

OCENA CYKLU ŻYCIA WYKONANIA I UŻYTKOWANIA NAWIERZCHNI DROGOWYCH

Charlotte Milachowski, Thorsten Stengel i Christoph Gehlen
Centre for Building Materials, Technische Universität München, Germany



1. WSTĘP	3
2. OCENA CYKLU ŻYCIA NAWIERZCHNI DROGOWEJ	4
2.1. OCENA CYKLU ŻYCIA ZGODNIE Z ISO 14040	4
2.2. ZAKRES	4
2.3. ŹRÓDŁO DANYCH I OCENA MATERIAŁÓW W CYKLU ŻYCIOWYM	6
2.4. ZAŁOŻENIA I OGRANICZENIA	6
3. OCENA CYKLU ŻYCIA BUDOWY AUTOSTRAD	7
3.1. ZAKRES BADAŃ	7
3.2. ANALIZA MATERIAŁÓW	8
3.3. OCENA ODDZIAŁYWANIA	10
3.4. OCENA	12
4. OCENA CYKLU ŻYCIA EKSPLOATACJI AUTOSTRAD	13
4.1. ZAKRES BADAŃ	13
4.2. ANALIZA MATERIAŁÓW	15
4.3. OCENA ODDZIAŁYWANIA	16
4.4. OCENA	17
5. WNIOSKI	18
LITERATURA	19

OCENA CYKLU ŻYCIA WYKONANIA I UŻYTKOWANIA NAWIERZCHNI DROGOWYCH

Jakie materiały i techniki wybiera się obecnie w budownictwie drogowym wynika z wymagań konstrukcyjnych i aspektów ekonomicznych. Ze względu na świadomość ekologiczną polityków i społeczeństwa na znaczeniu zyskały również względy ekologiczne. W celu oceny oddziaływania autostrad na środowisko przeprowadzono zgodnie z normą ISO 14040 ocenę cyklu życia (LCA) czterech różnych rodzajów nawierzchni (dwóch nawierzchni betonowych i dwóch asfaltowych). Dzięki analizie różnych scenariuszy budowy, eksploatacji i remontów w okresie użytkowania wynoszącym 30 lat obliczono liczbowy potencjał redukcji oddziaływania na środowisko. Ocena cyklu życia autostrad betonowych dowodzi, że potencjalne oddziaływanie na środowisko zależy wyraźnie od wybranego rodzaju cementu. Analiza autostrad asfaltowych z kolei wykazała, że potencjalne oddziaływanie na środowisko można zmniejszyć przez udoskonalenie produkcji asfaltu. Ponadto, potencjalne oddziaływanie na środowisko można ograniczyć przez zredukowanie czynności transportowych. Analiza remontów różnych rodzajów nawierzchni wykazała, że uzasadnione jest inwestowanie w trwalszą nawierzchnię. O wiele większą redukcję zanieczyszczenia powietrza można osiągnąć poprawiając własności nawierzchni (np. teksturę, sztywność i równość), co znacząco zmniejszy zużycie paliwa przez pojazdy. Z tego względu opracowanie nawierzchni redukującej zużycie paliwa jest ważniejsze niż nawierzchni o mniejszym potencjalnym oddziaływaniu na środowisko w czasie budowy i remontów.

1. WSTĘP

Niniejsza analiza ma na celu liczbowe wyrażenie oddziaływania autostrad na środowisko. Stosując metodologię analizy cyklu życia (LCA) zgodnej z normą ISO 14040 systematycznie przeanalizowano nie tylko konstrukcję nawierzchni, ale także oddziaływanie środowiskowe autostrady obciążonej ruchem oraz wpływ remontów w okresie 30 lat. Uwzględniono wszystkie wartości wejściowe i wyjściowe poszczególnych procesów występujących w produkcji i eksploatacji nawierzchni odcinka autostrady. Obejmują one produkcję materiałów, dostawę energii, wytworzenie koniecznych wyrobów, usługi transportowe oraz zatrudnienie i utylizację poszczególnych produktów.

Określono emisję do atmosfery, wody i gleby, a następnie zaklasyfikowano ją zgodnie z holenderską metodyką CmL do następujących kategorii oddziaływania: potencjału efektu cieplarnianego, potencjału niszczenia warstwy ozonowej, potencjału fotochemicznego tworzenia ozonu oraz potencjału zakwaszania i eutrofizacji. Wykorzystano przy tym szwajcarską bazę danych „econivent”. Procesy nieopisane w bazie danych przeanalizowano i modelowano na podstawie istniejących procesów wcześniejszych. Dane oceniono przy pomocy oprogramowania LCA „SimaPro”. Możliwą redukcję oddziaływania na środowisko określono przez rozważenie różnych scenariuszy.

2. OCENA CYKLU ŻYCIA NAWIERZCHNI DROGOWEJ

2.1. OCENA CYKLU ŻYCIA ZGODNIE Z ISO 14040

Ocena cyklu życia to standardowa metoda stosowana powszechnie do kompleksowego oceniania potencjalnego oddziaływania produktów lub systemów produktów na środowisko. Uwzględnia się w niej wszystkie aspekty środowiskowe cyklu życia produktu (emisję do atmosfery, wody i gleby, odpady, wykorzystanie surowców i zasobów naturalnych). Dzięki takiemu kompleksowemu podejściu unika się błędnej alokacji skutków środowiskowych i zapewnia przegląd potrzebny do możliwej redukcji oddziaływania. Metodę cyklu życia produktu (LCA) opisano w międzynarodowych normach ISO 14040 oraz 14044.

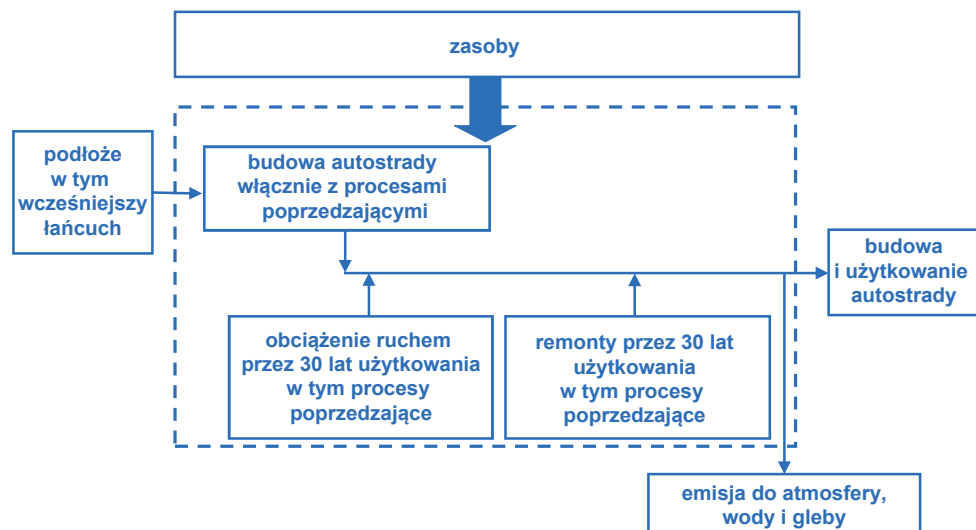
Analiza LCA składa się z czterech wzajemnie na siebie oddziałujących etapów. Na pierwszym etapie definiuje się cel i zakres badań oraz wynikające z nich granice systemu. Na etapie analizy zasobów w systemie uwzględnia się wszystkie odnośne materiały oraz energię na wejściu i wyjściu. Na etapie oceny skutki środowiskowe

składników systemu klasyfikuje się do różnych kategorii oddziaływania. Różne materiały waży się ich szkodliwym potencjałem i sumuje we wskaźnikach łącznego oddziaływania. Na etapie interpretacji oddziaływania analizuje się i ocenia w celu wyciągnięcia wniosków lub sformułowania zaleceń. W niniejszej analizie przedstawiono cykl życia produktu, jakim jest budowa, użytkowanie i remonty odcinka autostrady o długości 1 km.

