu życia mostu przeprowadzono dla trzech wariantów nowej płyty pomostu: żelbetowej, stalowej i aluminiowej. Ponieważ pozostałe elementy modernizacji mostu (np. rozbiórki, naprawy, zabezpieczenie antykorozyjne dźwigarów, remont podpór itp.) są niezależne od rodzaju nowego pomostu, nie uwzględniano ich w analizie. W pracy [1] przedstawiono podstawowe parametry techniczne rozpatrywanych wariantów nowego pomostu. Warianty nr 1 i 2 to konwencjonalne płyty pomostów: żelbetowa, zespolona z belkami pomostu oraz stalowa, ortotropowa. Wariant nr 3 zakładał wykorzystanie paneli ze stopu aluminium, opisanych m.in. w pracy [11]. Każdy z wariantów spełniał jednakowo wymagania dotyczące nośności, natomiast w różny sposób wymagania dotyczące trwałości. Związane jest to głównie z różną trwałością materiałów, z których wykonano pomost. Poza materiałem i trwałością poszczególne warianty różniły się między sobą także ciężarem jednostkowym oraz związanym z nim zakresem wzmocnienia

# Środowiskowa ocena cyklu życia (LCA) jako kryterium wyboru w mostownictwie cz. II

Utworzono: wtorek, 27, marzec 2012 08:31 Tomasz Siwowski

---

dźwigarów i belek pomostu.

## Procedura środowiskowej oceny cyklu życia pomostów

Celem analizy LCA była porównawcza ocena potencjalnego wpływu na środowisko, generowanego podczas cyklu życia wybranych rodzajów pomostów, wykonanych z różnych materiałów konstrukcyjnych. Jako poziom odniesienia posłużył najbardziej rozpowszechniony pomost żelbetowy. W ramach głównego celu określono również cele szczegółowe, tj. określenie wielkości potencjalnego wpływu dla całych cykli życia pomostów oraz wykazanie źródeł największego oddziaływania.

Metodyka przeprowadzonej analizy LCA obejmowała realizację czterech etapów według norm [2], [3], [4], [5], tj.: określenie celu i zakresu analizy, analizę zbioru wejść i wyjść, ocenę wpływu cyklu życia i interpretację wyników. Analizę przeprowadzono zgodnie z wytycznymi dla analiz porównawczych [12]. W analizie wykorzystano następujące narzędzia:

- analizę LCA przeprowadzono za pomocą programu ECO-it v.1.3;
- ocenę wpływu na środowisko (LCIA) wykonano za pomocą metody Eco-Indicator 99;
- dane środowiskowe zaczerpnięto z bazy programu ECO-it oraz, w przypadku pomostu aluminiowego, z baz danych m.in. [13], [14], stosując edytor ECO-edit.

Większość procesów realizowanych w poszczególnych etapach cyklu życia pomostów (produkcja, użytkowanie, końcowe zagospodarowanie) ma miejsce na terenie Polski. Wyjątek stanowi faza pozyskania surowców do produkcji pomostu aluminiowego, które są sprowadzane zza granicy. Ponieważ opisane badanie LCA miało charakter porównawczy, poszczególne warianty były oceniane w porównywalny sposób w odniesieniu do szerokości i głębokości analizy LCA oraz jakości danych. Wszystkie warianty analizy sięgają do tego samego poziomu dostawców, tj. poziomu surowców. Ponieważ podstawą badania było wykazanie zmian w wielkości oddziaływania na środowisko wynikających głównie ze zmian w zakresie produkcji (materiały i technologie wykonania), zakresy geograficzne i technologiczne dla poszczególnych wariantów były różne, natomiast zakresy czasowe jednakowe. Zakres geograficzny kształtuje się od lokalnego do globalnego. Wynika to z faktu, że wykonanie pomostu żelbetowego ma charakter całkowicie lokalny, pomostu stalowego – krajowy, a pomostu aluminiowego, ze względu na dostawę surowców oraz know-how, globalny. Różne jest także zaawansowanie technologiczne – pomosty żelbetowy i stalowy reprezentują technologię tradycyjną, pomost aluminiowy – technologię zaawansowaną. Z przestrzennego punktu widzenia pomiędzy wariantami nie ma większych różnic, gdyż miejsce produkcji (wbudowania) jest mniej więcej to samo (z pewnymi różnicami w zakresie transportu). Warianty mają jednak całkowicie odmienny proces wytwarzania, co prowadzi do powstania wyrobów o odmiennych parametrach eksploatacyjnych. Przyjęte w analizie zakresy czasowe są jednakowe dla wszystkich wariantów pomostów i obejmują dane z okresu 2000-2005 oraz 60-letni cykl życia produktu.

