



**Instytut Techniki Budowlanej**

00-611 Warszawa, ul. Filtrowa 1, tel. 22 8250471, fax 22 8255286

**Analiza porównawcza cyklu życia dla nawierzchni asfaltowych  
i betonowych**

**Nr pracy: 01296/15/Z00NF**

Warszawa, Czerwiec 2015 r.

<b>INSTYTUT TECHNIKI BUDOWLANEJ</b> <b>ZAKŁAD FIZYKI CIEPLNEJ, INSTALACJI SANITARNYCH</b> <b>i ŚRODOWISKA</b> <b>Pracownia Ochrony Środowiska</b> 02-656 Warszawa, ul. Ksawerów 21, tel. +48 22 8437175, faks +48 22 57 96 486, e-mail: fizyka-srodowisko@itb.pl	LICZBA STRON 15
	STRONA 1

## SPIS TREŚCI

PODSTAWA FORMALNA OPRACOWANIA.....	2
CEL PRACY .....	2
OKREŚLENIE POPRAWNOŚCI METODYKI .....	2
ZAŁOŻENIA SYSTEMU DO ANALIZY LCA .....	4
WYNIKI ANALIZY LCA.....	10
INNE INFORMACJE REFERENCYJNE.....	13

<b>INSTYTUT TECHNIKI BUDOWLANEJ</b> <b>ZAKŁAD FIZYKI CIEPLNEJ, INSTALACJI SANITARNYCH</b> <b>i ŚRODOWISKA</b> <b>Pracownia Ochrony Środowiska</b> 02-656 Warszawa, ul. Ksawerów 21, tel. +48 22 8437175, faks +48 22 57 96 486, e-mail: fizyka-srodowisko@itb.pl	LICZBA STRON 15
	STRONA 2

## Podstawa formalna opracowania

Podstawę formalną opracowania stanowiło zlecenie Stowarzyszenia Producentów Cementu (dalej SPC) z siedzibą w Krakowie, 30-303 Kraków, ul. Lubelska29/4/5 z dnia 29 kwietnia 2015 oraz Umowa nr 01296/15/Z00NF zawarta z Instytutem Techniki Budowlanej na wykonanie pracy pt. „Analiza porównawcza cyklu życia dla nawierzchni asfaltowych i betonowych.”

## Cel pracy

Celem pracy była analiza dokumentów referencyjnych przesłanych przez SPC w zakresie analizy porównawczej oddziaływań środowiskowych różnych rozwiązań technologicznych dróg (beton vs asfalt) w cyklu życia. Wykonana analiza składa się z następujących etapów:

- określenie poprawności metodyki zawartej w dokumentach referencyjnych
- omówienie uzyskiwanych wyników
- podsumowanie i wnioski

W ramach realizacji pracy przygotowano prezentację ppt prezentującą skrót analiz zawartych w niniejszym sprawozdaniu.

Tezy do weryfikacji zawarte w dokumentach referencyjnych to m.in.:

- Przy rozpatrywaniu technologii przyjmuje się zwiększoną trwałość nawierzchni betonowych wynoszącą 30-50 lat bez kosztownych zabiegów utrzymaniowych, a szczególnie większą odporność na odkształcenia trwałe w okresach zwiększonych temperatur. Trwałość ta przekłada się na redukcję oddziaływań środowiskowych w utrzymaniu drogi i całym cyklu życia.
- Z analizy kosztów wynika, że przy obecnych relacjach cenowych koszty dobrze wykonanej drogi o nawierzchni betonowej w porównaniu do nawierzchni bitumicznych są niższe zarówno na etapie budowy od 17 do 20% jak i na dalszych etapach utrzymania w okresie 30-40 lat. Wyniki analiz kosztów cyklu życia skorelowane są z wynikami analiz LCA.
- Liczne analizowane źródła literaturowe wskazują na zmniejszone zużycie paliwa pojazdów na nawierzchniach betonowych - co przekłada się na zmniejszenie emisji CO<sub>2</sub>.
- Z referencyjnych analiz środowiskowych wynika, że oddziaływania środowiskowe drogi o nawierzchni betonowej w cyklu życia w porównaniu do nawierzchni bitumicznych są nieznacznie niższe.

## Określenie poprawności metodyki

Metodyka wyboru rozwiązania technologicznego drogi w praktyce obejmuje następujące zagadnienia:

Analiza wielokryterialna obejmująca:

- problemy technologiczne,

- analiza ruchu,
- analiza hałasu,
- analiza kosztów budowy, analiza cen materiałów, analiza kosztów budowy i utrzymania,
- analiza ryzyka wykonania (ilość wykonawców),
- analiza zużycia paliwa na jednej i drugiej nawierzchni, analiza jednorodności nawierzchni na określonym odcinku drogi
- analiza środowiskowa w cyklu życia

Analiza środowiskowa LCA obok analiz kosztów cyklu życia LCC jest coraz częściej wykorzystywana w praktyce. Analiza porównawcza oddziaływań środowiskowych rozwiązań technologicznych dróg (beton vs asfalt) w cyklu życia jest analizą wielokryterialną. Poszczególnym kryteriom oceny nie nadaje się wag (tj. wszystkie są tak samo ważne, choć oceny głównie bazują na porównaniu nakładów energetycznych, emisji CO<sub>2</sub>)

Właściwą metodyką oceny środowiskowej dla rozwiązań technologicznych dróg są normy: ISO 14040 i ISO 14044 (ogólne zasady wykonywania obliczeń LCA), dla wyrobów PN EN 15804:2012+A1 Zrównoważoność obiektów budowlanych - Deklaracje środowiskowe wyrobu - Podstawowe zasady kategoryzacji wyrobów budowlanych oraz prEN 15643-5 - Sustainability of construction works - Sustainability assessment of buildings and civil engineering works - part 5 : framework on specific principles and requirement for civil engineering works.

LCA powinno uwzględniać następujące fazy cyklu życia (faza wyrobu, faza wbudowania, faza użytkowa, faza końca życia) - tabela 1.

Tabela 1. Cykl życia, fazy cyklu życia i moduły cyklu życia wg. ITB

Cykl życia drogi „cradle to grave” tj. od pobrania surowców do końca cyklu życia													
Faza wyrobu			Faza wbudowania		Faza użytkowania					Faza końca cyklu życia			
A1	A2	A3	A4	A5	B1	B2	B3	B4	B5	C1	C2	C3	C4
Wydobycie i wytworzenie surowców	Transport	Produkcja wyrobów	Transport	wbudowanie	Użytkowanie (oddziaływania komunikacyjne)	Konserwacja	Naprawa	Wymiana	Remont	Demontaż	Transport	Recykling/ponowne użycie	Składowanie

LCA powinno uwzględniać następujące aspekty i oddziaływania środowiskowe – rysunek 1.