2.2. ZAKRES

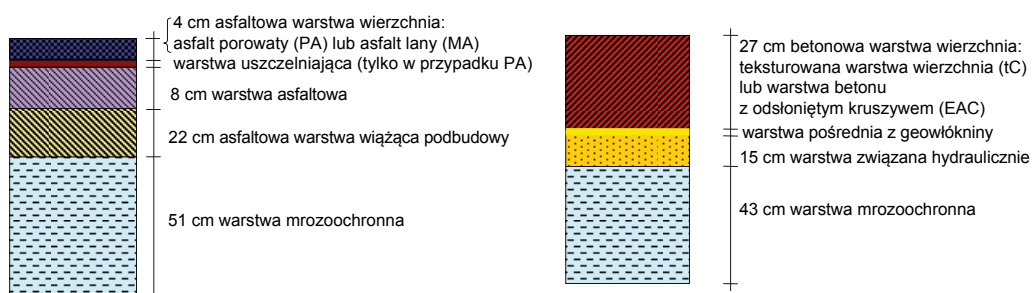
Zakres badania wyznaczają granice systemu oraz jednostka funkcjonalna. W normie ISO 14040 granicę systemu określa się w kontekście przestrzennym. Granice systemu zwykle obejmują cały cykl życiowy produktu, czyli od etapu poprzedzającego wytworzenie (wydobywanie surowców, produkcja części i elementów), przez faktyczny proces produkcji, transport, zastosowanie i utylizację. Rys. 1 przedstawia granice systemu objętego niniejszą analizą (linie kreskowane).

Rys. 1. Granice systemu na potrzeby analizy cyklu życiowego (linie kreskowane). Określenie „procesy poprzedzające” obejmuje wszystkie główne parametry wcześniejszych procesów mogących wywierać oddziaływanie na środowisko (tj. wydobywanie i przetwarzanie surowców, infrastruktura)



Jednostką funkcjonalną w niniejszej analizie był 1 km odcinek dwupasmowej (na każdej z dwóch jezdni) autostrady o łącznej konstrukcji (podbudowy i nawierzchni) wynoszącej 85 cm. Badanymi nawierzchniami betonowymi były konstrukcje z warstwą wierzchnią o odsłoniętym kruszywie oraz z teksturą powierzchni uzyskaną przez szrotkowanie. W badaniach uwzględniono również nawierzchnie z redukującą hałas porowatą warstwą wierzchnią z asfaltu oraz z asfaltem lanym. Analiza nie obejmowała przygotowania podłoża gruntowego (np. zagęszczania gruntu) i prac wykończeniowych (np. malowania znaków poziomych). Rozwiązania odwodnienia (dreny, odwod-

nienia liniowe) pominięto. Nawierzchnia asfaltowa złożona z warstwy ścieralnej, wiążącej i podbudowy bitumicznej leży na warstwie mrozochronnej. Faktyczna struktura zależy od rodzaju warstwy wierzchniej. W przypadku asfaltu porowatego (PA) stosuje się warstwę szczelną, Rys. 2 po lewej. Betonowa autostrada składa się z warstwy mrozochronnej, na niej hydraulicznie związanej podbudowy, pośredniej warstwy geowłókniny i betonowej warstwy wierzchniej. W tym przypadku warstwa betonowa składa się z dwóch odrębnych warstw, przy czym warstwa wierzchnia jest teksturowana (tC) lub ma odsłonięte kruszywo (EAC), Rys. 2 po prawej.

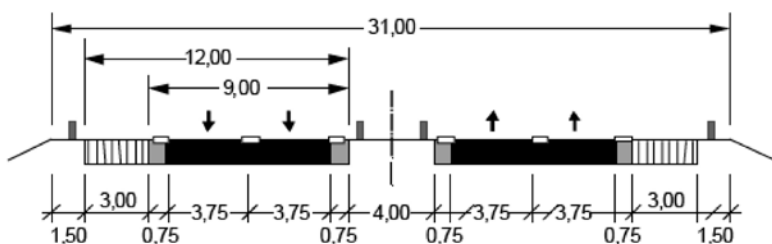


Rys. 2. Schematyczny przekrój analizowanej konstrukcji nawierzchni asfaltowej (po lewej) i betonowej (po prawej) autostrady

Różne metody budowy należy zawsze porównywać w świetle dalszych wymogów technicznych (kosztu, czasu budowy, wymogów w zakresie ochrony przed hałasem itp.). Porowata asfaltowa warstwa wierzchnia to specjalna metoda budowy stosowana tylko w przypadku konieczności ochrony przed hałasem i nie może być uzyskana w żaden inny sposób. Ekranów akustycznych wymaganych przez inne metody budowy w celu uzyskania ciśnień akustycznych porównywalnych z porowa-

tym asfaltem nie uwzględnia się w niniejszej analizie.

Konstrukcję odcinka dwupasmowej autostrady przedstawiono na Rys. 3. Po każdej stronie autostrady występuje szerokie na 1,5 m obrzeże nieuwzględnione w niniejszej analizie. Utwardzone pobocza o szerokości 3,0 m oddzielone są od pasów wewnętrznych opaskami o szerokości 0,75 m, znajdującymi się również obok pasów zewnętrznych.



Rys. 3. Analizowany standardowy przekrój autostrady RQ 31 (FGSV 2008). Wymiary w metrach.

2.3. ŹRÓDŁO DANYCH I OCENA MATERIAŁÓW W CYKLU ŻYCIOWYM

Baza danych „ecoinvent” zawiera już pewną liczbę materiałów, które można było bezpośrednio wykorzystać do analizy zasobów w cyklu życiowym budowy i użytkowania autostrad (np. kruszywo na warstwę mrozoochronną, woda zarobowa do betonu, lepik do asfaltu). Wiele zbiorów danych wymagało dostosowania do analizowanej sytuacji (cement, masa do wypełniania spoin itp.). Ponieważ brakowało danych dotyczących produkcji asfaltu, środków do pielęgnacji i betonu nawierzchniowego, przeanalizowano metody produkcji i przedstawiono je w formie pozwalającej na modelowanie z wykorzystaniem podstawowych modułów dostępnych w ecoinvent (np. zasilanie w energię elektryczną, silniki elektryczne itp.).

2.4. ZAŁOŻENIA I OGRANICZENIA

Ocena cyklu życiowego uwzględnia tylko aspekty środowiskowe, nie społeczne lub ekonomiczne, które muszą być brane pod uwagę przy podejmowaniu decyzji w budownictwie lądowym i wodnym. Ocena cyklu życiowego obejmuje tylko standardowe przypadki, przy czym wybór odpowiedniej i ekologicznej metody budowy często jest silnie uzależniony od uwarunkowań lokalnych. W niektórych okolicznościach potencjalne oddziaływanie na środowisko może być nawet mniejsze niż w standardowych przypadkach.

