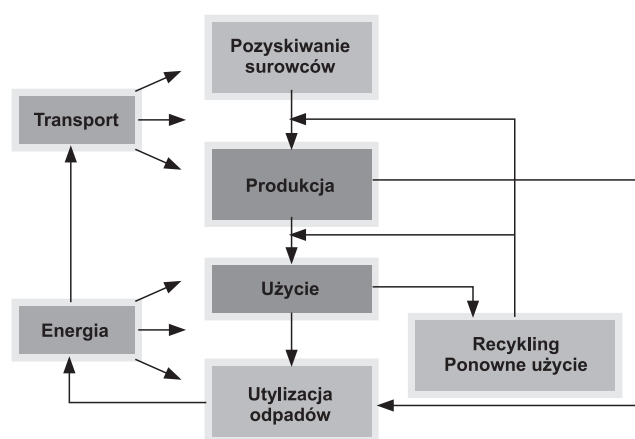


dr hab. inż. Tomasz Siwowski, prof. PRz\*

# Algorytm wyboru technologii naprawy mostu wg zasad zrównoważonego rozwoju

*The selection algorithm of bridge repair technology in accordance with sustainable development rules*

**W** celu wdrożenia zasad zrównoważonego rozwoju Komisja Europejska jest w trakcie opracowywania *Strategii tematycznej w sprawie zrównoważonego wykorzystywania i zarządzania zasobami* [1]. Ogólny cel strategii, to zredukowanie oddziaływania na środowisko będącego skutkiem wykorzystywania zasobów naturalnych przy jednoczesnej poprawie ogólnej wydajności zasobów w gospodarce UE. W celu rozwiązania problemów dotyczących ochrony środowiska i racjonalnej eksploatacji zasobów naturalnych proponuje się w strategii działania obejmujące rejestrację i kontrolę eksploatacji tych zasobów przez cały okres użytkowania. W budownictwie oznacza to ocenę każdego materiału, technologii, procesu w całym cyklu życia (*life cycle*) produktu/obiektu, a nie tylko podczas bezpośredniego jego stosowania. Cykl życia produktu/obiektu budowlanego obejmuje cztery kolejno następujące po sobie fazy (rysunek 1):



Rys. 1. Główne fazy cyklu życia produktu/obiektu budowlanego

- pozyskanie surowców: wydobywanie, przetwarzanie;
- produkcja: wytworzenie prefabrykatów, półproduktów, montaż;
- użytkowanie: eksploatacja, utrzymanie, naprawy;
- końcowe zagospodarowanie: rozbiórka, recykling, utylizacja odpadów.

W każdej fazie poszczególne, charakterystyczne dla niej procesy generują określone koszty i są źródłem różnego rodzaju emisji, a każdy rodzaj emisji w inny sposób oddziałuje

je na środowisko. Zagregowane oszacowanie kosztów ekonomicznych, oddziaływania na środowisko oraz wpływu na społeczeństwo w ciągu całego życia danego produktu/obiektu lub procesu jest przedmiotem trzech rodzajów analiz:

- środowiskowej oceny cyklu życia (*LCA*, ang. *Life Cycle Assessment*);
- ekonomicznej oceny cyklu życia (*LCCA*, ang. *Life Cycle Cost Analysis*);
- społecznej oceny cyklu życia (*LCSA*, ang. *Life Cycle Social Analysis*).

Łączne wyniki wszystkich trzech analiz służą obecnie do oceny stopnia wdrożenia zasad zrównoważonego rozwoju w budownictwie przez porównywane warianty materiałowe, konstrukcyjne lub technologiczne. Od pewnego czasu są podejmowane próby integracji tych analiz w jeden algorytm, którego wynik ogólnie charakteryzuje spełnienie przez oceniany materiał, produkt/obiekt i/lub technologię wymagań zrównoważonego rozwoju, przez uwzględnienie jednocześnie wskaźników ekonomicznych, środowiskowych i społecznych [2].

Obecnie nie istnieją jeszcze międzynarodowe standardy kodyfikujące jednoznacznie algorytm zintegrowanej analizy cyklu życia. Najbardziej zaawansowaną kodyfikację ma środowiskowa analiza cyklu życia, dla której jest już zestaw międzynarodowych norm ISO serii 14040 [3]. Znacznie mniej skodyfikowana jest analiza ekonomiczna, chociaż istnieje bardzo wiele indywidualnych metod i sposobów, stosowanych w zależności od przedmiotu analizy i kraju jej wykonania [4]. Natomiast w przypadku analizy społecznej cyklu życia dopiero od niedawna pojawiają się pierwsze próby ujęcia tych zagadnień w ocenie procesu, technologii lub produktu/obiektu budowlanego [5].