Oddziaływania środowiskowe						
GWP [kg CO <sub>2</sub> eq]	ODP [kg CFCEq]	AP [kg SO <sub>2</sub> eq]	EP [kg PO <sub>4</sub> eq]	POCP [kg Etheneq]	APD-elementy [kgSb eq]	ADP-paliwa kopalne [MJ NCV]
KLIMAT	WARTSWA OZONOWA	ZAKWASZENIE	EUTROFIZACJA	SMOG	USZCZUPLENIE ZASOBÓW	
Aspekty środowiskowe: Zużycie zasobów i surowców energetycznych						
Wykorzystanie odnawialnej energii pierwotnej, z wyłączeniem odnawialnych źródeł energii pierwotnej stosowanych jako surowce [MJ NCV]	Wykorzystanie odnawialnych źródeł energii wykorzystywanych jako surowce [MJ NCV]	Całkowite zużycie energii pierwotnej ze źródeł odnawialnych (energii pierwotnej oraz pierwotnych źródeł energii wykorzystywanych jako surowce) [MJ NCV]		Wykorzystanie nieodnawialnych źródeł energii pierwotnej, z wyłączeniem nieodnawialnych zasobów energii pierwotnej stosowanych jako surowce [MJ NCV]	Wykorzystanie nieodnawialnych źródeł energii wykorzystywanych jako surowce [MJ NCV]	Całkowite wykorzystanie nieodnawialnych źródeł energii pierwotnej (energii pierwotnej i pierwotnych źródeł energii wykorzystywanych jako surowce) [MJ NCV]
Wykorzystanie surowców wtórnych [kg]		Wykorzystanie odnawialnych paliw wtórnych [MJ]		Wykorzystanie nie odnawialnych paliw wtórnych [MJ]		Netto korzystanie z wody słodkiej [m <sup>3</sup> ]
Informacja środowiskowa dotycząca odpadów i recyklingu						
Zutyliżowane odpady niebezpieczne [kg]	Zutyliżowane odpady inne niż niebezpieczne [kg]	Zutyliżowane odpady promieniotwórcze [kg]	Komponenty do ponownego użycia [kg]	Materiały do recyklingu [kg]	Materiały do odzysku energii [kg]	Eksportowa na energia [kg]

Rys 1. Aspekty i oddziaływania środowiskowe brane pod uwagę w analizie LCA

W analizie LCA porównywanie pojedynczych faz cyklu życia lub tylko pojedynczych indykatorów oddziaływania (np. tylko fazy wyrobu dla dróg betonowych i asfaltowych lub tylko CO<sub>2</sub>) nie prowadzi do właściwych interpretacji i jest odradzane.

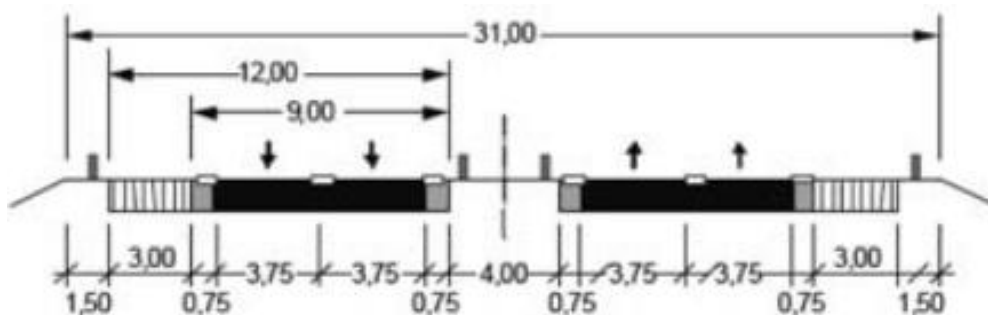
Faza użytkowania powinna obejmować moduły B2-B5 (tabela 1) tj. utrzymanie drogi w stanie użytkowym oraz B1 biorące pod uwagę oddziaływania wynikające z oddziaływań komunikacyjnych (w funkcji natężenia ruchu). W module B1 można uwzględnić efekt albedo i zużycie energii na oświetlenie drogi.

Zużycie paliwa pojazdów w fazie użytkowania B1 jest związane z oporem toczenia ze względu na szorstkość tekstury nawierzchni, a także ugięcie. Ma to znaczący wpływ na całość analizy. Liczne analizowane źródła literaturowe wskazują na zmniejszone zużycie paliwa pojazdów na nawierzchniach betonowych (zobacz w dalszej części pracy). W analizowanych dokumentach referencyjnych założono takie same zużycie paliwa przez pojazdy na wszystkich nawierzchniach dla danego typu drogi (KR1-KR6).

## ZAŁOŻENIA SYSTEMU DO ANALIZY LCA

Podstawowe założenia przyjęto zgodnie z metodą zawartą w dokumencie referencyjnym opublikowanym przez Stowarzyszenie EUPAVE pt. the European Concrete Paving Association "Life cycle assessment for road construction and use" autorstwa zespołu: Charlotte Milachowski, Thorsten Stengel, Christoph Gehlen.

- a) Metodyka badań LCA w oparciu o ISO 14040:2009 oraz ISO 14044:2009
- b) Emisje do powietrza, wody i gruntów zostały określone przez zastosowanie metody holenderskiej CML, przyporządkowując je do poszczególnych oddziaływań środowiskowych GWP (wpływ na zmiany klimatu), AP (potencjał zakwaszenia), EP (potencjał eutrofizacji), ODP (uszczerpiecie warstwy ozonowej), POCP (fotochemiczne tworzenie ozonu),
- c) Baza danych „Ecoinvent” dla wyrobów, analiza przeprowadzona przez komercyjne oprogramowanie SimaPro.
- d) Droga o parametrach:
  - a. Długość 1km
  - b. Dwujezdniowa, po dwa pasy ruchu w każdym kierunku a chodnikiem.  
Wymiary drogi: szerokość pasa drogowego – 31,0 m, szerokość jezdni z poboczem 13,5 m, szerokość pasa oddzielającego jezdnie 4,0 m,
- e) Okres analizy LCA został przyjęty na okres 30 lat z uwzględnieniem 5 scenariuszy budowy (2 dla drogi asfaltowej i 3 dla drogi betonowej), 4 scenariuszy konserwacji i remontów (2 dla drogi asfaltowej i 2 dla drogi betonowej) oraz 4 scenariuszy użytkowych zakładających różne oszczędności zużycia paliw przez pojazdy korzystające z drogi .
- f) Na rysunku 2 poniżej przedstawiono przekrój analizowanego rozwiązania drogi.