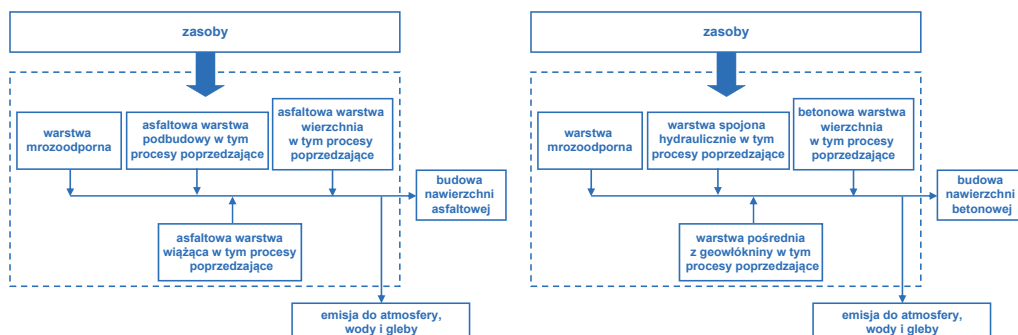


© Fot. L.Rens

3. OCENA CYKLU ŻYCIA BUDOWY AUTOSTRAD

3.1. ZAKRES BADAŃ

Przeanalizowano poszczególne warstwy nawierzchni, włącznie z procesami granicznymi i poprzedzającymi. Granice systemu dotyczące etapu budowy przedstawiono na Rys. 4.



Rys. 4. Granice systemu budowy autostrady (linie kreskowane). Po lewej: nawierzchnia asfaltowa, po prawej: nawierzchnia betonowa

Przeanalizowano różne scenariusze w celu kwantyfikacji potencjału optymalizacji oddziaływania na środowisko możliwego dzięki zastosowaniu różnych materiałów. Zestawienie tych scenariuszy przedstawiono w Tabeli 1.

W scenariuszu A w ogóle nie rozważano wykorzystania materiału z recyklingu. Ustalenie wiarygodnego procentu materiału z recyklingu było niemożliwe, ponieważ informacje o ilościach i zastosowaniach materiału z recyklingu w budownictwie drogowym są bardzo rozbieżne. W celu określenia potencjalnej redukcji oddziaływania na środowisko przez ponowne wykorzystanie materiału budowlanego w scenariuszu B założono, że warstwa mrozochronna składa się w 100% z materiału z recyklingu. Jednak scenariusz B nie jest zgodny z praktyką w terenie ponieważ zupełnie pominięto procesy transportowe na placu budowy. Betonową warstwę wierzchnią w standardowym scenariuszu A wytworzono z użyciem cementu portlandzkiego CEM I 42.5 N. Potencjał optymalizacji przez wykorzystanie cementów wieloskładnikowych kwantyfikowano przez zastąpienie cementu portlandzkiego cementem hutniczym CEM III/A 42.5 R w scenariuszu C. Cement ten stanowi górną granicę zawartości mielonego granulowanego żużla wielkopieczowego w cemencie w niemieckim budownictwie drogowym.

TABELA 1 – PRZEGLĄD PRZEANALIZOWANYCH SCENARIUSZY BUDOWY 1 KM AUTOSTRADY

Konstrukcje asfaltowe: nawierzchnia z wierzchnią warstwą z asfaltu lanego (MA) lub porowatego (PA).

Konstrukcje betonowe: nawierzchnia o powierzchni teksturowanej (tC) lub z betonu z odsłoniętym kruszywem (EAC)

Scenariusz A:
0% materiału z recyklingu we wszystkich warstwach

Scenariusz A:
0% materiału z recyklingu we wszystkich warstwach, CEM I na betonową warstwę

Scenariusz B:
0% materiału z recyklingu w wierzchnich warstwach, 100% materiału z recyklingu na warstwę mrozochronną

Scenariusz B:
0% materiału z recyklingu, CEM I na betonową warstwę wierzchnią, 100% materiału z recyklingu na warstwę mrozochronną

Scenariusz C:
0% materiału z recyklingu we wszystkich warstwach, CEM III na betonową warstwę wierzchnią

3.2. ANALIZA MATERIAŁÓW

Budowa autostrady dzieli się na różne etapy, z których każdy realizowany jest w innym terminie. Prace budowlane uwzględnione w niniejszej analizie rozpoczynają się od ułożenia warstwy mrozoochronnej, po czym nakładane są kolejno następne warstwy. Dla każdej warstwy modelowano konieczne czynności wraz z materiałami i maszynami. Uwzględniono również prace wykończeniowe, takie jak teksturuwanie powierzchni i jej pielęgnację.



© Fot. beton.org

W celu inwentaryzacji środowiskowej określono i zestawiono wszystkie strumienie na wejściu i wyjściu w okresie trwania każdego procesu. Warstwę mrozoochronną modelowano jako mieszankę żwiru i piasku. Uwzględniono wykorzystanie spycharek, maszyn niwelacyjnych i walców wibracyjnych. W scenariuszu B uwzględniono frezarkę na zimno służącą do usuwania starych warstw. W module frezowania na zimno uwzględniono kruszarki wymagane do przetworzenia materiału.

Przeгляд głównych materiałów i maszyn do wytwarzania asfaltowej i betonowej nawierzchni autostrady przedstawiono, odpowiednio, w Tabelach 2 i 3. Łańcuchy procesów określone na podstawie tych informacji opisano w (Milachowski i in., 2010) wraz ze zbiorami wykorzystanych danych oraz rozrzutem wartości.

TABELA 2 – PRZEGLĄD GŁÓWNYCH MATERIAŁÓW I MASZYN DO BUDOWY AUTOSTRADY ASFALTOWEJ

Warstwa	Materiał		Maszyny	
asfaltowa warstwa podbudowy	36,7 kg/m ³ bitumu 2349,0 kg/m ³ kruszywa		2 rozścielacze 4 walce wibracyjne	
asfaltowa warstwa wiążąca	0,3 kg/m ² emulsji bitumicznej 45,9 kg/m ³ polimeroasfaltu (PMB) 2421,0 kg/m ³ kruszywa		5 skrapiarek do bitumu 2 rozścielacze asfaltu 4 walce wibracyjne 1 walec tandemowy	
asfaltowa warstwa ścierna	asfalt lany (MA): 0,3 kg/m ² emulsji bitumicznej 72,5 kg/m ³ bitumu niskiej lepkości 2415,0 kg/m ³ kruszywa 8,0 kg/m ² grysu (materiał rozrzucany)	asfalt porowaty (PA): 2,5 kg/m ² PMB 8,0 kg/m ² asfaltu z grysem 66,3 kg/m ³ PMB 1950,0 kg/m ³ kruszywa 0,15 kg/m ² włókna celulozowego)	asfalt lany (MA): 5 skrapiarek do bitumu 4 kotły do podgrzewania asfaltu lanego 2 rozścielacze	asfalt porowaty (PA): 5 skrapiarek do bitumu 4 rozsypywacze grysu 2 podajniki 2 rozścielacze 4 walce gładkie