**Zintegrowana ocena cyklu życia staje się obecnie jednym z podstawowych algorytmów wspomagających podejmowanie decyzji w projektach infrastrukturalnych**, w tym również mostowych [2]. Jednym z głównych sposobów jej wykorzystania jest ustalenie najbardziej efektywnego ekonomicznie i najmniej obciążającego środowisko i społeczeństwo wariantu budowy nowego obiektu. Drugim z typowych zastosowań jest wybór najkorzystniejszej strategii utrzymaniowej (tj. technologii i terminów napraw, modernizacji itp.) dzięki możliwości oszacowania i porównania kosztów, generowanych przez różne działania podejmowane w przyszłości w cyklu życia obiektu. Bardzo ważna jest też

\* Politechnika Rzeszowska

analiza cyklu życia nowych (najczęściej innowacyjnych) materiałów, technologii i rozwiązań konstrukcyjnych w porównaniu z konwencjonalnymi, stosowanymi powszechnie. Zaawansowane technologicznie materiały, produkty i rozwiązania są zazwyczaj znacznie droższe przy bezpośrednim wdrożeniu i nie mogą konkurować z rozwiązaniami tradycyjnymi, gdy do oceny stosuje się jedynie wskaźnik najniższej ceny bezpośredniej (tzw. *first cost*). Jednak oszczędności w cyklu życia, które może przynieść ich zastosowanie, mogą wielokrotnie przewyższyć różnicę w kosztach bezpośredniego wdrożenia. Tylko analiza materiałów, technologii i rozwiązań w cyklu życia może to wykazać.

## Zastosowanie zintegrowanej analizy cyklu życia do wyboru technologii naprawy mostu

W celu przedstawienia możliwości wykorzystania algorytmu zintegrowanej analizy cyklu życia w procesie podejmowania decyzji dotyczącej naprawy mostu wybrano projekt, w którym oceniono zastosowanie różnych technologii naprawy i związanych z nią strategii utrzymaniowych w zakładanym cyklu życia obiektu. W związku z tym, że społeczna analiza cyklu życia jest na razie we wstępnej fazie prac badawczych (i nie są dostępne żadne wskaźniki, służące do jej sporządzania), aspekty społeczne zostały ujęte we wskaźnikach zastosowanych w dwóch pozostałych analizach: środowiskowej i ekonomicznej. Zintegrowaną analizę cyklu życia wykonano, stosując wzór

$$Score_j = \left[ \left( EnvW_i * \frac{EnvS_j}{\sum_j EnvS_j} \right) + \left( EconW_i * \frac{LCC_j}{\sum_j LCC_j} \right) + \left( SocW_i * \frac{SocS_j}{\sum_j SocS_j} \right) \right] * 100 \quad (1)$$

oraz różne wagi do aspektów środowiskowych i ekonomicznych.

**Oceniane warianty naprawy mostu.** Przedmiotem zintegrowanej oceny cyklu życia są trzy warianty naprawy pięćdziesięcioletniego mostu drogowego o konstrukcji kratownicowej. Podstawowe założenia do modernizacji mostu były związane z koniecznością dostosowania jego parametrów użytkowych do aktualnych przepisów technicznych. Założono, że w wyniku działań naprawczych zostanie przywrócona pełna przydatność eksploatacyjna oraz zwiększona nośność i trwałość mostu. Aby spełnić te wymagania, naprawa główna mostu obejmowała m.in. wzmocnienie bezpośrednio stalowych dźwigarów kratownicowych i belek pomostu, całkowitą wymianę płyty pomostu, odnowę wyposażenia i zabezpieczenia antykorozyjnego oraz remont podpór [7].

