

## **Beton, a cykl życia drogi**

### CONCRETE AND ROAD LIFE CYCLE

#### **Streszczenie**

Koniec XX wieku oraz początek XXI wieku są okresami gdzie bardzo mocno akcentowane są działania proekologiczne, gdzie bardzo ważna jest dbałość o środowisko naturalne oraz troska o to, co pozostawimy po sobie kolejnym pokoleniom. Wówczas też pojawia się pojęcie zrównoważonego rozwoju, którego ideę najlepiej wyraża zdanie raportu Światowej Komisji ds. Środowiska i Rozwoju (ang. the World Commission on Environment and Development) z 1987 r. – „Nasza Wspólna Przyszłość”: „Na obecnym poziomie cywilizacyjnym możliwy jest rozwój zrównoważony, to jest taki rozwój, w którym potrzeby obecnego pokolenia mogą być zaspokojone bez umniejszania szans przyszłych pokoleń na ich zaspokojenie” [1]. Idea ta ma przyświecać nowoczesnym państwom i firmom w tworzeniu polityki długoterminowej, której celem ma być wypracowywanie produktów o jak najmniejszym wpływie na środowisko bez utraty pozostałych cech użytkowych, estetycznych i jakościowych tych produktów.

W niniejszym artykule zaprezentowana została metoda oceny cyklu życia (ang. Life Cycle Assessment), która służy do oceny wpływu różnych procesów na środowisko, a której koncepcja wynika właśnie z podejścia związanego z ideą zrównoważonego rozwoju.

#### **Abstract**

The end of the twentieth century and the beginning of the twenty-first century are the periods where the pro-environmental accents are very strong, where is very important to care for the environment and concern for what we leave behind to the future generations. At that time, appear the notion of sustainable development, which idea the best expresses sentence in report of the World Commission on Environment and Development from 1987 – “Our Common Future”: “At the current level of civilization is possible sustainable development, it is such a development, in which the needs of the present generation are

met without compromising the ability of future generations to meet their own needs” [1]. This idea has guided modern states and businesses to create long-term policy, which aims to be developing products with minimal environmental impact with no loss of other functional characteristics, aesthetic and quality of these products.

Life cycle assessment method presented in this article, is a methodology which is used to assess the impact of different processes on the environment and the concept stems from the approach associated with sustainable development.

## 1. Wstęp

Każdy produkt ma swój cykl życia, w którym możemy wskazać poszczególne fazy jego istnienia, począwszy od fazy pozyskania surowców do jego wytworzenia, aż po ostatnią fazę, jaką jest jego utylizacja i zagospodarowanie wynikających z niej odpadów, dlatego też koncepcja cyklu życia jest bardzo często określana jako podejście „od kołyski aż po grób”.

- Analiza cyklu życia produktu przeprowadzana jest z dwóch głównych powodów:
- aby móc zidentyfikować kluczowe obszary procesu, w których będzie można wprowadzić działania korygujące;
  - aby móc porównać wpływ różnych rozwiązań na środowisko naturalne i móc wytyścić proces / produkt o najmniejszym oddziaływaniu na środowisko.

Obydwa te powody są sensem przeprowadzania analizy LCA dla różnych produktów, natomiast ten drugi z nich to jednocześnie treść niniejszego artykułu, czyli analiza cyklu życia betonu, który został zastosowany do budowy drogi oraz porównanie dwóch technologii budowy dróg – technologii betonowej i asfaltowej. Porównanie to będzie dotyczyło zarówno aspektu wpływów na środowisko (LCA), jak również części kosztowej całego procesu życia drogi, czyli porównania kosztów budowy, remontów i utrzymania drogi (LCCA).

## 2. Uregulowania dotyczące oceny cyklu życia

Ocena cyklu życia jest z powodzeniem stosowana już od lat 90. XX wieku [2], jako technika pozwalająca na śledzenie całego cyklu życia, począwszy od wydobycia surowców potrzebnych do wytworzenia konkretnego produktu, aż do ostatecznego unieszkodliwienia odpadów powstałych przy jego recyklingu na końcu życia produktu. W latach 90. XX wieku pojawiły się pierwsze uregulowania normowe dotyczące LCA, które zostały wprowadzone w formie norm ISO i były systematycznie tłumaczone na język polski przez Komitet Techniczny ISO/TC 207 „Zarządzanie Środowiskowe” (PKN).