TABELA 3 – PRZEGLĄD GŁÓWNYCH MATERIAŁÓW I MASZYN DO BUDOWY AUTOSTRADY BETONOWEJ

Warstwa	Materiał		Maszyny	
zespojona hydraulicznie podbudowa	90,0 kg/m ³ CEM II/B-S 32.5 R 1975 kg/m ³ kruszywa 110,0 l/m ³ wody wodociągowej 1,6 kg/m ² C60 B1 - N		2 rozścielacze 6 walców 5 skrapiarek do bitumu	
warstwa pośrednia	0.5 kg/m ² geowłókniny		--	
betonowa warstwa wierzchnia	beton nawierzchniowy o powierzchni teksturowanej (tC): 3360 m ³ /km betonu warstwy dolnej 1680 m ³ /km betonu warstwy wierzchniej 44,8 t/km stali na dyble i kotwy 9,6 t/km środka pielęgnacyjnego 4,3 t/km masy do spoin	beton z odsłoniętym kruszywem (EAC): 3360 m ³ /km betonu warstwy dolnej 1680 m ³ /km betonu warstwy wierzchniej 44,8 t/km stali na dyble i kotwy 6,0 t/km środka wielofunkcyjnego 4,8 t/km środka pielęgnacyjnego 4,3 t/km masy do spoin	beton nawierzchniowy o powierzchni teksturowanej (tC): 1 układarka do betonowania w deskowaniu przesuwym 1 maszyna do pielęgnacji 2 nacinarki szczelin 3 maszyny do wypełniania szczelin	beton z odsłoniętym kruszywem (EAC): 1 układarka do betonowania w deskowaniu przesuwym 1 maszyna do pielęgnacji 2 maszyny do szrotkowania 2 nacinarki szczelin 3 maszyny do wypełniania szczelin

W scenariuszu A beton do warstwy dolnej mieszano z wykorzystaniem 350 kg/m³ CEM I 42.5 N i 158 l/m³ wody, beton do nawierzchni o teksturowanej powierzchni wytwarzano z 360 kg/m³ cementu i 162 l/m³ wody. Beton nawierzchniowy o odsłoniętym kruszywem zawierał znacznie więcej cementu, w tym przypadku 430 kg/m³, przy założonym wskaźniku w/c 0,42. Wszystkie betony mieszano z dodatkiem napowietrzającym. Uwzględniono surowsze wymagania co do jakości kruszywa w betonie na warstwę wierzchnią. Do produkcji betonu przyjęto przeciętną niemiecką betoniarnię.

Odległość, z jakiej transportowano materiały określono na 50 km, a na podstawie doświadczenia z terenu odległość od betoniarni do placu budowy założono jako 20 km.

Przygotowanie placu budowy uwzględniono tylko w sensie dostarczenia i odwiezienia maszyn budowlanych, przy czym założono odległość 100 km.



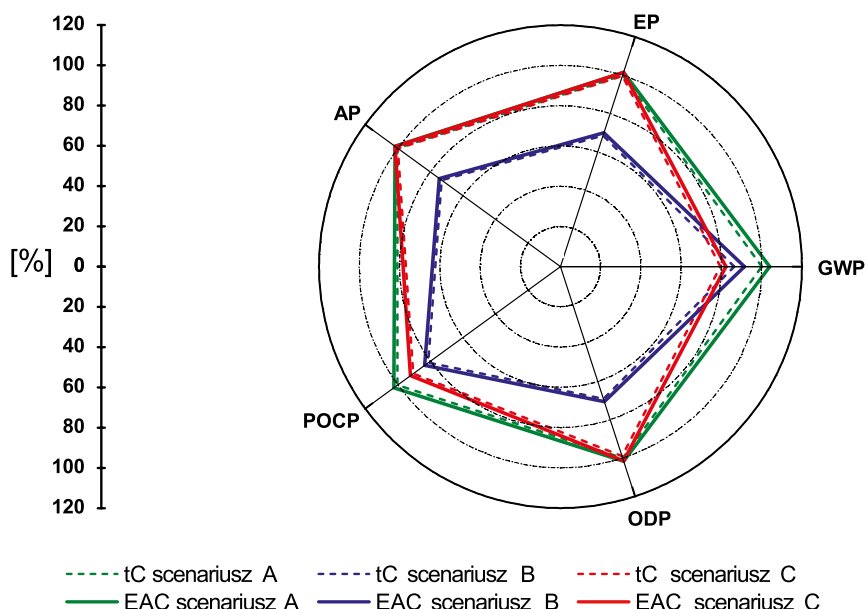
Fot. Charlotte Milachowski

3.3. OCENA ODDZIAŁYWANIA

Wyniki opisujące oddziaływanie środowiskowe budowy autostrady betonowej przedstawiono na wykresie radarowym, Rys. 5. Każda z osi odpowiada jednej z kategorii oddziaływania (patrz rozdział 1). W scenariuszu B wykorzystanie w warstwie mrozoochronnej 100% materiału z odzysku zmniejsza oddziaływanie o od 12 (efekt cieplarniany) do 31% (eutrofizacja) w zależności od kategorii. Wynika to z pominięcia w niniejszym scenariuszu procesów transportowych. Zastąpienie

cementu CEM I cementem CEM III zmniejsza potencjał efektu cieplarnianego o 20% (nawierzchnia z teksturowanego betonu) lub 21% (nawierzchnia z betonu z odsłoniętym kruszywem). W przypadku pozostałych kategorii redukcja jest znacznie mniejsza i mieści się w granicach od 0,1 do 10%. We wszystkich przypadkach beton z odsłoniętym kruszywem nieco silniej oddziałuje na środowisko niż beton teksturowany przy pomocy szczotkowania z powodu większej zawartości cementu w wierzchniej warstwie betonowej. Różnice w pielęgnacji dają efekt nieistotny.

Rys. 5. Wyniki oceny oddziaływania budowy 1 km autostrady betonowej. Zmienne dotyczą teksturowanego betonu w scenariuszu A. (tC = nawierzchnia z teksturowanego betonu; EAC = nawierzchnia z warstwą wierzchnią z betonu z odsłoniętym kruszywem)

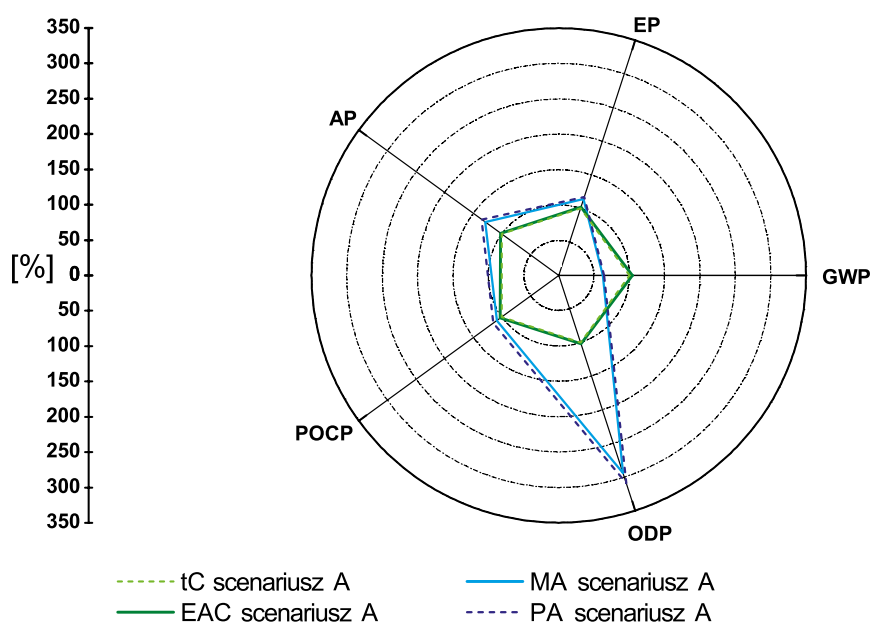


W zależności od kategorii warstwa mrozoochronna zwiększa oddziaływanie na środowisko o od 14 (efekt cieplarniany) do 38% (eutrofizacja). Zwiększenie oddziaływania przez zespoloną hydraulicznie podbudowę wynosi od 14 (efekt cieplarniany) do 23% (niszczenie warstwy ozonowej). Od 0,4% (niszczenie warstwy ozonowej) do 5% (zakwaszenie) pochodzi z geowłókninowej warstwy pośredniej, przy czym wielkości te zależą od metody budowy. Betonowa warstwa wierzchnia odpowiada za od 42 (niszczenie warstwy ozonowej) do 72% (efekt cieplarniany), znów w zależności od metody budowy i kategorii oddziaływania. Tak więc we wszystkich badanych przypadkach największy wkład w potencjalne oddziaływanie na środowisko budowy betonowej autostrady ma