Podstawowym elementem naprawy mostu była całkowita wymiana istniejącej płyty pomostu wraz z wyposażeniem oraz wzmocnienie dźwigarów głównych i belek pomostu. Porównawczą analizę wpływów środowiskowych i kosztów w ciągu zakładanego cyklu życia mostu przeprowadzono dla trzech technologii naprawy, zakładających wymianę płyty pomostu na nową: żelbetową; stalową i aluminiową (tabela 1). Wariant trzeci zakłada wykorzystanie do naprawy pomostu paneli ze stopu aluminium [8]. Poza materiałem i trwałością poszczególne warianty różnią się ciężarem jednostkowym pomostu oraz związanym z nim zakresem naprawy i wzmocnienia stalowych dźwigarów głównych i be-

Tabela 1. Charakterystyka trzech wariantów naprawy przez wykonanie nowego pomostu

Charakterystyka pomostu	Wariant pomostu		
	1	2	3
Rodzaj	plyta żelbetowa, monolityczna	plyta stalowa, panele ortotropowe	plyta aluminiowa, panele z profili
Materiał	beton zwykły C40/45	stal konstrukcyjna S420	stop aluminium 6005A
Masa [kg/m <sup>2</sup> ]	525	151	83
Grubość [mm]	210	12	167
Wyposażenie	odwodnienie standardowe, izolacja typu SBS, nawierzchnia BA, 90 mm	odwodnienie indywidualne, izolacja natryskowa, nawierzchnia BA, 90 mm	odwodnienie indywidualne, nawierzchnioizolacja żywiczna o grubości 10 mm
Zabezpieczenie antykorozyjne	standardowa powłoka PCC	metalizacja, standardowy zestaw farb	niewymagane
Trwałość [lat]	30	60	60

lek pomostu. W związku ze zróżnicowanymi okresami trwałości elementów w poszczególnych wariantach naprawy, różne są także rodzaj i częstotliwość działań utrzymaniowych (strategii utrzymaniowej), planowanych do wykonania w ciągu cyklu życia mostu po naprawie. Te działania będą generować zarówno koszty administracji drogowej, jak również koszty i obciążenia środowiskowe oraz społeczne (użytkowników, społeczności lokalnej).

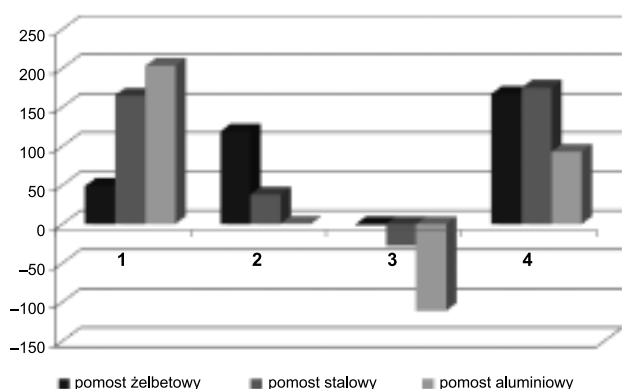
**Środowiskowa ocena wariantów naprawy.** Uproszczoną analizę LCA przeprowadzono zgodnie z normami [3] z wykorzystaniem programu *ECO-it v.1.3* oraz metody ekowskaźnika 99 [9]. Dane środowiskowe zaczerpnięto z bazy programu *ECO-it* oraz z publikowanych baz danych przemysłu aluminiowego. Analizą objęto niemal całe życie poszczególnych wariantów naprawy, wyłączając etap pozyskania surowców. Podstawowe fazy i etapy cyklu życia uwzględnione w analizie każdego wariantu przedstawiono w tabeli 2.

Analizę rozpoczęto od fazy produkcji podstawowych materiałów, uwzględniając kolejno produkcję półfabrykatów, wytworzenie i wbudowanie konstrukcji, okres użytkowania oraz końcowego zagospodarowania materiałów z rozbiórki. Uwzględniono efekty wejść i wyjść związane z etapami dystrybucji (transportu) pomiędzy poszczególnymi fazami oraz stosowne przepływy energetyczne. Wzięto również pod uwagę zakłócenia w normalnym ruchu pojazdów, związane z tymczasową organizacją ruchu oraz planowane naprawy i modernizacje mostu w cyklu życia. W przypadku mostów modelowanie cyklu życia jest utrudnione z uwagi na długość cyklu (w tym przypadku 60 lat). Parametry opisujące ruch drogowy i jego zakłócenia są także obarczone dużym stopniem niepewności. Dodatkową niepewność stanowi zastosowanie nowych materiałów (stopy aluminium), gdzie empiryczna wiedza na temat ich zachowania się w przyszłości nie jest jeszcze dostatecznie zweryfikowana [8].