Rys. 2 Przekrój analizowanej drogi wraz z wymiarami

Przyjęto następujące scenariusze konstrukcyjne,

<b>Konstrukcje z asfaltu: droga z asfaltem lanym (MA) lub asfaltem porowatym (PA)</b>	<b>Konstrukcje z betonu: beton nawierzchniowy o powierzchni teksturowanej (tC) lub beton z odsłoniętym kruszywem (EAC)</b>
<b>Scenariusz A:</b> 0% materiału z recyklingu dla wszystkich warstw	<b>Scenariusz A:</b> 0% materiału z recyklingu dla wszystkich warstw CEM I jako betonowa warstwa wierzchnia
<b>Scenariusz B:</b> 100% materiału z recyklingu dla warstwy nieprzepuszczalnej 0% materiału z recyklingu dla pozostałych warstw	<b>Scenariusz B:</b> 100% materiału z recyklingu dla warstwy nieprzepuszczalnej, 0% materiału z recyklingu, CEM I jako betonowa warstwa wierzchnia,
	<b>Scenariusz C:</b> 0% materiału z recyklingu dla wszystkich warstw CEM III jako betonowa warstwa wierzchnia

oraz następujące scenariusze konserwacyjno-remontowe;

<b>INSTYTUT TECHNIKI BUDOWLANEJ</b> <b>ZAKŁAD FIZYKI CIEPLNEJ, INSTALACJI SANITARNYCH</b> <b>i ŚRODOWISKA</b> <b>Pracownia Ochrony Środowiska</b> 02-656 Warszawa, ul. Ksawerów 21, tel. +48 22 8437175, faks +48 22 57 96 486, e-mail: fizyka-srodowisko@itb.pl	LICZBA STRON 15
	STRONA 6

Scenariusz konserwacyjno-remontowy nawierzchni podatnej		Scenariusz konserwacyjno-remontowy nawierzchni sztywnej
asfalt lany (MA)	asfalt porowaty (PA)	beton nawierzchniowy o powierzchni teksturowanej (tC) <b>lub</b> beton z odsłoniętym kruszywem (EAC)
<b>Scenariusz A:</b> 2 x wymiana warstwy wierzchniej 1 x wymiana warstwy spoiwa	<b>Scenariusz A:</b> 3 x wymiana warstwy wierzchniej 1 x wymiana warstwy spoiwa	<b>Scenariusz A:</b> 2 x kompletna renowacja łączników 5% naprawa ułamanych krawędzi i rogów 1% podniesienie i naprawa płyt 1% wymiana płyt
<b>Scenariusz B:</b> 2 x wymiana warstwy wierzchniej 2 x wymiana warstwy spoiwa	<b>Scenariusz B:</b> 4,3 x wymiana warstwy wierzchniej 1 x wymiana warstwy spoiwa	<b>Scenariusz B:</b> 3 x kompletna renowacja łączników 20% naprawa ułamanych krawędzi i rogów 3% podniesienie i naprawa płyt 3% wymiana płyt

#### Założenia dla ruchu komunikacyjnego w EUPAVE

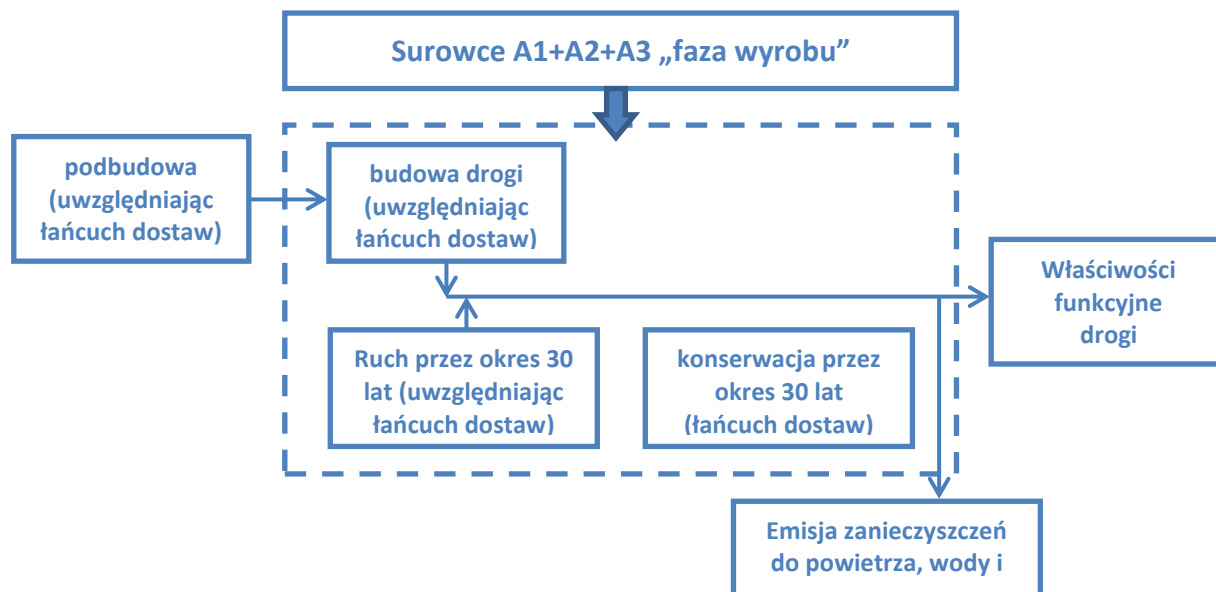
Przyjęto typowe warunki ruchu, które zakładają obciążenie na poziomie 52000 pojazdów/24h (42000 samochody osobowe, 10000 samochody ciężarowe) w różnych scenariuszach obciążenia ruchem drogi (A-D). Przyjęto standardowe europejskie zużycie paliwa na poziomie 0,286 kg/km oleju napędowego dla samochodów ciężarowych oraz 0,0125 kg/km oleju napędowego i 0,0536 benzyny bezołowiowej dla samochodów osobowych (na podstawie Spielmann et al. 2004.)

Z analizy dokumentu referencyjnego dla emisji wynikającej z transportu [https://db.ecoinvent.org/reports/14\\_Transport.pdf](https://db.ecoinvent.org/reports/14_Transport.pdf) do której odwołuje się dokument UPAVE wynika:

- Wartości spalania paliw dla samochodów osobowych mogą się wydawać na pierwszy rzut oka nieprawidłowa, niemniej są to wartości ważne związane z natężeniem ruchu danej grupy pojazdów emisyjności EURO-1 do EURO 4. Dokument tego nie tłumaczy.
- Suma emisji samochodu na km dla osobowych wynosi 6,61 kg/100km- co jest wartością prawdopodobną (na rok 2004)
- Niestety autorzy dokumentu nie podali szczegółów badań natężenia ruchu
- Rok 2004 (czyli 11 lat temu) i założenia dotyczące spalania wynikającego z ruchu nie są już reprezentatywne dla analiz LCA. Prawdopodobnie emisja z fazy użytkowania i ruchu komunikacyjnego może być kilkanaście procent niższa.
- Należałoby przyjąć bardziej aktualne dane związane z emisją z pojazdów