W polskich uregulowaniach normowych zasady, wymagania i wytyczne dotyczące oceny cyklu życia opisane są w dwóch głównych normach związanych z zarządzaniem środowiskowym:

- PN-EN ISO 14040:2009 „Zarządzanie środowiskowe – Ocena Cyklu Życia – Zasady i struktura”.
- PN-EN ISO 14044:2009 „Zarządzanie środowiskowe – Ocena Cyklu Życia – Wymagania i wytyczne”.

W Polsce idea wdrażania metodyki wykorzystującej ocenę cyklu życia pojawiła się w obowiązujących dokumentach nawet wcześniej niż pojawiły się polskojęzyczne tłumaczenia norm ISO, tj. m.in. w [3]:

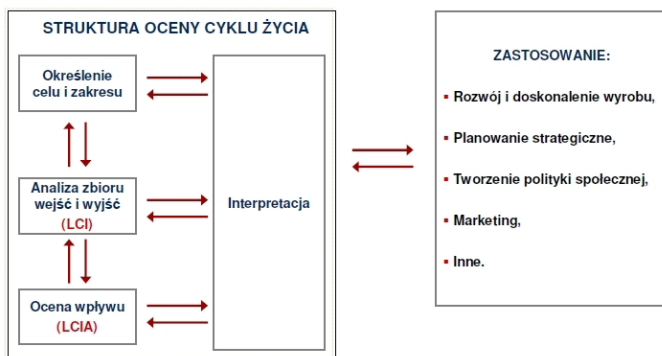
- ustawie Prawo ochrony środowiska z 2001 r. (Dz. U. Nr 62, poz. 627),
- II Polityce Ekologicznej Państwa, przyjętej przez Radę Ministrów w czerwcu 2000 r. i Sejm RP w sierpniu 2001 oraz w Polityce Ekologicznej Państwa na lata 2003–2006 z uwzględnieniem perspektywy na lata 2007–2010 z 2002 r., jak również w Polityce Ekologicznej Państwa na lata 2007–2010 z uwzględnieniem perspektywy na lata 2011–2014 opracowanej w Ministerstwie Środowiska w grudniu 2006 r.
- Strategii Rozwoju Kraju na Lata 2007–2015, przyjętej przez Radę Ministrów 29.11.2006 r.

W dokumentach tych propozycja zastosowania LCA obejmowała przede wszystkim ocenę nowych technologii, zielone zamówienia publiczne, gospodarkę odpadami i eko-znakowanie. W kolejnych latach, wraz z opracowaniem strategii wdrażania w Polsce zin-

tegowanej polityki produktowej, podkreślano jej szczególne znaczenie przy opracowaniu oceny cyklu życia dla grup produktów o wysokiej materiałochłonności i odpadowości [3].

### 3. Fazy oceny cyklu życia

W ujęciu normy PN-EN ISO 14040 LCA jest oceną oddziaływania na środowisko produktu przez cały okres życia, na którą składają się następujące fazy (rys. 1):



Rys. 1. Fazy oceny cyklu życia (LCA) [4]

- **Określenie celu i zakresu** – cel badania ma jednoznacznie ustalać zamierzone zastosowanie wyników badań, powody prowadzenia badań oraz ich odbiorcę. Determinuje on szczegółowość, wnikliwość oraz zakres badań i rodzaje danych potrzebnych do oceny cyklu życia [2].
- **Analiza wejść i wyjść (LCI – z ang. Life Cycle Inventory)** – analiza zbioru wejść i wyjść ma na celu stworzenie bilansu wszystkich elementów pobieranych ze środowiska, wchodzących do systemu oraz tych, które opuszczają system w postaci emisji do środowiska. Dane te obejmują swoim zakresem wykorzystanie surowców naturalnych oraz emisje do powietrza, wody i ziemi, w trakcie całego cyklu życia produktu [2].
- **Ocena wpływu (LCIA – z ang. Life Cycle Impact Assessment)** – na tym etapie dokonywana jest ocena wpływu cyklu życia, która ma za zadanie ocenę wielkości oraz znaczenia potencjalnego wpływu produktu na środowisko (m.in. skutki ekologiczne, wpływ na zdrowie człowieka, zubożenie zasobów naturalnych) [2].
- **Interpretacja** – jest fazą, w której rozpatrywane są wyniki analizy zbioru (LCI) oraz wyniki oceny wpływu (LCIA). Celem interpretacji cyklu życia jest analiza uzyskanych wyników, formułowanie wniosków, wyjaśnianie ograniczeń, a także dostarczenie zaleceń opartych na wynikach z poprzednich faz LCA [2].