ten sam beton. Analiza dominacji tego materiału dowodzi, że wpływ wody zarobowej i dodatku napowietrzającego na środowisko jest nieistotny. Największy wpływ ma cement portlandzki, który odpowiada za od 70 (eutrofizacja) do 96% (efekt cieplarniany), podczas gdy potencjalne oddziaływanie kruszywa na środowisko wynosi maksymalnie 10%. Inne wpływy są głównie pochodną wymagań dotyczących infrastruktury i procesów transportowych. Chociaż wkład w oddziaływanie zmienia się w zależności od składu betonu, rodzaju i zawartości cementu, największy udział we wszystkich kategoriach ma zawsze cement. Po przeanalizowaniu metod budowy z asfaltu ustalono, że wykorzystanie porowatego asfaltu prowadzi do największego potencjalnego oddziaływania na środo-

wisko w kategoriach niszczenia warstwy ozonowej, fotochemicznego tworzenia ozonu, zakwaszania i eutrofizacji. Wynika to z dużej zawartości spoiwa w asfaltowej warstwie wierzchniej, z kruszywa i dodatkowych środków uszczelniających. Różnice między różnymi metodami budowy są nieistotne w przypadku oddziaływania na środowisko przez fotochemiczne tworzenie ozonu. Wykorzystanie na warstwę mrozochronną wyłącznie materiału z odzysku (scenariusz B) obniża oddziaływanie na środowisko we wszystkich kategoriach o od 10 (niszczenie warstwy ozonowej) do 26% (eutrofizacja). We wszystkich kategoriach za największą część potencjalnego oddziaływania na środowisko odpowiada sam asfalt.

Wkład warstwy mrozochronnej mieści się w zakresie do 11 do 31% w zależności od kategorii, przy czym najwyższy jest w przypadku potencjału eutrofizacji. Zdecydowanie największe potencjalne oddziaływanie ma warstwa podbudowy. Wynosi ono - w zależności od kategorii - od 38 (eutrofizacja) do 57% (niszczenie warstwy ozonowej) i jest wyższe w przypadku konstrukcji z asfaltem lanym ponieważ nie jest konieczne uszczelnianie. Liczba dotycząca warstwy wiążącej mieści się w zakresie do 17 (niszczenie warstwy ozonowej) i 23% (fotochemiczne tworzenie ozonu), w zależności od metody budowy i kategorii. Środki uszczelniające wymagane przy metodzie budowy z asfaltem porowatym dodają od 3 (efekt cieplarniany) do 7%



Rys. 6. Wyniki oceny oddziaływania na środowisko budowy nawierzchni z betonu i asfaltu, scenariusz A. (tC = nawierzchnia z teksturowanego betonu; EAC = nawierzchnia z warstwą wierzchnią z betonu z odsłoniętym kruszywem; MA = nawierzchnia z warstwą wierzchnią z asfaltu lanego, PA = nawierzchnia z warstwą wierzchnią z asfaltu porowatego)

(niszczenie warstwy ozonowej) łącznego potencjalnego oddziaływania na środowisko. Tak więc wkład warstwy wierzchniej mieści się w zakresie od 9 do 14% w zależności od metody budowy i kategorii.

Rys. 6 przedstawia wskaźniki oddziaływania dla budowy autostrady z asfaltu i betonu zgodnie ze scenariuszem A. Poza potencjałem wywoływania efektu cieplarnianego, potencjalne oddziaływanie budowy z betonu na środowisko okazało się niższe niż w przypadku asfaltu. Oddziaływanie metody budowy z betonu w formie wywoływania efektu cieplarnianego jest do 1,66 raza większe niż w przypadku metody budowy z asfaltu. Największy wkład w wywoływanie efektu cieplarnianego ma cement portlandzki na beton nawierzchniowy, portlandzki cement wieloskładnikowy w związanej hydraulicznie podbudowie oraz - około 10% - procesy transportu związane z warstwą mrozochronną. Należy pamiętać, że rozważany asfalt to asfalt porowaty, czyli specjalny asfalt wykorzystywany wyłącznie do spełnienia wymogów dotyczących ochrony przed hałasem, kiedy nie da się ich spełnić innymi metodami.

nianego jest do 1,66 raza większe niż w przypadku metody budowy z asfaltu. Największy wkład w wywoływanie efektu cieplarnianego ma cement portlandzki na beton nawierzchniowy, portlandzki cement wieloskładnikowy w związanej hydraulicznie podbudowie oraz - około 10% - procesy transportu związane z warstwą mrozochronną. Należy pamiętać, że rozważany asfalt to asfalt porowaty, czyli specjalny asfalt wykorzystywany wyłącznie do spełnienia wymogów dotyczących ochrony przed hałasem, kiedy nie da się ich spełnić innymi metodami.

Przegląd potencjalnego oddziaływania budowy 1 km autostrady na środowisko przedstawiono w Tabeli 4.

TABELA 4 – WSKAŹNIKI ODDZIAŁYWANIA NA ŚRODOWISKO BUDOWY 1 KM AUTOSTRADY

	Potencjał efektu cieplarnianego (GWP)	Potencjał niszczenia stratosferycznej warstwy ozonowej (ODP)	Potencjał syntezy fotoutleniaczy (POCP)	Zakwaszenie - potencjał (AP)	Eutrofizacja - potencjał (EP)
	[kg równoważnika CO ₂]	[kg równoważnika CFC-11]	[kg równoważnika C ₂ H ₄]	[kg równoważnika SO ₂]	[kg PO ₄ ³⁻]
MA scenariusz A	1 694 573	0.39	413	8 191	1 232
MA scenariusz B	1 425 044	0.35	346	6 623	919
PA scenariusz A	1 730 430	0.40	431	8 516	1 264
PA scenariusz. B	1 446 198	0.36	361	6 892	940
tC scenariusz A	2 710 311	0.13	380	6 374	1 084
tC scenariusz B	2 339 814	0.09	308	4 644	742
tC scenariusz C	2 153 620	0.13	344	6 343	1 079
EAC scenariusz A	2 821 219	0.13	389	6 478	1 100
EAC scenariusz B	2 474 597	0.09	317	4 748	758
EAC scenariusz C	2 227 417	0.13	350	6 447	1 094

3.4. OCENA

Ze względu na dużą zmienność dostępnych informacji wybrano raczej pesymistyczne wartości opisujące maszyny i paliwo potrzebne do ułożenia mieszanek materiałów w poszczególnych warstwach. Ich wpływ na łączne potencjalne oddziaływanie nawierzchni na środowisko był niewielki, w granicach od 2 (efekt cieplarniany) do maksimum 9% (synteza fotoutleniaczy). Potencjalne oddziaływanie na środowisko wywołują przede wszystkim materiały. Decydujące znaczenie ma zwłaszcza energochłonna produkcja cementu i asfaltu. W scenariuszu A odpowiada ona za około 57 i 66%.