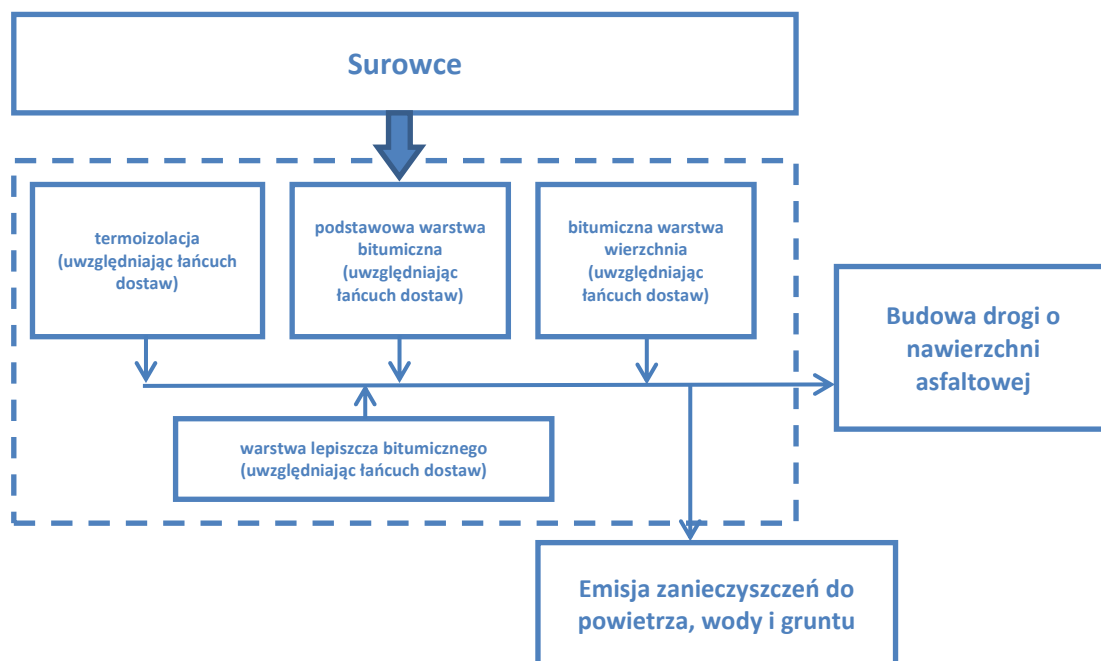
#### Założenia dla granic systemu

W celu wykonania analizy LCA przyjęto założenia dotyczące granic systemu czyli określono, które elementy i procesy brane są pod uwagę. Ogólny schemat systemu oceny technologii budowy drogi przyjęto zgodnie ze schematem przedstawionym na rysunku 3.



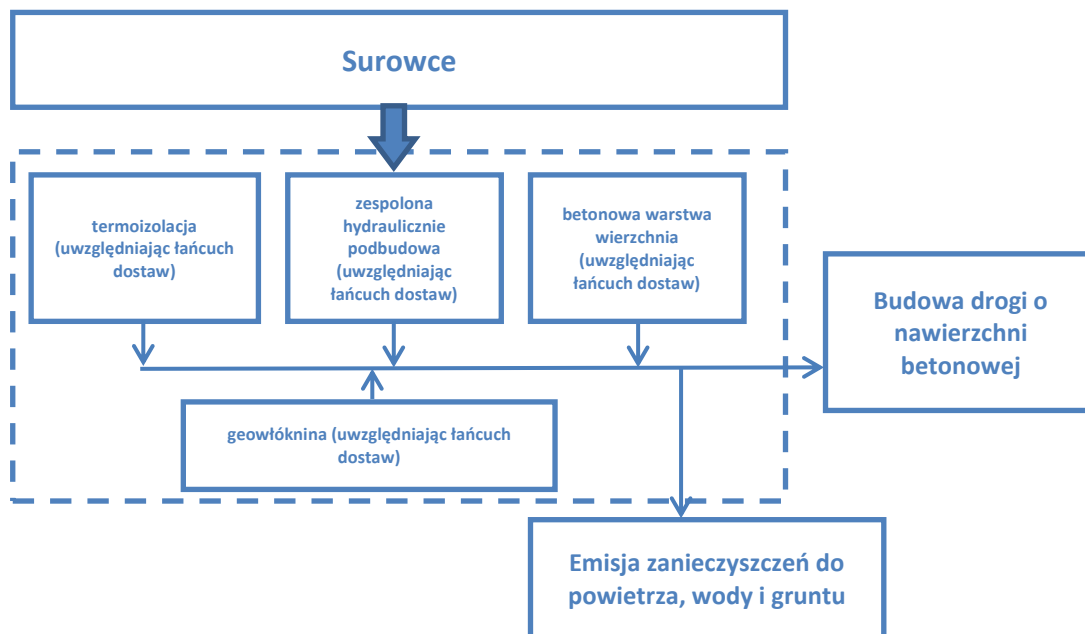
Rys. 3. System oceny technologii budowy drogi w cyklu życia

Na rysunku 4 przedstawiono elementy systemu brane pod uwagę dla budowy dróg asfaltowych i adekwatnie na rysunku 5 elementy systemu brane pod uwagę dla budowy „dróg betonowych”.



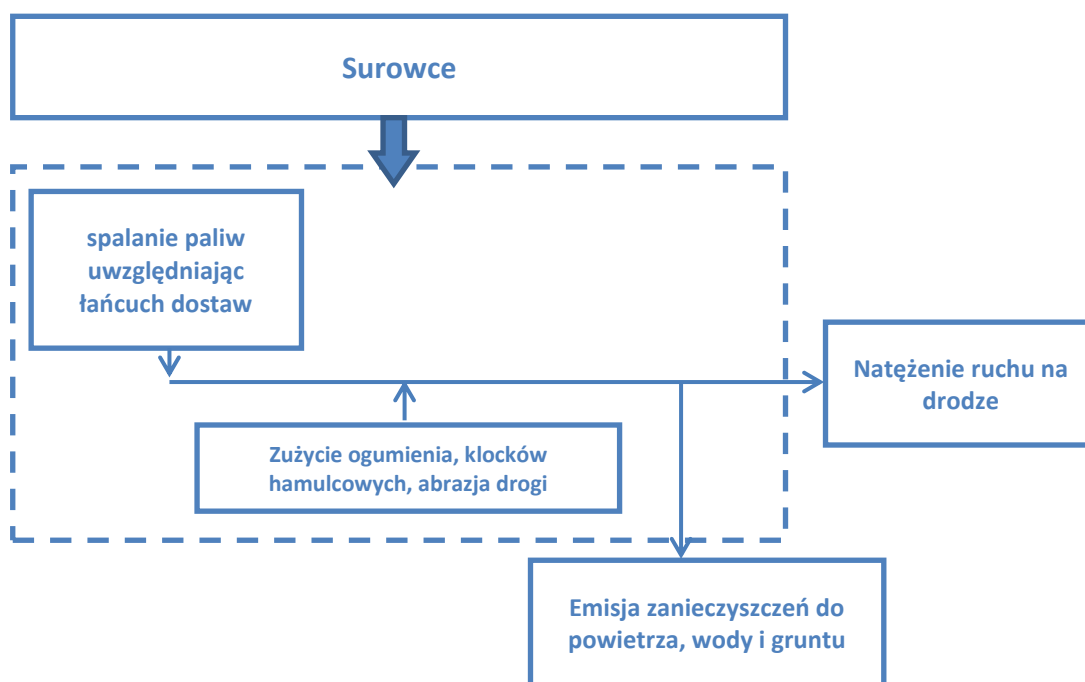
Rys. 4. Granice systemu dla konstrukcji „drogi asfaltowej”