### 4. Cykl życia drogi

W przypadku drogi i to niezależnie od technologii, w jakiej została wybudowana, czy jest to droga z nawierzchnią sztywną czy też podatną, cykl jej życia można podzielić na następujące etapy:

- Wydobycie i przetwarzanie surowców mineralnych,
- Transport,
- Produkcja,
- Budowa,
- Użytkowanie,
- Rozbiórka,
- Recykling (przeróbka, powtórne użycie, unieszkodliwianie odpadów)



Rys. 2. Etapy cyklu życia drogi

## 5. Założenia projektowe drogi

Na potrzeby przeprowadzenia analizy wpływów na środowisko (LCA) oraz analiz kosztowych (LCCA) został przygotowany przykładowy projekt drogi, a zadanie to zostało wykonane przez profesjonalne biuro projektów drogowych. Opracowanie swym zakresem obejmowało projekt budowy odcinka drogi w dwóch wariantach, z zastosowaniem na nawierzchnie jezdni mieszanek asfaltowo-betonowych (wariant I) oraz z zastosowaniem na nawierzchnie jezdni betonu cementowego (wariant II) [6].

W opracowaniu przyjęty został odcinek drogi o długości 1,0 km. Na potrzeby tego opracowania wykorzystano plan sytuacyjny ulicy Górskiej w Bielsku Białej, czyli drogi zlokalizowanej na terenie zabudowanym, stanowiącej wylot z miasta w kierunku gór. Ulica Górská w Bielsku-Białej jest drogą jednojezdniową, dwukierunkową z jednostronnym chodnikiem oddzielonym od jezdni pasem zieleni, w którym zlokalizowane jest oświetlenie. Podstawowe wymiary tej drogi to: szerokość jezdni – 6,0 m; szerokość pasa zieleni – 3,2 m; szerokość chodnika – 2,0 m.

W projekcie [6] zawarte są wariantowe rozwiązania konstrukcji drogi dla ruchu o kategorii od KR1 do KR6. Przy obliczaniu obciążenia ruchem przyjęte zostały osie obliczeniowe o nacisku 115 kN, a liczba osi obliczeniowych została przyjęta zgodnie z tablicą nr 1 zawartą w Katalogu Typowych Konstrukcji Nawierzchni Sztucznych.

W przygotowanym projekcie założono, iż na terenie inwestycji jest bardzo dobre podłoże gruntowe zbudowane z gruntów niewysadzinowych, zaliczonych do grupy nośności G1. Założona nośność podłoża, odpowiada następującym parametrom – wtórny moduł odkształcenia 120 MPa oraz wskaźnik zagęszczenia 1,03. W przypadku gdyby projekt wymagał wzmocnienia podłoża musiałyby ono zostać przeprowadzone niezależnie od

tego czy planowana byłaby budowa konstrukcji podatnej czy sztywnej tak, więc wzmocnienie podłoża nie było rozpatrywane w tym projekcie.

Konstrukcje projektowanej nawierzchni przyjęto w oparciu o Rozporządzenie Ministra Transportu i Gospodarki Morskiej w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać drogi publiczne i ich usytuowanie (DZ. U. Nr 43, poz. 430 z dnia 14.05.1999r.). Układ warstw drogi w poszczególnych typach nawierzchni zawarty w projekcie [6] przedstawia tabela 1:

Tabela 1. Warstwy nawierzchni w zależności od kategorii ruchu [6]

NAWIERZCHNIA PODATNA		NAWIERZCHNIA SZTYWNA	
<b>KR 1</b>			
4 cm	Warstwa ściernalna z AC11S	17 cm	Beton drogowy C35/45
4 cm	Warstwa wiążąca z AC16W	0,6 mm	Warstwa poślizgowa – 2x folia budowlana
20 cm	Podbudowa pomocnicza z kruszywa łamanego stabilizowana mechanicznie	14 cm	Podbudowa zasadnicza z gruntu stabilizowanego cementem
<b>Σ=28 cm</b>	<b>Podłoże gruntowe</b>	<b>Σ=31 cm</b>	<b>Podłoże gruntowe</b>
<b>KR 2</b>			
5 cm	Warstwa ściernalna z AC11S	19 cm	Beton drogowy C35/45
7 cm	Podbudowa zasadnicza z AC22P	0,6 mm	Warstwa poślizgowa – 2x folia budowlana
20 cm	Podbudowa pomocnicza z kruszywa łamanego stabilizowana mechanicznie	14 cm	Podbudowa zasadnicza z gruntu stabilizowanego cementem
<b>Σ=32 cm</b>	<b>Podłoże gruntowe</b>	<b>Σ=33cm</b>	<b>Podłoże gruntowe</b>
<b>KR 3</b>			
5 cm	Warstwa ściernalna z AC11S	22 cm	Beton drogowy C35/45
6 cm	Warstwa wiążąca z AC16W	0,6 mm	Warstwa poślizgowa – 2x folia budowlana
7 cm	Podbudowa zasadnicza z AC22P	16 cm	Podbudowa zasadnicza z gruntu stabilizowanego cementem
20 cm	Podbudowa pomocnicza z kruszywa łamanego stabilizowana mechanicznie		
<b>Σ=38 cm</b>	<b>Podłoże gruntowe</b>	<b>Σ=38cm</b>	<b>Podłoże gruntowe</b>