Ocena cyklu życiowego budowy odcinka autostrady wykazała, że wykorzystanie CEM III / A zamiast cementu portlandzkiego może zmniejszyć oddziaływanie na środowisko do 21%. Ogólnie uważa się, że wykorzystano już potencjał dalszej redukcji oddziaływania przez usprawnienia inżynierskie procesu produkcji cementu.

W przeanalizowanych przypadkach wykorzystanie na warstwę mrozochronną materiału w 100% z recyklingu zmniejsza poten-

cjalne oddziaływanie o 10% (niszczenie warstwy ozonowej) do 31% (eutrofizacja). Transport materiałów realizowany jest głównie samochodami ciężarowymi. Poza ogólnym zredukowaniem procesów transportowych, można zmniejszyć oddziaływanie przez częściowe wykorzystanie transportu o mniej niekorzystnym wpływie na środowisko (np. kolejowego). Na niszczenie warstwy ozonowej wpływają bardzo silnie rzeczywiste wymagane procesy transportowe.

W przypadku metody budowy z asfaltu można osiągnąć dalszą redukcję oddziaływania przez inżynierię procesu i optymalizację samego materiału.

Porównanie różnych metod budowy z betonu i asfaltu udowodniło, że mają one podobny wpływ na syntezę fotoutleniaczy i eutrofizację. W przypadku niszczenia warstwy ozonowej metody budowy z asfaltu wywołują potencjalne oddziaływanie środowiskowe o 300% większe niż w przypadku betonu. W odniesieniu do zakwaszenia oddziaływanie jest o 135% większe w przypadku asfaltu. Z kolei potencjalne oddziaływanie metod budowy z betonu w kategorii efektu cieplarnianego wynosi 166% wartości dla metod budowy z asfaltu.

4. OCENA CYKLU ŻYCIA EKSPLOATACJI AUTOSTRAD

4.1. ZAKRES BADAŃ

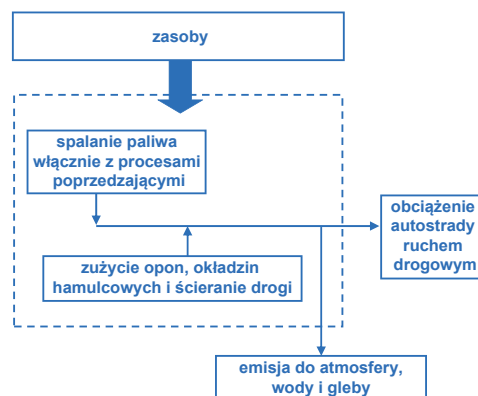
W niniejszych badaniach eksploatacja autostrady obejmuje jej wykorzystanie przez ruch drogowy i prace remontowe. Rozważono okres użytkowania wynoszący 30 lat, w którym uwzględniono prace remontowe na autostradzie oraz typowe warunki ruchu drogowego, czyli scenariusz ruchu o natężeniu 52 tys. pojazdów na dobę (42 tys. samochodów osobowych, 10 tys. ciężarowych). W scenariuszu A przyjęto standardowe zużycie paliwa na poziomie europejskiej średniej 0,286 kg/km oleju napędowego dla samochodów ciężarowych, a dla osobowych 0,0125 kg/km oleju napędowego lub 0,0536 kg/km benzyny (Spielmann i in., 2004).

W Europie ruch drogowy odpowiada za ogromną część łącznej emisji zanieczyszczeń do atmosfery. W celu kwantyfikacji potencjału redukcji oddziaływania ruchu drogowego na środowisko, rozważono nie tylko scenariusz A, ale również 3 dodatkowe.

- Scenariusz B: 0,5% oszczędności paliwa,
- Scenariusz C: 2,0% oszczędności paliwa,
- Scenariusz D: 10,0% oszczędności paliwa w samochodach ciężarowych.

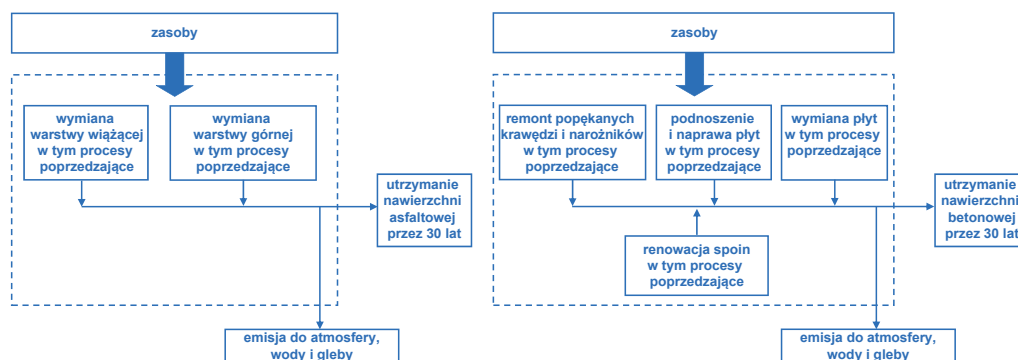
Powyższe dodatkowe scenariusze wynikają z badań literaturowych, z których wynika wyraźny wpływ właściwości nawierzchni na zużycie paliwa. Granice systemu dotyczące scenariuszy ruchu drogowego przedstawiono liniami przerywanymi na Rys. 7. W przypadku pojazdów z silnikiem wysokopiętnym uwzględniono jedynie proces spalania i różne rodzaje tarcia, podczas gdy w przypadku samochodów osobowych - również emisję po uruchomieniu silnika na zimno i parowanie w czasie postoju.

Poza obciążeniem ruchem ulicznym, uwzględniono także zabiegi remontowe w okresie użytkowania. W przypadku metod budowy z asfaltu modelowano wymianę całej górnej warstwy asfaltu. W przypadku metod budowy z betonu uwzględniono utrzymanie spoin, naprawę pokruszonych krawędzi i narożników, podnoszenie i mocowanie płyt oraz wymianę całych płyt. Granice systemu przedstawiono na rysunku 8. Określono i przeanalizowano wszystkie istotne ekologicznie czynniki, w tym wszystkie procesy poprzedzające (wydobycie surowców, transport, produkcję materiałów, produkcję maszyn i ich użycie itp.).



Rys. 7. Granice systemu użytkowania autostrady przez ruch drogowy (linie kreskowane).

Rys. 8. Granice systemu remontów autostrady (linie kreskowane). Po lewej: nawierzchnia asfaltowa, po prawej: nawierzchnia betonowa



Ponieważ prace remontowe zależą od licznych parametrów, których nie da się wyrazić liczbowo w ocenie cyklu życiowego, na podstawie doświadczeń z terenu określono scenariusz minimum remontów (A) oraz maksimum remontów (B). W scenariuszu B spoiny poddawano całkowitej renowacji trzykrotnie w okresie użytkowania. Ponadto podnoszono i naprawiano 3% płyt. Dodatkowe 3% płyt wymieniano. 20% krawędzi i narożników naprawiano

przez wstrzykiwanie żywicy dwuskładnikowej. W przypadku wersji z asfaltem lanym warstwę wiążącą i górną poddano w analizowanym okresie dwukrotnej renowacji. Warstwę górną nawierzchni z porowatym asfaltem odnawiano co siedem lat; warstwę wiążącą wymieniono w analizowanym okresie raz. Przegląd scenariuszy remontów rozważanych w niniejszej analizie przedstawia Tabela 5.