Uzyskane wartości tzw. ekowskaźników (kPt) wszystkich trzech porównywanych wariantów naprawy mostu w poszczególnych okresach cyklu życia (produkcja, eksploatacja, rozbiórka) przedstawiono na rysunku 2. **Środowiskowa analiza LCA wykazała, że wariant z pomostem aluminiowym**

Tabela 2. Procesy uwzględnione w analizie środowiskowej cyklu życia dla wariantów naprawy mostu

Faza cyklu życia	Analizowane procesy dla wariantów naprawy		
	Pomost żelbetowy	Pomost stalowy	Pomost aluminiowy
Produkcja	<ul style="list-style-type: none"> <li>• produkcja składników betonu</li> <li>• produkcja stali zbrojeniowej</li> <li>• transport składników do betoniarni</li> <li>• wytwarzanie betonu w betoniarni</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>• zakłócenia ruchu (spalania dodatkowego paliwa)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• utrzymanie i naprawy (energia, transport)</li> <li>• odnowa 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 złomu stali zbrojeniowej</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• transport elementów z rozbiórki</li> <li>• przeróbka złomu stalowego (70%)</li> <li>• składowanie złomu stali konstrukcyjnej (30%)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• transport elementów z rozbiórki</li> <li>• recykling złomu aluminiowego (90%)</li> <li>• składowanie złomu aluminium (10%)</li> </ul>



Rys. 2. Wyniki analizy środowiskowej LCA dla wariantów naprawy mostu (1 – produkcja; 2 – eksploatacja; 3 – rozbiórka, 4 – cykl życia)

wym ma najmniej szkodliwy wpływ na środowisko w całym sześćdziesięcioletnim cyklu życia mostu (92 kPt), w porównaniu z pomostami tradycyjnymi: żelbetowym i stalowym (odpowiednio 167 i 176 kPt). Całkowity szkodliwy wpływ wariantu z pomostem aluminiowym w zakładanym cyklu życia mostu stanowi jedynie 52% wpływu wariantu z pomostem stalowym i 55% wpływu wariantu z pomostem żelbetowym. Główne „oszczędności” dla środowiska generuje zwycięski wariant w fazie zagospodarowania końcowego, dzięki blisko 90% recyklingowi stopu aluminium, odzyskowi pełnowartościowego materiału i ponownemu wprowadzeniu go do obrotu gospodarczego.

**Ekonomiczna ocena wariantów naprawy (LCCA).** Do tej oceny przyjęto koszty poszczególnych robót na podstawie kosztorysu inwestorskiego. Do kosztów użytkowników zaliczono: koszt czasu pracy kierowców; koszt czasu pasażerów oraz koszty związane z opóźnieniami w transporcie. Natomiast w kosztach społecznych uwzględniono koszty uciążliwości dla środowiska, związane ze zwiększoną emisją toksycznych składników spalin przenoszonych przez otoczenie drogi. Obliczenia kosztów użytkowników oraz kosztów środowiska przeprowadzono zgodnie z instrukcją IBDiM [10], przyjmując jako podstawę średnioroczne dobowe natężenie

ruchu na drodze krajowej nr 9. Do obliczenia kosztów bieżących ponoszonych w przyszłości przyjęto stopę dyskontową na poziomie 6%, zgodnie z ogólnymi wytycznymi sporządzenia studiów wykonalności projektów drogowych oraz średnioroczną inflację na poziomie 2%. Wszystkie koszty przeliczono i podano w euro (€), stosując kurs 1 € = 4 PLN. Wykonana analiza miała charakter deterministyczny.

Do ekonomicznej oceny cyklu życia naprawianego mostu zastosowano specjalistyczne oprogramowanie *BridgeLCC 2.0* [11]. Koszty cyklu życia każdego z wariantów są sumą wszystkich kosztów inwestora, użytkowników i środowiska, jakie są generowane w sześćdziesięcioletnim okresie użytkowania i eksploatacji mostu po wykonanej naprawie. Zestawienie tych kosztów w rozbiciu na poszczególne poziomy i kategorie podano w tabeli 3, natomiast podział kosztów na okresy cyklu życia na rysunku 3.