Tabela 1. cd. Warstwy nawierzchni w zależności od kategorii ruchu [6]

NAWIERZCHNIA PODATNA		NAWIERZCHNIA SZTYWNA	
<b>KR 4</b>			
5 cm	Warstwa ściernalna z AC11S	23 cm	Beton drogowy C35/45
8 cm	Warstwa wiążąca z AC16W	0,6 mm	Warstwa poślizgowa – 2x folia budowlana
10 cm	Podbudowa zasadnicza z AC22P	18 cm	Podbudowa zasadnicza z gruntu stabilizowanego cementem
20 cm	Podbudowa pomocnicza z kruszywa łamanego stabilizowana mechanicznie		
<b>Σ=43 cm</b>	<b>Podłoże gruntowe</b>	<b>Σ=41cm</b>	<b>Podłoże gruntowe</b>
<b>KR 5</b>			
5 cm	Warstwa ściernalna z AC11S	25 cm	Beton drogowy C35/45
8 cm	Warstwa wiążąca z AC16W	0,6 mm	Warstwa poślizgowa – 2x folia budowlana
14 cm	Podbudowa zasadnicza z AC22P	20 cm	Podbudowa zasadnicza z gruntu stabilizowanego cementem
20 cm	Podbudowa pomocnicza z kruszywa łamanego stabilizowana mechanicznie		
<b>Σ=47 cm</b>	<b>Podłoże gruntowe</b>	<b>Σ=45cm</b>	<b>Podłoże gruntowe</b>
<b>KR 6</b>			
5 cm	Warstwa ściernalna z SMA0/11	27 cm	Beton drogowy C35/45
8 cm	Warstwa wiążąca z AC16W	0,6 mm	Warstwa poślizgowa – 2x folia budowlana
18 cm	Podbudowa zasadnicza z AC22P	22 cm	Podbudowa zasadnicza z gruntu stabilizowanego cementem
20 cm	Podbudowa pomocnicza z kruszywa łamanego stabilizowana mechanicznie		
<b>Σ=51 cm</b>	<b>Podłoże gruntowe</b>	<b>Σ=49cm</b>	<b>Podłoże gruntowe</b>

Okres analizy wpływów na środowisko (LCA) oraz analiz kosztowych (LCCA) w cyklu życia drogi został przyjęty na okres 30 lat. Z tego powodu w projekcie oprócz samego etapu budowy drogi musiały być również uwzględnione wszystkie prace oraz koszty związane z etapami napraw i utrzymania drogi w okresie 30 lat jej eksploatacji. Etapy budowy, napraw i utrzymania drogi, jakie zostały przyjęte w projekcie, zawarte są w tabeli 2.

Tabela 2. Etapy budowy, napraw i utrzymania drogi

ETAP PRAC		NAWIERZCHNIA PODATNA	NAWIERZCHNIA SZTYWNA
Budowa	Prace przygotowawcze	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Oczyszczanie terenu</li> <li>- Usuwanie nadkładu</li> <li>- Wykopy</li> </ul>	
	Budowa konstrukcji drogi	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Podbudowa pomocnicza</li> <li>- Podbudowa zasadnicza</li> <li>- Warstwa wiążąca</li> <li>- Nawierzchnia asfaltowa</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Podbudowa / Stabilizacja</li> <li>- Warstwa poślizgowa</li> <li>- Nawierzchnia betonowa</li> </ul>
	Prace dodatkowe	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Oświetlenie i oznakowanie drogi</li> <li>- Budowa pobocza / chodnika</li> <li>- Sprzątanie placu budowy</li> </ul>	
Naprawy		<ul style="list-style-type: none"> <li>- Częściowa wymiana nawierzchni</li> <li>- Całkowita wymiana nawierzchni</li> <li>- Wyrównanie nawierzchni</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Częściowa wymiana nawierzchni</li> <li>- Całkowita wymiana nawierzchni</li> <li>- Wymiana uszczelnień</li> <li>- Szczotkowanie powierzchni</li> <li>- Uszczelnianie pęknięć</li> <li>- Modernizacja złączy</li> </ul>
Utrzymanie		<ul style="list-style-type: none"> <li>- Wymiana oświetlenia (żarówki / świetlówki)</li> <li>- Wymiana słupów oświetleniowych</li> <li>- Renowacja znaków poziomych</li> <li>- Wymiana znaków pionowych</li> <li>- Zimowe utrzymanie drogi</li> <li>- Koszty oświetlenia</li> </ul>	