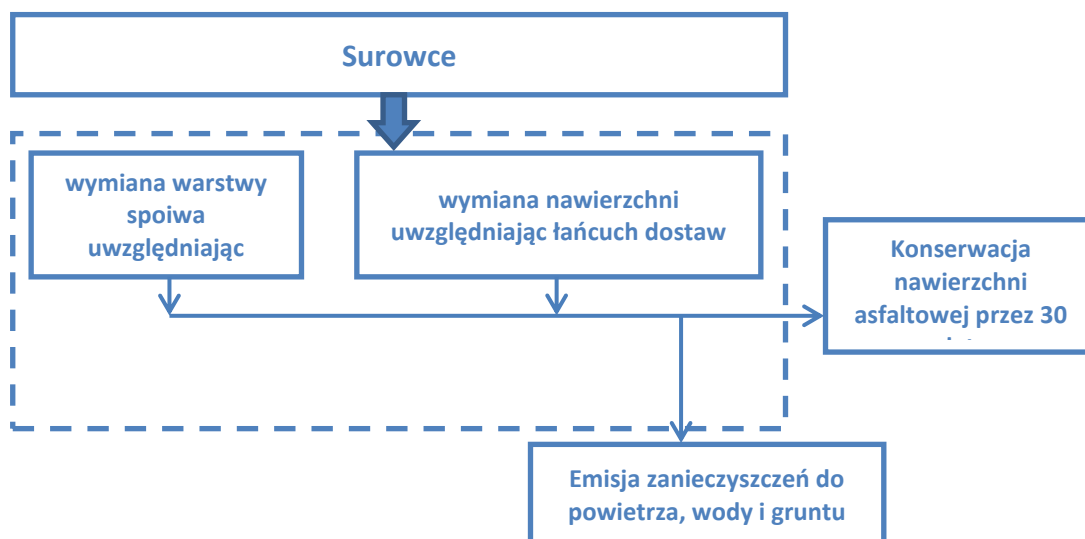
Rys. 5. Granice systemu przy konstrukcji drogi betonowej

Na rysunku 6 przedstawiono elementy systemu brane pod uwagę w analizie fazy użytkowania drogi (30 lat) związane z ruchem komunikacyjnym (tj. moduł B1).

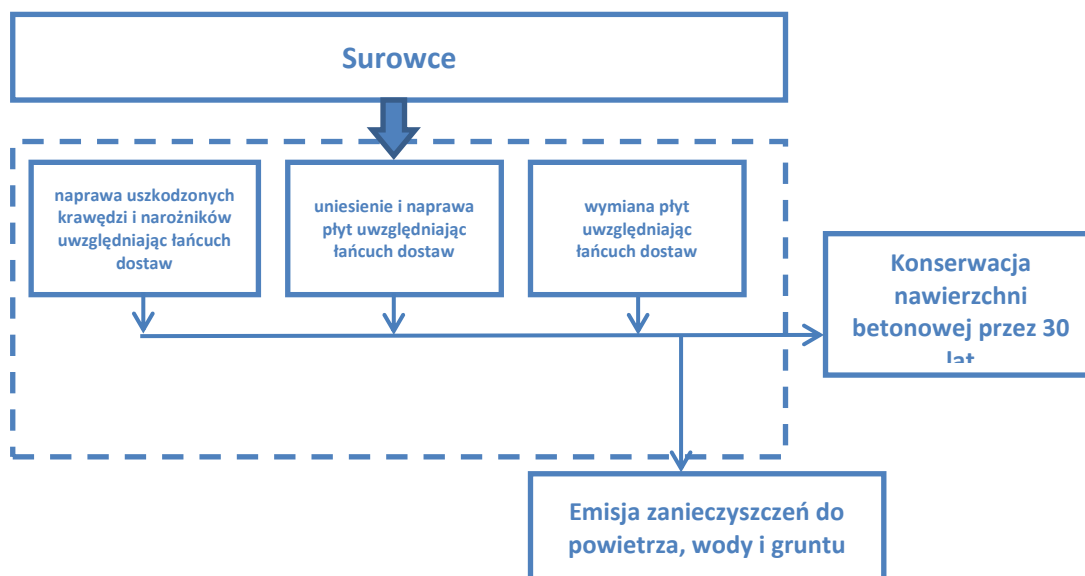


Rys. 6. Granice systemu przy użytkowaniu drogi

Na rysunku 7 i 8 przedstawiono elementy systemu brane pod uwagę w analizie fazy użytkowania drogi (30 lat) związane z konserwacją (drogi asfaltowe i betonowe).



Rys. 7. Granice systemu przy konserwacji drogi asfaltowej



Rys. 8. Granice systemu przy konserwacji drogi betonowej

Uwaga: Przyjęte założenia do analizy LCA przez EUPAVE są prawidłowe. Zweryfikowano ilość nakładów materiałów i pracy i nie wykryto wartości odbiegających znacznie od wartości praktycznych spotykanych w literaturze. Dyskusyjne są założenia dla emisji z transportu komunikacyjnego.

## Wyniki analizy LCA

Tabela 2. Wpływ budowy dróg na zmianę klimatu (GWP) (faza wyrobu, moduły A1-A5). W celu porównania przyjęto, że budowa drogi z nawierzchnią z asfaltu MA (asfalt lany) w scenariuszu A to 100%.

Oddziaływanie	Technologia wykonania drogi									
	(MA) scen A	(MA) scen B	(PA) scen A	(PA) scen B	(tC) scen A	(tC) scen B	(tC) scen C	(EAC) scen A	(EAC) scen B	(EAC) scen C
GWP kg	1 694 573	1 425 044	1 730 430	1 446 198	2 710 311	2 339 814	2 153 620	2 821 219	2 474 597	2 227 417
%	100%	84%	102%	85%	160%	138%	127%	166%	146%	131%

Z tabeli 2 wynika, że dla GWP i tylko fazy wybudowania rozwiązania asfaltowe są lepsze.

Tabela 3. Wpływ dróg na zmianę klimatu (GWP) na etapie konserwacji i utrzymania (B2-B5).

Oddziaływanie	Technologia wykonania drogi							
	(MA) scen A	(MA) scen B	(PA) scen A	(PA) scen B	(tC) scen A	(tC) scen B	(tC) scen C	(EAC) scen A
GWP kg	944116	1230617	1048154	1363116	60520	170920	63971	181274
%	100%	130%	111%	144%	6%	18%	7%	19%

Z tabeli 3 wynika że rozwiązania betonowe związane z utrzymaniem drogi w ciągu 30 lat są znacznie lepsze.

Tabela 4. wpływ dróg na zmianę klimatu (GWP) na etapie budowy, konserwacji i utrzymania.

Oddziaływanie	Technologia wykonania drogi							
	(MA) scen A	(MA) scen B	(PA) scen A	(PA) scen B	(tC) scen A	(tC) scen B	(tC) scen C	(EAC) scen A
GWP kg	2638689	2655661	2778584	2809314	2770831	2510734	2217591	3002493
%	100,000%	100,643%	105,302%	106,466%	105,008%	95,151%	84,041%	113,787%

Z tabeli 4 wynika, że w sumie (bez oddziaływań komunikacyjnych) niektóre rozwiązania na bazie betonu są lepsze. Niektóre analizy LCA ograniczają się tylko do fazy wybudowania i utrzymania drogi bez uwzględniania oddziaływań transportowych. W opinii autora jest to podejście niepełne.