# Środowiskowa ocena cyklu życia (LCA) jako kryterium wyboru w mostownictwie cz. II

Utworzono: wtorek, 27, marzec 2012 08:31 Tomasz Siwowski

---

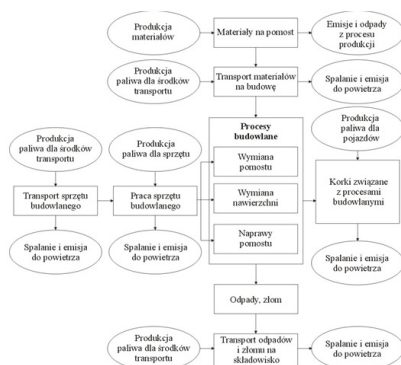
Analizą objęto niemal całe cykle życia pomostów, wyłączając etap pozyskania surowców. Na rys. 3 przedstawiono ogólny schemat modelu LCIA ujmujący analizowane etapy cyklu życia pomostu. Każdy z prostokątów prezentuje proces jednostkowy, mający swoje wejścia (surowce, materiały, energia) oraz wyjścia (emisje, odpady). Procesy jednostkowe znajdują się na podobnym, dość szczegółowym, poziomie analizy, chociaż w niektórych przypadkach można wyróżnić procesy bardziej zagregowane (np. utrzymanie i naprawy). W przypadku, gdy pomiędzy procesami zachodzi transport w analizie LCIA uwzględniono wpływ elementów wejściowych (zużycie paliwa) oraz wyjściowych (emisje spalin), związanych z transportem. Analizę rozpoczęto od produkcji podstawowych materiałów, uwzględniając kolejno produkcję półfabrykatów, wytworzenie i wbudowanie konstrukcji, okres użytkowania oraz końcowego zagospodarowania. Uwzględniono efekty wejść i wyjść związane z etapami dystrybucji (transportu) pomiędzy poszczególnymi fazami oraz stosowne przepływy energetyczne. W ocenie cyklu życia uwzględniono również zakłócenia w normalnym ruchu pojazdów, związane z tymczasową organizacją ruchu oraz naprawy i/lub modernizacje podczas reinwestycji w pomost.

W przypadku pomostów modelowanie cyklu życia jest nieco utrudnione z uwagi na jego długość (60 lat). Wpływ zdarzeń budowlanych w dalekiej przyszłości może być jedynie szacowany. Również parametry opisujące ruch drogowy i jego zakłócenia także są obciążone dużym stopniem niepewności. Dodatkową niepewność stanowi w modelu zastosowanie nowych materiałów (stopy aluminium), gdzie empiryczna wiedza na temat ich zachowania się w przyszłości nie jest jeszcze dostatecznie zweryfikowana [15]. Podstawowe procesy w poszczególnych etapach cyklu życia, uwzględnione w analizie każdego pomostu, przedstawiono w tablicy 1.

Ze względu na porównawczy charakter analizy LCA nie przeprowadzono szczegółowej analizy zbioru wejść i wyjść dla każdego z badanych wariantów pomostów. Informacje dotyczące wszystkich procesów i materiałów zostały pobrane z baz danych zawartych w programie ECO-it. Dane dotyczące strumieni odniesienia zaczerpnięto z materiałowych baz danych dostępnych w Internecie, od wykonawców robót mostowych, z dokumentacji technicznych oraz publikacji opisujących różne warianty modernizacji mostu [6], [7], [8], [9]. Dane energetyczne w fazie użytkowania otrzymano od wykonawcy robót mostowych, specjalizującego się w robotach utrzymaniowych. Odległości transportu przyjęto przy założeniu następujących miejsc pozyskania materiałów i realizacji procesów: stal zbrojeniowa - Ostrowiec Św., cement - Ożarów, kruszywo - Dolny Śląsk, ruda żelaza - Ukraina, węgiel - Śląsk, boksyty - Rosja, produkcja betonu - Tarnobrzeg, produkcja stali - Kraków, produkcja wlewków aluminium - Konin, walcowanie stali - Śląsk, produkcja kształtowników aluminiowych - Kęty, wytworzenie konstrukcji metalowej - Grybów, loco budowa - Nagnajów, utylizacja betonu z rozbiórki - Tarnobrzeg, złom stalowy - Śląsk, recykling aluminium - Konin, składowanie odpadów - Tarnobrzeg. Wielkości obciążeń środowiskowych związane z tymczasową organizacją ruchu (korki - zwiększone zużycie paliwa, zwiększona emisja do powietrza) obliczono na podstawie SDR drogi krajowej nr 9 oraz pomiarów własnych na objeździe tymczasowym modernizowanego mostu w Nagnajowie.