## 6. Analiza oceny cyklu życia drogi (LCA)

Przygotowanie projektu budowy, napraw i utrzymania drogi w zależności od kategorii ruchu jak również w zależności od typu zastosowanej nawierzchni było pierwszym krokiem w przygotowaniu do oceny cyklu życia tego produktu. Projekt ten zawierał najważniejsze informacje dotyczące m.in.: obciążenia ruchem, charakterystyki drogi (długość, szerokość, etc.), konstrukcji drogi (przekrój przez warstwy drogi w zależności od typu obciążenia ruchem i typu nawierzchni), warunków eksploatacji tej drogi oraz warunków konserwacji i utrzymania drogi.

Dane zebrane z projektu, jak również dane dotyczące wszystkich materiałów używanych podczas budowy, napraw i utrzymania drogi zostały wprowadzone do specjalnie przygotowanego scenariusza oceny cyklu życia drogi w systemie GaBi Software firmy PE International. Oprogramowanie to wyposażone było w bazy danych Ecoinvent oraz bazę Lean zawierającą w sobie bazę ELCD (European Reference Life Cycle Database), która jest bazą przygotowaną przez Komisję Europejską.

Do przeprowadzenia analizy oceny cyklu życia zostały wytypowane 3 kategorie ruchu: KR3, KR4 i KR5, a okres cyklu życia przeprowadzonej analizy wynosił 30 lat.

Wyniki LCA prezentowane są najczęściej w kategoriach zużycia zasobów naturalnych (zasoby surowców, źródła energii, zasoby wody) oraz kategoriach wpływu na środowisko (globalne ocieplenie (GWP), zakwaszenie (AP), eutrofizacja (EP), foto-



chemiczne tworzenie ozonu (POCP), zużycie warstwy ozonowej (ODP), wpływ na środowisko człowieka i na jakość środowiska naturalnego. Uzyskane wyniki prezentują poniższe tabele:

### 6.1. Zużycie zasobów naturalnych:

- **Zużycie zasobów surowców** – zarówno ze źródeł odnawialnych (np. gazy atmosferyczne, dwutlenek węgla), jak i ze źródeł nieodnawialnych (np. surowce skalne, rudy żelaza, gips, etc.)

JEDNOSTKA	KR 3		KR 4		KR 5	
	ASFALT	BETON	ASFALT	BETON	ASFALT	BETON
Milion kg	21.90	<b>19.74</b>	23.69	<b>20.83</b>	25.24	<b>22.29</b>

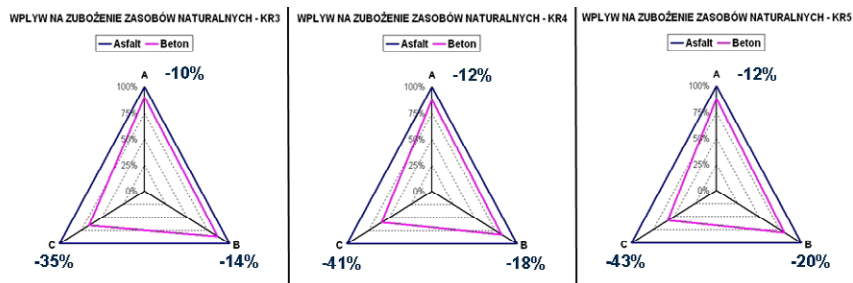
- **Zużycie źródeł energii** – zarówno ze źródeł odnawialnych (np. energia wodna, energia słoneczna, energia wiatrowa, etc.), jak również ze źródeł nieodnawialnych (np. ropa naftowa, gaz ziemny, węgiel, uran).