Tabela 5 prezentuje wyniki analiz LCA dla wszystkich technologii oraz branych pod uwagę faz cyklu życia.

Tabela 5. Zestawienie zbiorcze wyników analizy LCA dla poszczególnych faz cyklu życia wraz z podaniem wartości % w odniesieniu do wariantu asfaltowego MA.

		GWP	%	ODP	%	POCP	%	AP	%	EP	%
budowa A1-A3+A4+A5	MA scen A	1 694 573	100%	0,39	100%	413	100%	8191	100%	1232	100%
	MA scen B	1 425 044	84%	0,35	90%	346	84%	6623	81%	919	75%
	PA scen A	1 730 430	102%	0,4	103%	431	104%	8516	104%	1264	103%
	PA scen B	1 446 198	85%	0,36	92%	361	87%	6892	84%	940	76%
	tC scen A	2 710 311	160%	0,13	33%	380	92%	6374	78%	1084	88%
	tC scen B	2 339 814	138%	0,09	23%	308	75%	4644	57%	742	60%
	tC scen C	2 153 620	127%	0,13	33%	344	83%	6343	77%	1079	88%
	EAC scen A	2 821 219	166%	0,13	33%	389	94%	6478	79%	1100	89%
	EAC scen B	2 474 597	146%	0,09	23%	317	77%	6478	79%	758	62%
EAC scen C	2 227 417	131%	0,13	33%	350	85%	6447	79%	1094	89%	
konserwacja B2-B5	MA scen A	944116	100%	0,21	100%	272	100%	5249	100%	723	100%
	MA scen B	1230617	130%	0,27	129%	352	129%	6808	130%	943	130%
	PA scen A	1048154	111%	0,24	114%	316	116%	6028	115%	764	106%
	PA scen B	1363116	144%	0,33	157%	423	156%	7986	152%	3718	514%
	tC scen A	60520	6%	0,01	5%	46	17%	265	5%	36	5%

	tC scen B	170920	18%	0,01	5%	81	30%	742	14%	110	15%
	EAC scen A	63971	7%	0,01	5%	46	17%	270	5%	37	5%
	EAC scen B	181274	19%	0,01	5%	82	30%	756	14%	113	16%
B1 ruch	A (0%)	230 904 557		29,84		167980		1066521		202078	
	B (-0,5% paliwo)	229 750 034		29,69		167140		1061189		201067	
	C (-2% paliwo)	226 286 466		29,24		164620		1045191		198036	
	D (-10% paliwo)	220 146 604		28,30		166410		1008952		189865	

Warto zwrócić uwagę na wyniki przedstawione w tabeli 6. Faza wybudowania drogi w stosunku do oddziaływań komunikacyjnych wynosi zaledwie 0,2-1,3% oddziaływań cyklu życia czyli niewiele. Oznacza to, że właśnie oddziaływania komunikacyjne mają główną wagę w ocenie środowiskowej drogi.

Tabela 6. Stosunek oddziaływania fazy wyrobu związanej z wybudowaniem drogi do emisji powstających w fazie użytkowania drogi (emisje komunikacyjne w ciągu 30 lat)

	GWP	ODP	POCP	AP	EP
relacja fazy A do fazy B1	0,7339%	1,3070%	0,2459%	0,7680%	0,6097%

Zakładając, że spalanie paliwa jest niższe na drogach betonowych o minimalnie 0,05% od spalania paliw pojazdów na drogach asfaltowych oszczędność emisji gazów cieplarnianych w ciągu 30 lat może wynieść ok. 346356 kg CO<sub>2</sub>.

Tabela 7. Zestawienie wyników analizy LCA (GWP, kg CO<sub>2</sub>) dla wszystkich faz (A+B) z taką samą emisją z pojazdów oraz z uwzględnieniem różnicy w spalaniu paliwa na nawierzchni betonowej

budowa+konserwacja+ruch	MA scen A	233 543 246	100,000%	233543246	100,000%
	MA scen B	233 560 218	100,007%	233560218	100,007%
	PA scen A	233 683 141	100,060%	233683141	100,060%
	PA scen B	233 713 871	100,073%	233713871	100,073%
	tC scen A	233 675 388	100,057%	233329031	<u>99,908%</u>
	tC scen B	233 415 291	<u>99,945%</u>	233068934	<u>99,797%</u>
	tC scen C	233 239 451	<u>99,870%</u>	232893094	<u>99,722%</u>
	EAC scen A	233 789 747	100,106%	233443390	<u>99,957%</u>
	EAC scen B	233 560 428	100,007%	233214071	<u>99,859%</u>
	EAC scen C	233 313 248	<u>99,902%</u>	232966891	<u>99,753%</u>

W celu porównania wyników w tabeli 7 przyjęto, że budowa drogi z nawierzchnią z asfaltu MA (asfalt lany) w scenariuszu A to 100%. Z tabeli 7 wynika, że przy przyjęciu nieznacznej poprawki wynikającej z różnicy w spalaniu paliw w transporcie wszystkie technologie betonowe wypadają lepiej od technologii asfaltowych. Bez tej poprawki niektóre technologie betonowe wypadają lepiej (zobacz podkreślenia w tabeli 7).

<b>INSTYTUT TECHNIKI BUDOWLANEJ</b> <b>ZAKŁAD FIZYKI CIEPLNEJ, INSTALACJI SANITARNYCH</b> <b>i ŚRODOWISKA</b> <b>Pracownia Ochrony Środowiska</b> 02-656 Warszawa, ul. Ksawerów 21, tel. +48 22 8437175, faks +48 22 57 96 486, e-mail: fizyka-srodowisko@itb.pl	LICZBA STRON 15
	STRONA 12

## „Beton a cykl życia drogi” wg. Łukasz Szabat

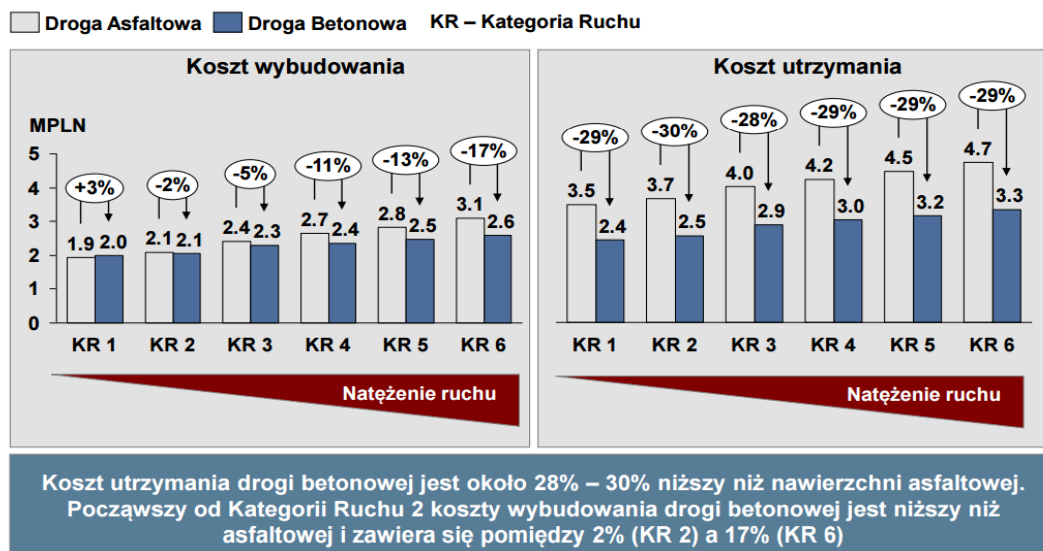
Założenia metodyczne;