**Jak wykazała analiza LCCA najmniejsze koszty w cyklu życia (niecałe 6 mln €) ma wariant naprawy z wyko-**

Tabela 3. Wyniki analizy ekonomicznej LCCA dla wariantów naprawy mostu [€]

Kryterium podziału kosztów	Nazwa kategorii kosztów	Wariant naprawy mostu		
		pomost żelbetowy	pomost stalowy	pomost aluminiowy
Koszty całkowite w cyklu życia (LCC)		7 283 286	6 301 168	5 917 030
Płatnik	inwestor	3 664 501	3 672 168	3 948 490
	użytkownik	3 616 260	2 626 887	1 967 129
	środowisko	2 526	2 113	1 411
Okres cyklu życia	przygotowanie i budowa	4 785 434	3 799 900	4 468 107
	eksploatacja i utrzymanie	2 486 906	2 497 838	1 458 130
	zagospodarowanie końcowe	10 946	3 430	-9 207
Składnik kosztów	elementy obiektu (E)	7 238 774	6 256 655	5 760 017
	koszty pozaobiektywne	44 513	44 513	44 513
	wdrożenie nowej technologii	0	0	112 500



## ARBOCEL® CE

Hydroxypropyl Methyl Cellulose (HPMC)

- specjalistyczne zagęstniki na bazie HPMC
- uniwersalność zastosowań
- synergia z włóknami celulozowymi i innymi zagęstnikami
- wysoka efektywność
- optymalna retencja wody

www.jrs.de

RETENMAIER POLSKA  
SP. Z O.O.

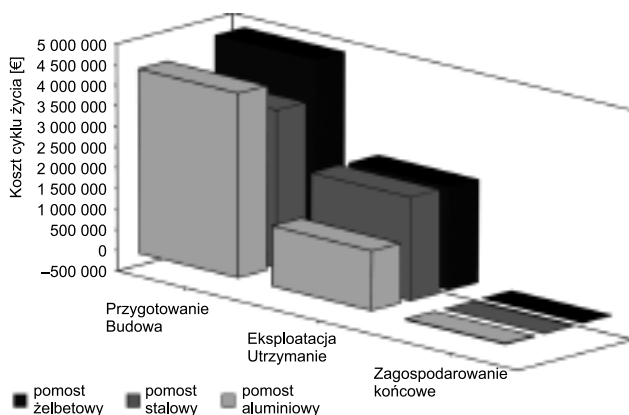


Włókna prosto z natury

A Member of the JRS Group

Al. Jerozolimskie 181 · 02-222 Warszawa

Tel. + 48 (22) 608 51 04 · Fax + 48 (22) 608 51 91



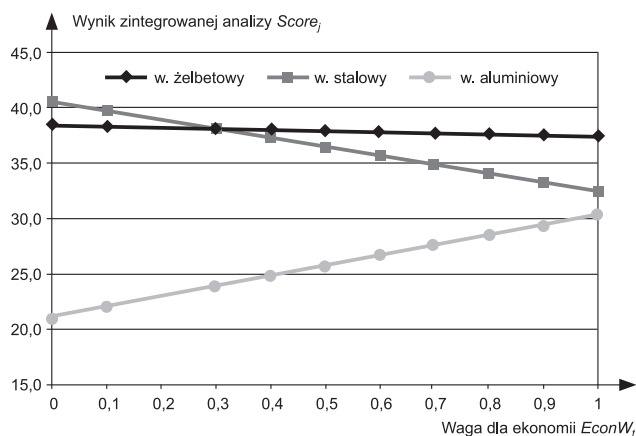
Rys. 3. Podział kosztów na okresy cyklu życia

rzystaniem pomostu aluminiowego. Drugi w rankingu wariant z pomostem stalowym jest jedynie o 6,5% droższy, a więc zgodnie z zasadami LCCA oba warianty można uważać za równoważne lub należy przeprowadzić dodatkową analizę wrażliwości i/lub analizę probabilistyczną. Na rysunku 3 pokazano podział całkowitych kosztów cyklu życia dla poszczególnych wariantów w zależności od okresu cyklu życia, w którym te koszty zostały poniesione. Okazuje się, że jeżeli uwzględni się koszty użytkowników i środowiska, to całkowity koszt wariantu z pomostem aluminiowym w okresie przygotowania i budowy nie jest wcale najwyższy, gdyż większy o 7% jest koszt wariantu żelbetowego – najtańszego, jeżeli chodzi o koszty inwestora w początkowym okresie. Natomiast zdecydowanie najniższe są koszty generowane przez wariant z pomostem aluminiowym w okresie