JEDNOSTKA	KR 3		KR 4		KR 5	
	ASFALT	BETON	ASFALT	BETON	ASFALT	BETON
Milion MJ	51.86	<b>33.61</b>	57.52	<b>34.17</b>	61.81	35.02

- **Zużycie zasobów wody**

JEDNOSTKA	KR 3		KR 4		KR 5	
	ASFALT	BETON	ASFALT	BETON	ASFALT	BETON
Milion kg	51.42	<b>44.32</b>	54.26	<b>44.75</b>	56.50	<b>45.45</b>

W celu lepszego zobrazowania porównania oddziaływania technologii budowy drogi z nawierzchnią podatną i sztywną na zużycie zasobów naturalnych, wyniki analizy LCA zostały przedstawione na rys. 3, gdzie przyjęte zostało, że układem odniesienia jest wpływ jaki wywiera droga asfaltowa (100%).



\* - Na podstawie obliczeń dla wariantu z nawierzchnią betonową na cementzie CEM III/A 42,5 LH / HSR / NA

Rys. 3. Wyniki LCA – Wpływ na zużycie zasobów naturalnych dla kategorii ruchu KR3-KR5

Można zaobserwować, że w każdej z kategorii wpływu na zużycie zasobów naturalnych droga betonowa wywiera mniejszy wpływ na środowisko.

## 6.2. Wpływ na środowisko:

- **Globalne ocieplenie** – Substancja referencyjna: ekwiwalent CO<sub>2</sub>

	KR 3		KR 4		KR 5	
JEDNOSTKA	ASFALT	BETON	ASFALT	BETON	ASFALT	BETON
kg CO <sub>2</sub> -Eq.	2,315,879	<b>2,214,462</b>	2,500,711	<b>2,265,449</b>	2,647,724	<b>2,342,299</b>

- **Zakwaszenie** – Substancja referencyjna: ekwiwalent SO<sub>2</sub>

	KR 3		KR 4		KR 5	
JEDNOSTKA	ASFALT	BETON	ASFALT	BETON	ASFALT	BETON
kg SO <sub>2</sub> -Eq.	20,982	<b>19,779</b>	22,731	<b>20,291</b>	24,133	<b>21,017</b>

- **Eutrofizacja** – Substancja referencyjna: ekwiwalent PO<sub>4</sub><sup>-3</sup>

	KR 3		KR 4		KR 5	
JEDNOSTKA	ASFALT	BETON	ASFALT	BETON	ASFALT	BETON
kg PO <sub>4</sub> <sup>-3</sup> -Eq.	3,278	<b>2,728</b>	3,616	<b>2,810</b>	3,883	<b>2,925</b>

- **Fotochemiczne tworzenie ozonu** – Substancja referencyjna: ekwiwalent C<sub>2</sub>H<sub>4</sub>

	KR 3		KR 4		KR 5	
JEDNOSTKA	ASFALT	BETON	ASFALT	BETON	ASFALT	BETON
kg C <sub>2</sub> H <sub>4</sub> -Eq.	1,995	<b>1,447</b>	2,159	<b>1,482</b>	2,287	<b>1,531</b>

- **Zużycie warstwy ozonowej** – Substancja referencyjna: ekwiwalent CFC-11

	KR 3		KR 4		KR 5	
JEDNOSTKA	ASFALT	BETON	ASFALT	BETON	ASFALT	BETON
kg CFC-11 Eq.	0.20	<b>0.02</b>	0.23	<b>0.02</b>	0.26	<b>0.02</b>

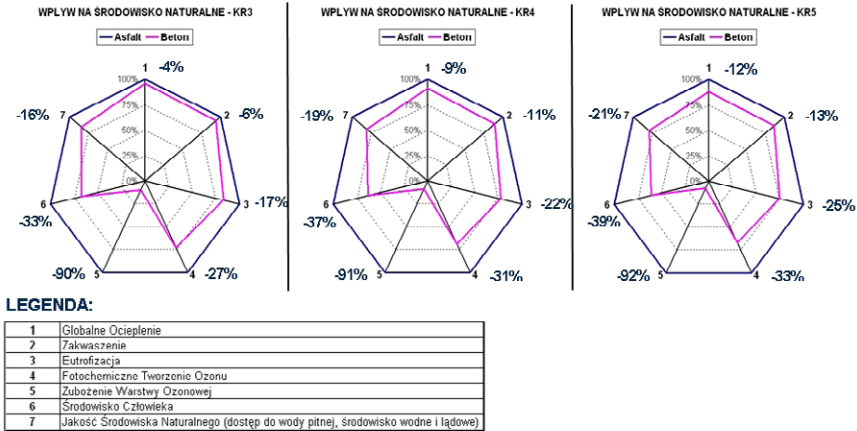
- **Wpływ na środowisko człowieka** – Substancja referencyjna: ekwiwalent (DCB, C<sub>6</sub>H<sub>4</sub>Cl<sub>2</sub>)