TABELA 5 – PRZEGLĄD SCENARIUSZY REMONTU 1 KM AUTOSTRADY

Konstrukcje asfaltowe		Konstrukcje betonowe
Nawierzchnia z warstwą wierzchnią z asfaltu lanego (MA)	Nawierzchnia z warstwą wierzchnią z asfaltu porowatego (PA)	Nawierzchnia o powierzchni z teksturowanego betonu (tC) lub z warstwą górną z betonu z odsłoniętym kruszywem (EAC)
Scenariusz A: 2-krotna wymiana warstwy ścieralnej 1 wymiana warstwy wiążącej	Scenariusz A: 3-krotna wymiana warstwy ścieralnej 1 wymiana warstwy wiążącej	Scenariusz A: 2-krotna pełna renowacja spoin naprawa 5% popękanych krawędzi i narożników podnoszenie i naprawa 1% płyt
Scenariusz B: 2-krotna wymiana warstwy ścieralnej 2-krotna wymiana warstwy wiążącej	Scenariusz B: 4,3-krotna wymiana warstwy ścieralnej 1 wymiana warstwy wiążącej	Scenariusz B: 3-krotna pełna renowacja spoin naprawa 20% popękanych krawędzi i narożników podnoszenie i naprawa 3% płyt

4.2. ANALIZA MATERIAŁÓW

Przy użyciu bazy danych ecoinvent określono i modelowano wszystkie istotne środowiskowo dane procesów związanych z użytkowaniem odcinka autostrady.

W celu modelowania obciążenia ruchem drogowym, dostosowano (umweltbundesamt, 2009) - na ile było to możliwe - pracę (Spielmann 2004) do obecnej sytuacji w Niemczech. Struktura samochodów ciężarowych przedstawiała się następująco: 40% o masie całkowitej od 3,5 do 20 t, 31% o masie od 20 do 28 t oraz 29% o masie od 28 do 40 t. Dla wszystkich rodzajów pojazdów założono użytkowanie pojazdu w 50%. W analizie cyklu życiowego nie uwzględniono produkcji i obsługi pojazdów. Jednak w wynikach uwzględniono

emisję pyłu z opon, okładzin hamulcowych oraz ścieranie nawierzchni.

W przypadku metod budowy z asfaltu usuwanie starych warstw jest realizowana przez frezowanie na zimno (45 t, 647 kW). Sfrezowaną powierzchnię czyści się maszyną szczotkującą i spryskuje lepikiem. W niniejszej analizie założono naniesienie 0,3 kg/m² niestabilnej kationowej emulsji bitumicznej. Nowe warstwy ułożono w ten sam sposób jak przy pierwotnej budowie.

W sumie do remontu nawierzchni betonowej zastosowano te same materiały, co do jej budowy. Szczegółowy opis materiałów i maszyn uwzględnionych w ocenie zawiera (Milachowski i in., 2010). W tabeli poniżej wymieniono tylko parę najważniejszych parametrów wejściowych.



© Fot. L.Rens

TABELA 6 – PRZEGLĄD GŁÓWNYCH MATERIAŁÓW I MASZYN DO REMONTU AUTOSTRADY BETONOWEJ

Warstwa	Materiał	Maszyny
1x renowacja spoin	4,3 t/km masy do spoin	mała ładowarka, sprężarki, maszyny szczotkujące i kocioł do podgrzewania lepiku
remont 1% popękanych krawędzi i narożników	0,4 kg/m ² kleju 1,15 kg/m ³ żywicy dwuskładnikowej	młot pneumatyczny, śrutownica, mała sprężarka i mieszalnik
podnoszenie i naprawa 1% płyt	2,95 m ³ /km zaprawy do uzupełniania ubytków	sprężarka, wiertarka, pompa do betonu i walec wibracyjny
wymiana 1% płyt	Beton nawierzchniowy: 56,7 m ³ /km betonu o wysokiej wytrzymałości wczesnej 0,45 t/km stali 0,11 t/km środka pielęgnacyjnego	Beton z odsłoniętym kruszywem: Takie same materiały jak na etapie budowy
		Beton nawierzchniowy: piła do betonu, wiertarka, podnośnik, maszyna do dybli i kotew, wibrator pograżalny, wygładzarka Beton z odsłoniętym kruszywem: dodatkowo jedna maszyna szczotkująca

Zestaw maszyn budowlanych wykorzystywanych do remontu autostrady opiera się na informacjach otrzymanych od firm oraz zaleceniach z listy sprzętu budowlanego publikowanej przez Konfederację Niemieckiego Przemysłu Budowlanego.

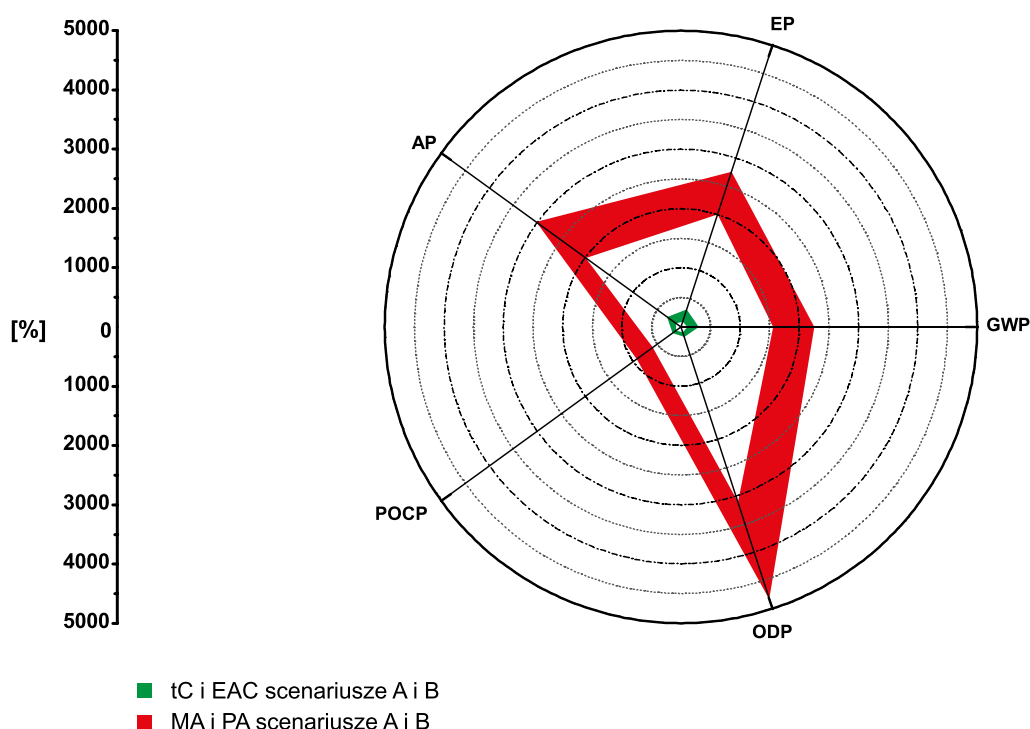
Przyjęto 50 km jako odległość transportu starych materiałów z placu budowy i nowych na plac. Przez analogię do procesu budowy, w zakresie przygotowania placu budowy uwzględniono tylko dostawę i odwiezienie maszyn budowlanych.