eksploatacji i utrzymania. Wyniki analizy LCCA mają charakter deterministyczny, gdyż bazują na z góry ustalonych ilościach i kosztach. Na wiele z tych wartości liczbowych mają wpływ zmiany licznych parametrów oraz określone niepewności i związany z nimi rozkład prawdopodobieństwa wystąpienia danej wartości. Uwzględnienie niepewności i ryzyka wystąpienia niektórych parametrów zapewnia analiza probabilistyczna, której wynikiem jest pełny zakres możliwych kosztów, a także rozkład prawdopodobieństwa dla wartości średniej.

**Zintegrowana ocena wariantów naprawy.** Do zintegrowanej oceny cyklu życia dla wariantów naprawy mostu zastosowano wzór (1). W analizowanym przypadku nie uwzględniono jeszcze trzeciego elementu, tj. społecznej analizy cyklu życia (LCSA) zakładając, że wyniki analiz środowiskowej i ekonomicznej uwzględniają podstawowe obciążenia środowiskowe i koszty zarówno użytkowników, jak i strony społecznej. Wyniki analizy środowiskowej  $EnvS_j$  przyjęto w punktach ekowskaźnika (kPt), natomiast wyniki analizy ekonomicznej  $LCC_j$  w euro (€). Ponieważ w obu analizach im mniejsza wartość wyniku (ekowskaźnika), tym lepszy jest oceniany wariant, tę samą zasadę stosuje się do wyniku końcowego oceny zintegrowanej  $Score_j$ . Wagi dla środowiska i ekonomii  $EnvW_i$  i  $EconW_i$  zmieniano w przedziale od 0 do 1, co pozwoliło na ustalenie zależności wyniku końcowego zintegrowanej analizy cyklu życia  $Score_j$  od paradytu przyjętego dla poszczególnych aspektów zrównoważonego rozwoju. Wyniki obliczeń pokazano na rysunku 4.

**Zintegrowana ocena cyklu życia trzech wariantów naprawy mostu wykazała, że wariantem najlepiej spełniającym zasady zrównoważonego rozwoju jest pomost**



Rys. 4. Wyniki zintegrowanej oceny cyklu życia dla wariantów naprawy mostu

aluminiowy. Co więcej, „zwycięstwo” tego wariantu jest niezależne od przyjętej wagi obu ocenianych aspektów zrównoważonego rozwoju: środowiska i ekonomii. Natomiast rozwiązaniem najgorzej spełniającym zasady zrównoważonego rozwoju jest pomost żelbetowy. Końcowy wynik analizy cyklu życia dla tego wariantu jest prawie stały, tj. niezależny od wag przyjętych dla środowiska i ekonomii. Należy jednak zaznaczyć, że wynik przedstawionej analizy w znacznym stopniu zależy od przyjętej strategii utrzymaniowej. Założono, że ze względu na mniejszą trwałość pomostu żelbetowego konieczna będzie powtórna jego wymiana w analizowanym sześćdziesięcioletnim cyklu życia mostu. Przyjęcie innego scenariusza przewidzianych działań może istotnie zmienić ocenę poszczególnych wariantów naprawy.

## Podsumowanie

Przedstawiony algorytm zintegrowanej analizy cyklu życia mostu, bazujący na normach europejskich dotyczących LCA [3] oraz normie amerykańskiej dotyczącej LCCA [6], jest jednym z możliwych sposobów oceny stopnia wdrożenia zasad zrównoważonego rozwoju w naprawach i utrzymaniu obiektów mostowych. W związku z obowiązkiem wdrażania w budownictwie zasad zrównoważonego rozwoju dużo większą wagę przykładac się będzie do projektowania całego cyklu życia obiektu budowlanego. Coraz powszechniej dostępne programy komputerowe do analizy cyklu życia oraz wskaźniki środowiskowe, ekonomiczne i społeczne związane z cyklem życia produktów, materiałów i technologii zmieniają współczesne projektowanie, a konieczność wdrażania zasad zrównoważonego rozwoju spowoduje, że programy te staną się już wkrótce integralnym składnikiem nowoczesnego warsztatu projektanta. Na rynku istnieją już programy posiadające zintegrowane bazy danych środowiskowych (np. *SimaPro*, *Umberto*, *BEES* itp.), które pozwalają przeprowadzać analizy cyklu życia z dużym prawdopodobieństwem otrzymanego wyniku. Kwestią czasu jest więc upowszechnienie się w Polsce analizy cyklu życia jako metody wspomagania projektowania i podejmowania decyzji. Przedstawiony algorytm postępowania może stanowić wskazówkę do upowszechniania zasad zrównoważonego rozwoju wśród projektantów obiektów mostowych.