	KR 3		KR 4		KR 5	
JEDNOSTKA	ASFALT	BETON	ASFALT	BETON	ASFALT	BETON
kg DCB Eq.	533,359	<b>354,869</b>	569,773	<b>359,193</b>	597,435	<b>365,805</b>

- **Wpływ na jakość środowiska naturalnego** – Substancja referencyjna: ekwiwalent (DCB, C<sub>6</sub>H<sub>4</sub>Cl<sub>2</sub>)

	KR 3		KR 4		KR 5	
JEDNOSTKA	ASFALT	BETON	ASFALT	BETON	ASFALT	BETON
kg DCB Eq.	1,520,223,489	<b>1,270,191,270</b>	1,590,232,458	<b>1,280,192,620</b>	1,650,239,521	<b>1,300,194,792</b>

Również w tym przypadku lepszy obraz porównania dwóch technologii budowy drogi uzyskuje się, gdy uzyskane wyniki z analizy oceny cyklu życia zostaną przeniesione na wykres. Wyniki analizy LCA w zakresie wpływu na środowisko naturalne zostały przedstawione na rys. 4.



\* - Na podstawie obliczeń dla wariantu z nawierzchnią betonową na cemencie CEM III/A 42,5 LH / HSR / HA

Rys. 4. Wyniki LCA – Wpływ na środowisko dla kategorii ruchu KR3-KR5

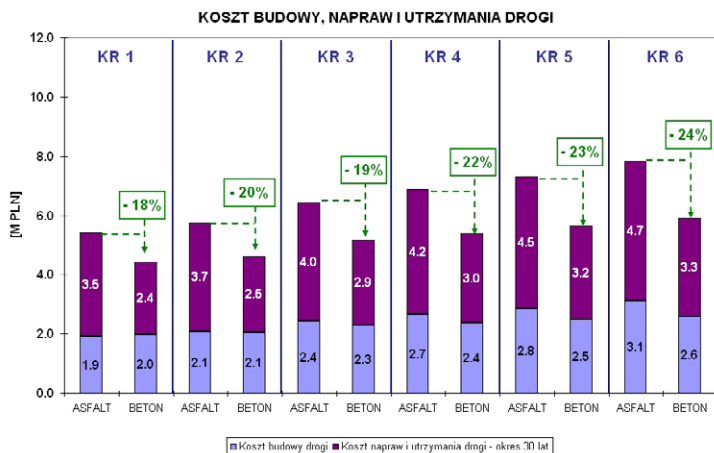
Wyniki analizy pokazują, że również w tym przypadku droga betonowa wypada korzystniej w stosunku do drogi asfaltowej, a dodatkowo można zaobserwować następującą zależność: im wyższa Kategoria Ruchu tym mniejszy wpływ na zubożenie surowców i środowisko naturalne drogi betonowej w porównaniu do drogi asfaltowej.

## 7. Analiza kosztów budowy, remontów i utrzymania drogi (LCCA)

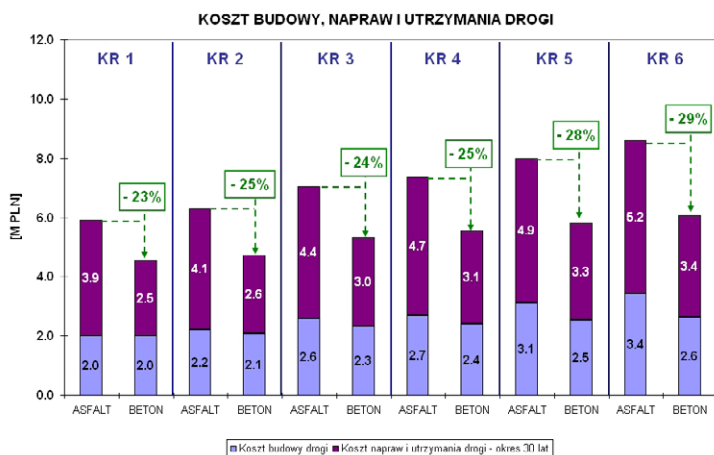
Z punktu widzenia zrównoważonego rozwoju projekt analizy oceny cyklu życia byłby niekompletny, gdyby nie wziąć pod uwagę również aspektu kosztowego. Dlatego też dla wszystkich Kategorii Ruchu (od KR1 do KR6) zostały obliczone również koszty budowy, utrzymania i napraw drogi w technologii betonowej oraz asfaltowej w okresie 30 lat eksploatacji. Do kalkulacji zostały przyjęte średnie ceny z bazy Sekocenbud za III kwartał 2010, a wyniki przeprowadzonej analizy przedstawia rys. 5.