# Środowiskowa ocena cyklu życia (LCA) jako kryterium wyboru w mostownictwie cz. II

Utworzono: wtorek, 27, marzec 2012 08:31 Tomasz Siwowski



Faza cyklu życia	Analizowane procesy		
	Pomost żelbetonowy	Pomost stalowy	Pomost aluminiowy
Produkcja	<ul style="list-style-type: none"> <li>Produkcja ścianek betonowych</li> <li>Produkcja stali zbrojeniowej</li> <li>Transport składników do betonarni</li> <li>Wytwarzanie betonu w betonarni</li> <li>Praca sprzętu przy układaniu i pielęgnacji betonu (energia)</li> <li>Transport na budowę (mieszanka, stal)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Transport surowców do huty</li> <li>Produkcja stali konstrukcyjnej</li> <li>Walcowanie blach</li> <li>Transport blach do wytwórni</li> <li>Wytwarzanie konstrukcji pomostu</li> <li>Metalizacja konstrukcji pomostu</li> <li>Transport na budowę (elementy montażowe)</li> <li>Wbudowanie konstrukcji stalowej pomostu</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Transport surowców do huty</li> <li>Produkcja aluminium pierwotnego</li> <li>Wyciskanie profili</li> <li>Transport profili do wytwórni</li> <li>Wytwarzanie konstrukcji pomostu</li> <li>Transport na budowę (panele pomostu)</li> <li>Wbudowanie konstrukcji aluminiowej pomostu</li> </ul>
Użytkowanie	<ul style="list-style-type: none"> <li>Utrzymanie i naprawy (energia, transport)</li> <li>Wymiana pomostu (powtórzony cały cykl życia)</li> <li>Zabiegnięcia ruchu (spalanie dodatkowego paliwa)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Utrzymanie i naprawy (energia, transport)</li> <li>Ochrona zabezpieczenia antykorozyjnego stali</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Utrzymanie i naprawy (energia, transport)</li> </ul>
Zagospodarowanie końcowe	<ul style="list-style-type: none"> <li>Transport odpadów i elementów z rozbiórki</li> <li>Utylizacja i składowanie gruzu z betonu</li> <li>Składowanie żelaza stali zbrojeniowej</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Transport elementów z rozbiórki</li> <li>Przeobrobka żelaza stalowego (70%)</li> <li>Składowanie żelaza stali konstrukcyjnej (30%)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Transport elementów z rozbiórki</li> <li>Recykling żelaza aluminiowego (90%)</li> <li>Składowanie żelaza stali aluminiowej (10%)</li> </ul>

Jako bazową procedurę obliczeniową wybrano metodę ekowskaźnika 99 (ang. Eco-Indicator 99) opartą na metodologii punktów końcowych mechanizmu środowiskowego. Wyboru metody ekowskaźnika 99 jako podstawowego narzędzia obliczeń dokonano ze względu na fakt, że jest to metoda bardzo znana i popularna oraz kompleksowa – posiadająca szerokie spektrum zastosowań, bardzo dobrze opisana w piśmiennictwie, reprezentująca stosunkowo nowy, lecz przyszłościowy kierunek rozwoju metodologii LCA oraz umożliwiająca uzyskanie wyników na maksymalnym poziomie agregacji, tj. w postaci pojedynczej wartości ekowskaźnika [16], [17].

Obliczając ekowskaźniki dla poszczególnych procesów, uwzględniano wszystkie składowe. W odniesieniu do wytwarzanych materiałów brano pod uwagę cykl od wydobycia surowców do gotowego materiału. Wskaźniki odnosiły się do 1 kg materiału. W przypadku procesów produkcyjnych uwzględniano emisje z procesów wraz z emisjami powstałymi z wykorzystania energii. Wskaźniki odnosiły się do jednostki wyrobu uzyskanego w wyniku procesu, np. 1 m<sup>2</sup> lub 1 kg. W odniesieniu do procesów transportu uwzględniono wpływ emisji związanej z pozyskaniem i produkcją paliw oraz ze zużyciem paliwa w transporcie. Za jednostkę funkcjonalną przyjęto transport masy 1,03 kg na odległość 1 km (1 tkm). Analogiczne obliczenia wykonano w odniesieniu do wydobycia surowców energetycznych, przetwarzania i wydobycia energii. W procesach energetycznych wskaźniki odnosiły się do jednostek energii, np. kWh, kJ.