- a) Metodyka badań LCA w oparciu o PN-EN ISO 14040:2009 oraz PN-EN ISO 14044:2009, porównanie kosztów budowy, remontów i utrzymania drogi (LCCA)
- b) Droga o parametrach:
  - a. Długość 1km
  - b. Jednojezdniowa, dwukierunkowa z jednostronnym chodnikiem z pasem zieleni i oświetleniem pomiędzy jezdnią a chodnikiem.  
Wymiary drogi: szerokość jezdni – 6,0m, szerokość pasa zieleni 3,2m, szerokość chodnika 2,0m
  - c. Do analiz LCA zostały wytypowane 3 kategorie ruchu (KR3-KR5) przygotowane 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.)
- c) Okres analizy LCA oraz LCCA został przyjęty na okres 30 lat z uwzględnieniem oprócz samego etapu budowy wszystkich prac oraz kosztów związanych z naprawą i jej utrzymaniem.
- d) Dane wszystkich materiałów używanych podczas budowy, napraw i utrzymania drogi zostały wprowadzone do 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.

Analiza artykułu wykazała ogólną zgodność z wynikami badań EUPAVE, które również wskazują drogi z nawierzchnią betonową (nawierzchnia sztywna) w porównaniu do dróg asfaltowych (nawierzchnia podatna) jako korzystniejsze z punktu widzenia oceny ekonomicznej i środowiskowej. Opracowanie różni się nieznacznie od badań EUPAVE w kwestiach założeń merytorycznych:

- a. Brak uszczegółowienia fazy użytkowej, autor skupia się na fazie budowy oraz konserwacji. Użytkowanie związane z ruchem komunikacyjnym w ocenie LCA potraktowane jest wzmiankowo, odnosi się do dróg o różnych natężeniach ruchu (KR3-KR5),
- b. Brak odniesienia do materiałów z recyklingu w ocenie cyklu życia,
- c. Granice systemu nie uwzględniają transportu materiałów, przynajmniej nie jest on wyszczególniony.

Wg autora wraz ze wzrostem kategorii ruchu, następuje wzrost od 14-24% kosztów budowy i konserwacji nawierzchni podatnej (asfalt) w stosunku do nawierzchni sztywnej (beton). Uwzględniając ceny i transport surowców koszt drogi asfaltowej może być wyższy o 29%. Dane te mogą być jednak dyskusyjne i mogą wymagać uszczegółowienia i analizy wrażliwości. Według danych biura projektowego „DROCAD” procentowe ujęcie kosztów budowy i utrzymania przedstawiony jest na rys. 9.



Rys. 9. Łączny koszt budowy i utrzymania drogi dla wariantów KR1-KR6 w okresie 30 lat eksploatacji

Uwaga 1: Wyniki analiza LCA i LCC ze względu na te same założenia są wzajemnie skorelowane. Tańsze rozwiązania będą miały lepszy wynik oceny LCA.

Uwaga 2: Nowoczesne analiz LCC i LCA uwzględniają efekt socjalny jakim jest strata czasu ludzi w transporcie w wyniku napraw drogi- co nie zostało ujęte w omawianej analizie.

## Inne informacje referencyjne

Wg raportu Fuel Efficiency Report opublikowanego przez EAPA/EUROBITUME całkowite zużycie energii w trakcie budowy i konserwacji dróg jest nieznacznie niższe w przypadku nawierzchni asfaltowych niż dla betonowych. Także poziomy emisji gazów cieplarnianych GWP są niższe dla nawierzchni asfaltowych, co jest porównywalne z wynikami przedstawionymi przez EUPAVE. Tak jak zostało to powiedziane na wstępie wyniki porównawcze obejmujące jedną fazę cyklu życia nie są reprezentatywne i nie mogą stanowić podstawy do stwierdzeń że technologia asfaltowa jest lepsza.

Wyniki analiz LCA uzyskane przez Zarząd Autostrad w USA potwierdzają wyniki EUPAVE.

Jak wskazują badania, zużycie energii podczas ruchu na drodze w czasie cyklu życia ma kluczowe znaczenie (95 do 98% sumarycznego wyniku LCA). W zależności od natężenia ruchu zużycie energii do budowy, utrzymania i eksploatacji drogi jest waha się od 2 do 5% energii zużywanej przez sam ruch. Dlatego uzasadnione jest, aby skupić się na tym, jak różne powierzchnie nawierzchni drogowej wpływają na zużycie paliwa przez pojazdy poruszające się na nim. Ten sam raport w oparciu o analizy europejskie (Szwecja, Holandia) oraz amerykańskie (USA, Kanada) zarówno w podejściu praktycznym oraz teoretycznym obliczeniowym, wskazuje, że różnica w konsumpcji paliw dla transportu ciężkiego jest nieznaczna i wynosi ok. 0,05% na korzyść nawierzchni betonowej (w opracowaniach pojawiają się wartości nawet do 2,5%). Wpływa na to plastyczność i twardość nawierzchni podatnej w przypadku zmian temperatury. Przyjmując jednak okres 30 lat lub więcej ten współczynnik ma istotne znaczenie dla wyniku oceny LCA.

<b>INSTYTUT TECHNIKI BUDOWLANEJ</b> <b>ZAKŁAD FIZYKI CIEPLNEJ, INSTALACJI SANITARNYCH</b> <b>i ŚRODOWISKA</b> <b>Pracownia Ochrony Środowiska</b> 02-656 Warszawa, ul. Ksawerów 21, tel. +48 22 8437175, faks +48 22 57 96 486, e-mail: fizyka-srodowisko@itb.pl	LICZBA STRON 15
	STRONA 14

## Dyskusja wyników i wnioski

Porównywanie oddziaływań środowiskowych różnych technologii budowy dróg tylko dla fazy wybudowania drogi jest niewłaściwe. Właściwe jest porównywanie całych cykli życia (np. 30 lat) lub przynajmniej fazy wyrobu i użytkowania jednocześnie z pominięciem fazy końca życia (tak jak w przyjętych analizach). Analizy powinny być prowadzone dla planowanych rozwiązań dróg wraz ze scenariuszami użytkowania.

Przyjęte założenia do analizy LCA przez EUPAVE oraz metodyka są prawidłowe. Wnioski zawarte w dokumencie EUPAVE są prawidłowe. Niemniej nie analizowano wpływu rodzaju nawierzchni na zmianę spalania pojazdów (co powinno się uczynić). Zastrzeżenia budzi jeszcze użycie danych emisji z transportu z 2004 roku.