Na podstawie uzyskanych wyników można zaobserwować, że im wyższa kategoria ruchu, tym wyższy koszt budowy, remontów i utrzymania drogi asfaltowej w porównaniu do wydatków ponoszonych na budowę, remonty i utrzymanie drogi betonowej. Różnica w całkowitych kosztach to wielkość od 14 do 24% na korzyść drogi betonowej.

Dodatkowo w roku 2012 została przeprowadzona aktualizacja części kosztowej niniejszego projektu, na podstawie średnich cen Sekocenbud za I kwartał 2012, a uzyskane wyniki przedstawia rys. 6.



Rys. 5. Łączny koszt budowy, utrzymania i remontów drogi dla kategorii ruchu KR1-KR6 w okresie 30 lat eksploatacji [6]



Rys. 6. Łączny koszt budowy, utrzymania i remontów drogi dla kategorii ruchu KR1-KR6 w okresie 30 lat eksploatacji [7] – Aktualizacja 2012

Na rys. 6 można zaobserwować trend dotyczący znaczącego wzrostu kosztu budowy i utrzymania drogi o nawierzchni podatnej w stosunku do nawierzchni sztywnej. Koszt dla drogi o nawierzchni asfaltowej, w okresie około roku czasu, wzrósł średnio o dodatkowe 5% w stosunku do kosztu drogi o nawierzchni betonowej i wynosi obecnie od 23 do 29% w okresie 30 lat przeprowadzonej analizy. Dodatkowo można zaobserwować, że obecnie dla kategorii ruchu KR1 koszt budowy drogi z asfaltu i betonu jest taki sam, a w wyższych kategoriach ruchu jest on niższy dla drogi betonowej. Trend ten w głównej mierze wynika z kosztów ropy naftowej oraz faktu, że musi być ona transportowana na teren Polski z dużych odległości, natomiast koszt cementu w tym samym okresie czasu wzrósł dużo mniej.

## 8. Podsumowanie

Podsumowując uzyskane wyniki można stwierdzić, że budowa, naprawy i utrzymanie drogi betonowej w znacznie mniejszym stopniu wpływa na środowisko oraz na zubożenie źródeł surowców. Dodatkowo budowa dróg betonowych w obecnych czasach jest dużo bardziej opłacalna już na etapie samej budowy, a jeżeli weźmiemy pod uwagę również żywotność drogi oraz koszty jej napraw i utrzymania to różnice mogą sięgnąć nawet 29%.

## Literatura

- [1] World Commission on Environment and Development: Raport "Our common future" z 1987 r.
- [2] K. Grzesik: Wprowadzenie do oceny cyklu życia (LCA) – nowej techniki w ochronie środowiska. Kraków, Inżynieria Środowiska – 2006, tom 11, zeszyt 1, s. 101–113.
- [3] IGSMiE PAN, Pracownia Badań Strategicznych, „Opracowanie metodyki LCA dla oceny projektów infrastrukturalnych”. Kraków, 2008.
- [4] PN-EN ISO 14040:2009, Zarządzanie środowiskowe – Ocena Cyklu Życia – Zasady i struktura. Warszawa, PKN, 2009.
- [5] PN-EN ISO 14044:2009, Zarządzanie środowiskowe – Ocena Cyklu Życia – Wymagania i wytyczne. Warszawa, PKN, 2009.
- [6] J. Saternus, M. Wróbel, „Opracowanie przykładowego projektu drogi o długości 1 km w dwóch wariantach: o nawierzchni asfaltowej i o nawierzchni betonowej dla kategorii obciążenia ruchem od KR1 do KR6”, Tychy, 2010 / 2011, DROCAD Sp. z o.o.
- [7] J. Saternus, M. Wróbel, „Opracowanie przykładowego projektu drogi o długości 1 km w dwóch wariantach: o nawierzchni asfaltowej i o nawierzchni betonowej dla kategorii obciążenia ruchem od KR1 do KR6”, Tychy, 2012, DROCAD Sp. z o.o.