## Streszczenie

Zrównoważony rozwój jest filozofią rozwoju społeczno-ekonomicznego zharmonizowanego z poszanowaniem środowiska. Ocena stosowania tej filozofii w budownictwie opiera się na wiedzy, jakiej dostarcza zintegrowana analiza cyklu życia produktu/obiektu, biorąca pod uwagę aspekty środowiskowe, ekonomiczne i społeczne. Rozwijane od ponad 20 lat narzędzia do wykonywania takiej analizy opierają się na bazach danych środowiskowych oraz zagregowanych wskaźnikach wpływu poszczególnych materiałów, produktów i technologii na środowisko i społeczeństwo. Łączne stosowanie analiz środowiskowych, ekonomicznych i społecznych stanowi współczesny algorytm postępowania przy wyborze optymalnego rozwiązania technicznego w budownictwie. Omówienie zasad sporządzania poszczególnych rodzajów analiz cyklu życia oraz przykładowe ich zastosowanie do oceny technologii naprawy mostu jest przedmiotem artykułu.

## Abstract

Sustainable development is a philosophy of social-economic development that aims to meet human needs while preserving the environment. The evaluation of sustainability implementation is based on the integrated life cycle analysis for product/building, taking into account environmental, economical and social aspects. Since twenty years have been developed a lot of tools for this analysis, which is based on the environmental data banks and aggregated indicators for particular materials, products and technologies, which measure their impact on environment and society. The joint application of environmental, economical and social analysis creates the contemporary algorithm for optimal technical solution selection in civil engineering. The overall description of above-mentioned analysis and their application for bridge repair case study is the subject of the paper.

## Literatura

- [1] Rezolucja Parlamentu Europejskiego z 25 kwietnia 2007 r. w sprawie strategii tematycznej w sprawie zrównoważonego wykorzystywania zasobów naturalnych (2006/2210 (INI)). Dziennik Urzędowy Unii Europejskiej, C 74 E/660, 20.3.2008.
- [2] Kendall A., Keoleian G., Helfand G.: *Journal of Infrastructure Systems*. Vol. 14, No. 3, 2008, pp. 214 – 222.
- [3] PN-EN ISO 14040:2006. Zarządzanie środowiskowe. Ocena cyklu życia.
- [4] Kirk S.J., Dell'Isola A.J.: *Life Cycle Costing for Design Professionals*. McGraw-Hill, Inc., New York, 1995.
- [5] Zinke T., Ummerhofer T., Pfaffinger M., Mensinger M.: *Bridge Maintenance, Safety, Management, Resilience and Sustainability*. Editors: Biondini & Frangopol. Taylor & Francis Group, London, 2012.
- [6] ASTM Standard E 917-2. 2002. Standard practice for measuring life cycle cost of buildings and building system.
- [7] Siwowski T.: *Inżynieria i Budownictwo*. Rok 65, Nr 1 – 2, 2009, s. 104 – 108.
- [8] Siwowski T.: *Pomosty aluminiowe obiektów mostowych*. Oficyna Wydawnicza Politechniki Rzeszowskiej, Rzeszów, 2009.
- [9] Goedkoop M., Effting S., Collingnon M.: *The Eco indicator 99. A damage oriented method for Life Cycle Impact Assessment. Manual for Designers*. Pre Consultants, Amersfoort, The Netherlands, 2000.
- [10] Szrajber J.: *Instrukcja oceny efektywności ekonomicznej przedsięwzięć drogowych i mostowych – weryfikacja metody badań zgodnie z zaleceniami UE oraz aktualizacja cen jednostkowych na poziomie 2005 r.* Instytut Badawczy Dróg i Mostów, Warszawa, 2006.
- [11] Ehlen M.A.: *BridgeLCC 2.0 users manual. Life-cycle costing software for preliminary design of bridges*. National Institute of Standards and Technology, Gaithersburg, USA, 2003.