Wyniki sumaryczne oceny różnych technologii budowy dróg w okresie 30 lat użytkowania (z uwzględnieniem emisji z komunikacji) wskazują, że dla kryterium GWP (kg CO<sub>2</sub>) wyniki mają rozrzut 1%, czyli są zbliżone (minimalnie lepiej wypadają drogi o nawierzchni betonowej). Być może warto zwrócić uwagę na analizę wrażliwości i określić błąd metody obliczeniowej zwłaszcza, że wyniki LCA są zbliżone

Utrzymanie dróg asfaltowych (naprawa, konserwacja etc) w ciągu zakładanych 30 lat powoduje oddziaływanie zbliżone do oddziaływania powstającego fazy wyrobu (tj. wytworzenia surowców i wybudowania drogi). Utrzymanie dróg betonowych wymaga kilkukrotnie mniejszego nakładu środowiskowego. Im dłuższy czas cyklu życia przyjmujemy dla drogi tym lepiej wypadną „warianty betonowe”, gdzie nakłady na utrzymanie drogi są znacznie niższe. Inwestycja w bardziej trwałe nawierzchnie (bardziej kosztowne inwestycyjnie) jest korzystna środowiskowo i ekonomicznie w cyklu życia.

Istotnie wpływ na efekt cieplarniany dróg asfaltowych jest niższy dla fazy wybudowania, niemniej kiedy bierze się pod uwagę znacznie niższy nakład na utrzymanie drogi dla nawierzchni betonowych wynik oceny przechyla się na rzecz dróg betonowych (kryterium GWP). Porównanie oddziaływania na środowisko fazy wytworzenia i utrzymania drogi pokazuje, że wpływ na efekt cieplarniany GWP jest porównywalny dla obu rozwiązań. Dla innych kryteriów POCP, AP i EP „drogi betonowe” są lepsze w zakresie od 160% do 220% od dróg o nawierzchniach asfaltowych.

W przytaczanych analizach nie bierze się pod uwagę wpływu nawierzchni na zmianę emisyjności pojazdów. Zużycie paliwa pojazdów w fazie użytkowania B1 (ruch komunikacyjny) jest związane z oporem toczenia ze względu na szorstkość nawierzchni, a także ugięciem. Prędkość pojazdów na odcinku też może mieć znaczenie, dla dróg często remontowanych prędkości będą niższe. Różne źródła literaturowe w tym EAPA/EUROBITUME wskazują, że nawierzchnie betonowe posiadają niższy opór toczenia niż asfaltowe, są mniej podatne. Przyjmując „ostrożnie” współczynnik redukcji spalania paliw dla dróg betonowych wynoszący 0,05% w stosunku do dróg asfaltowych uzyskamy redukcję CO<sub>2</sub> wynoszącą nawet 20% emisji fazy wytworzenia drogi (w praktyce ten współczynnik może być wyższy, nawet 2,5% lub więcej). Przyjęcie takiej korekty emisji w opinii autorów wskazuje, że należy oczekiwać znacznej redukcji emisji w cyklu życia. Wydaje się, że to zagadnienie w analizie LCA jest na tyle istotne, że należałoby prowadzić badania w tym zakresie. Proponowany współczynnik korekcyjny

<b>INSTYTUT TECHNIKI BUDOWLANEJ</b> <b>ZAKŁAD FIZYKI CIEPLNEJ, INSTALACJI SANITARNYCH</b> <b>i ŚRODOWISKA</b> <b>Pracownia Ochrony Środowiska</b> 02-656 Warszawa, ul. Ksawerów 21, tel. +48 22 8437175, faks +48 22 57 96 486, e-mail: fizyka-srodowisko@itb.pl	LICZBA STRON 15
	STRONA 15

wskazuje, że w cyklu życia większość rozwiązań technologicznych nawierzchni betonowych jest nieznacznie lepsza niż wyniki LCA dla nawierzchni asfaltowych (kryterium GWP) i znacznie lepsza dla kryteriów AP, ODP, POCP i EP.

Przeprowadzone badania jednoznacznie wskazują, że największa ilość emisji powstaje w fazie użytkowania drogi (ruch komunikacyjny) a nie w fazie wytworzenia drogi. Stosunek emisji w fazie wytworzenia drogi do fazy użytkowania związanej z ruchem wynosi dla większości kryteriów od 0,5 do 1,2%. Oznacza to, że jakiegokolwiek zmniejszenie ruchu, lub emisji w tej fazie jest znacznie bardziej efektywne środowiskowo niż szukanie rozwiązań pro-środowiskowych w fazie wytworzenia nawierzchni poprzez dobór technologii czy materiałów.

Zmniejszenie zużycia paliwa o 0,5% w okresie 30 lat dla 1 km autostrady zmniejszy emisję CO<sub>2</sub> o 1 154 ton ekwiwalentu CO<sub>2</sub>, czyli mniej więcej tyle ile nakłady na wybudowanie drogi. Redukcja 10% zużycia paliwa dla pojazdów ciężkich pozwoliłaby zaoszczędzić 10 760 t ekwiwalentu CO<sub>2</sub> (5 razy tyle co nakłady środowiskowe na wybudowanie).

Wpływ cząstkowy produkcji asfaltu i cementu na fazę wyrobu jest znaczący i wynosi od 57 do 66% w scenariuszu podstawowym A. Przyjęcie CEM III/A 42,5 R zamiast CEM I 42,5 zmniejszy oddziaływanie środowiskowe w fazie wytwarzania o ok. 20%, niemniej jest to wciąż ok. 30% więcej niż wynik GWP wariantu asfaltu lanego MA w scenariuszu A.

Patrząc jednowymiarowo na kryterium GWP tylko w fazie produkcyjnej można błędnie wywnioskować, że asfalt jest bardziej ekologiczny od betonu. Dlatego analiza LCA powinna obejmować większy zakres cyklu życia.

Potencjał oddziaływania na środowisko może być zmniejszony w fazie wyrobu poprzez dobór materiałów o lepszej charakterystyce środowiskowej. Niemniej polepszenie nawet o 20% charakterystyki środowiskowej w fazie wyrobu (np. poprzez zastosowanie wyrobów z recyklingu) w ogólnym cyklu życia zmieni wynik o ok. 0,2% (czyli niewiele). Oczywiście wykorzystanie wyrobów z recyklingu ma istotny sens w kwestii ograniczenia problemu odpadów – co nie było brane pod uwagę w analizie (a byłoby istotnym elementem LCA).

Uwzględnienie w analizie oddziaływania środowiskowego zagospodarowania odpadów po zakończeniu cyklu życia wyrobu zastosowanego w drodze mogłoby wpłynąć na korzyść rozwiązań „betonowych”.

Znaczna redukcja zanieczyszczeń powietrza (tlenki siarki, tlenki azotu) a w szczególności redukcja zużycia paliw) może zostać osiągnięta poprzez poprawę właściwości fizycznych nawierzchni dróg.

Wykonawca:

mgr inż. Dominik Bekierski

Weryfikacja:

dr inż. Michał Piasecki