Program komputerowy ECO-it jest stosunkowo prostym narzędziem, wspomagającym proces ekoprojektowania z wykorzystaniem metody ekowskaźnika. Po wprowadzeniu danych otrzymuje się wynik obliczeń obciążeń środowiskowych, w postaci jednego zagregowanego ekowskaźnika (lub ekowskaźników dla poszczególnych kategorii szkód), który może być prezentowany na specjalnych wykresach dla każdej fazy cyklu życia analizowanego systemu. Baza danych może zostać uzupełniona za pomocą specjalnego programu ECO-edit. Wykorzystanie specjalistycznego programu komputerowego pozwala na zautomatyzowanie etapów klasyfikowania i charakteryzowania LCA. Przypisanie wyników analizy zbiorów do poszczególnych kategorii wpływu dokonuje się automatycznie, na podstawie wykazów substancji przynależnych danym metodom obliczeniowym i zawartych w bazach danych.

# Środowiskowa ocena cyklu życia (LCA) jako kryterium wyboru w mostownictwie cz. II

Utworzono: wtorek, 27, marzec 2012 08:31 Tomasz Siwowski

---

Tomasz Siwowski  
Politechnika Rzeszowska

## Literatura:

- [1] SIWOWSKI T., Propozycja zastosowania zasad zrównoważonego rozwoju w modernizacji mostu. *Drogi i Mosty*. 2008, Vol. 7, No.3, s.55-91.
- [2] PN-EN ISO 14040:2000. Zarządzanie środowiskowe. Ocena cyklu życia. Zasady i struktura.
- [3] PN-EN ISO 14041:2002. Zarządzanie środowiskowe. Ocena cyklu życia. Określenie celu i zakresu oraz analiza zbioru.
- [4] PN ISO 14042:2002. Zarządzanie środowiskowe. Ocena cyklu życia. Ocena wpływu cyklu życia.
- [5] PN ISO 14043:2002. Zarządzanie środowiskowe. Ocena cyklu życia. Interpretacja cyklu życia.
- [6] SIWOWSKI T., KUSEK T., Sposoby modernizacji kratowych przęseł mostów drogowych. Materiały Konferencji Naukowo - Technicznej pn. "Mosty w drodze do XXI wieku". Jurata, Politechnika Gdańska, 1997, s.731 - 741.
- [7] SIWOWSKI T., PIEKIEŁEK M., Studium modernizacji mostu przez Wisłę w Nagnajowie z wykorzystaniem pomostu aluminiowego. *Zeszyty Naukowe Politechniki Rzeszowskiej, Seria: Budownictwo i Inżynieria Środowiska*. 2004, zeszyt 36 (208), s.135-150.
- [8] SIWOWSKI T., Pomosty drogowe. *Magazyn Autostrady*. Część I, 2006, nr 10, wydanie specjalne - jesień 2006, pn.: Mosty - konstrukcja, wyposażenie, utrzymanie, s. 30-38. Część II, 2006, nr 11, s. 67-72.
- [9] SIWOWSKI T., STOKŁOSA R., Wzmocnienie stalowych przęseł kratownicowego mostu drogowego. Materiały Seminarium Wrocławskie Dni Mostowe pn.: „Mosty stalowe. Projektowanie, technologie budowy, badania, utrzymanie”. Wrocław, Politechnika Wroclawska, 2008, s. 441-452.
- [10] 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 dnia 3 sierpnia 2000 r. nr 63 poz. 735).
- [11] SIWOWSKI T., Wykorzystanie pomostów aluminiowych do modernizacji mostów. *Inżynieria i Budownictwo*. 2002, Vol.LIX, nr 3-4, s.154-159.
- [12] COOPER J.S., Specyfying functional units and reference flows for comparable alternatives. *The International Journal of Life Cycle Assessment*. 2003, Vol.8, No. 6, s.337-349.
- [13] Life cycle assessment of aluminium: Inventory data for the worldwide primary aluminium industry. International Aluminium Institute. London, 2003.
- [14] Sustainability of the European aluminium industry. European Aluminium Association. Brussels, 2006.
- [15] SIWOWSKI T., Drogowe mosty aluminiowe - wczoraj, dziś i jutro. *Drogi i Mosty*. 2005, Vol.4, No.1, s.39-74.
- [16] ADAMCZYK W., *Ekologia wyrobów*. Warszawa, Polskie Wydawnictwo Ekonomiczne, 2004.
- [17] DREYER L.C., NIEMANN A.L., HAUSCHILD M.Z., Comparison of three different LCIA methods: EDIP97, CML2001 and Eco-Indicator 99. Does it matter which one you choose? *International Journal of Life Cycle Assessment*. 2003, Vol.8, No.4,

# Środowiskowa ocena cyklu życia (LCA) jako kryterium wyboru w mostownictwie cz. II

Utworzono: wtorek, 27, marzec 2012 08:31 Tomasz Siwowski

---

s.191-200.