4.3. OCENA ODDZIAŁYWANIA

Wyniki analizy remontów nawierzchni asfaltowych i betonowych w okresie użytkowania wynoszącym 30 lat przedstawiono na Rys. 9. We wszystkich kategoriach oddziaływania czynności remontowych oddziaływanie nawierzchni betonowej na środowisko jest znacznie mniejsze, niż asfaltowej.

Założone obciążenie ruchem wynoszące 42 tys. samochodów osobowych i 10 tys. ciężarowych dziennie oddziałuje na śro-

Rys. 9. Obwiednie wyników oceny oddziaływania remontu 1 km autostrady: metody budowy z asfaltu i betonu.
(tC = nawierzchnia o teksturowanej powierzchni betonowej; EAC = nawierzchnia z warstwą górną z betonu z odsłoniętym kruszywem (EAC)
MA = nawierzchnia z wierzchnią warstwą z asfaltu lanego, PA = nawierzchnia z wierzchnią warstwą z asfaltu porowatego



dowisko do 5 tys. razy bardziej niż remont nawierzchni. Potencjalne oddziaływania

na środowisko 1 km autostrady przedstawiono w Tabeli 7.

TABELA 7 – WSKAŹNIKI ODDZIAŁYWANIA NA ŚRODOWISKO REMONTU I UŻYTKOWANIA 1 KM AUTOSTRADY PRZEZ RUCH ULICZNY

	Efekt cieplarniany potencjał (GWP)	Niszczenie warstwy ozonowej stratosfery potencjał (ODP)	Fotoutleniacze - synteza potencjał (POCP)	Zakwaszenie potencjał (AP)	Eutrofizacja potencjał (EP)
	[kg CO ₂ -eq.]	[kg CFC-11-eq.]	[kg C ₂ H ₄ -eq.]	[kg SO ₂ -eq.]	[kg PO ₄ ³⁻ -eq.]
MA scenariusz A	944 116	0.21	272	5 249	723
MA scenariusz B	1 230 617	0.27	352	6 808	943
PA scenariusz A	1 048 154	0.24	316	6 028	764
PA scenariusz B	1 363 116	0.33	423	7 986	3 718
tC scenariusz A	60 520	0.01	46	265	36
tC scenariusz B	170 920	0.01	81	742	110
EAC scenariusz A	63 971	0.01	46	270	37
EAC scenariusz B	181 274	0.01	82	756	113
Scenariusz ruchu A	230 904 557	29.84	167 980	1 066 521	202 078
Scenariusz ruchu B	229 750 034	29.69	167 140	1 061 189	201 067
Scenariusz ruchu C	226 286 466	29.24	164 620	1 045 191	198 036
Scenariusz ruchu D	220 146 604	28.30	166 410	1 008 952	189 865

4.4. OCENA

Potencjalne zmniejszenie oddziaływania czynności remontowych w scenariuszu A (minimum remontów) w porównaniu ze scenariuszem B (maksimum remontów) mieści się w zakresie od 20 do 60% w zależności od kategorii oddziaływania. W przypadku efektu cieplarnianego oznacza to redukcję o od 110 do 370 ton równoważnika CO₂. Optymalizacja potencjalnego oddziaływania na środowisko remontów autostrad betonowych wynika głównie z trwałości wypełnień spoin. Przez ograniczenie procesów transportowych można istotnie zmniejszyć potencjalne oddziaływanie na środowisko wszystkich rodzajów konstrukcji nawierzchni. Możliwość redukcji oddziaływania daje również optymalizacja materiałów budowlanych i ich precyzyjne stosowanie. Mieszane metody budowy mogłyby pozwolić bardziej efektywnie wykorzystać szanse stwarzane przez różne rodzaje materiałów. Na przykład w konstrukcji z asfaltem na betonie, beton zapewnia ogólną trwałość nawierzchni,

podczas gdy asfalt - pozytywny wpływ na zmniejszenie hałasu.

W przypadku metod budowy z betonu, remonty nawierzchni autostrady w okresie użytkowania trwającym 30 lat prowadzą do znacznie mniejszego niż w przypadku nawierzchni asfaltowej potencjalnego oddziaływania na środowisko we wszystkich kategoriach. Tym samym inwestycja w trwałą konstrukcję autostrady zwraca się na etapie użytkowania.

Największą redukcję potencjalnego oddziaływania zapewnia obniżenie zużycia paliwa, ponieważ tutaj oddziaływanie wynika głównie ze spalania paliwa kopalnego. Zużycie paliwa zależy od wielu czynników. W przeszłości prowadzono wiele badań nad wpływem nawierzchni drogowej (opór toczenia, równość, sztywność) na zużycie paliwa. Takie cechy nawierzchni jak tekstura, nierówności (tekstura w skali mikro i makro) oraz sztywność nawierzchni pozwalają zredukować zużycie paliwa o od 5 do 20%. Zatem potencjał optymalizacyjny występuje zarówno w konstrukcji nawierzchni jak i w produkcji samochodów oraz opon.

5. WNIOSKI

Porównanie oddziaływania na środowisko nawierzchni betonowych i asfaltowych stosowanych w budowie autostrad oraz ich remontach dowodzi, że podobnie wpływają one na efekt cieplarniany. W przypadku niszczenia warstwy ozonowej nawierzchnia z asfaltu wywołuje potencjalne oddziaływanie środowiskowe o 430% większe niż w przypadku betonu. W odniesieniu do syntezy fotoutleniaczy, zakwaszania i eutrofizacji oddziaływanie jest między 160% a 220% większe w przypadku asfaltu. Niniejsza analiza dowodzi możliwości redukcji oddziaływania środowiskowego spowodowanego budową autostrad, ich wykorzystywaniem przez ruch drogowy i remontami. Potencjalne oddziaływanie na środowisko można zmniejszyć przez optymalizację produkcji materiałów budowlanych. W przypadku betonowych autostrad, zmniejszenie zawartości klinkieru w cemencie ograniczyłoby oddziaływanie na środowisko o 21%; w przypadku autostrad asfaltowych wykorzystanie paliw drugiej generacji oraz zwiększone ponowne wykorzystanie odzyskanego asfaltu również zredukowałoby oddziaływanie na środowisko. Ocena okresu użytkowania wynoszącego 30 lat dowodzi, że trwałe metody budowy oraz drogi o niskim zapotrzebowaniu na remonty mają znaczącą przewagę. Potencjalne oddziaływanie na

środowisko spowodowane obciążeniem ruchem drogowym jest stukrotnie większe niż wynikające z budowy i remontów łącznie - tu możliwa jest największa i najsukuczniejsza redukcja. W licznych badaniach wykazano już wpływ struktury powierzchni nawierzchni na zużycie paliwa. Obniżenie zużycia paliwa o około 10% można by osiągnąć przez poprawę tekstury powierzchni nawierzchni lub jej równości oraz dzięki sztywności nawierzchni. Dalsze badania i czynności dotyczące optymalizacji nawierzchni doprowadziłyby do skuteczniejszej redukcji oddziaływania środowiskowego dróg. Zmniejszenie zużycia paliwa o 0,5% w okresie użytkowania wynoszącym 30 lat na 1 km odcinku autostrady oznaczałoby ograniczenie emisji CO₂ o 1 154 t równoważnika CO₂. Redukcja zużycia paliwa o 2% doprowadziłaby do redukcji emisji CO₂ (efektu cieplarnianego) znacznie większej niż oddziaływanie budowy i remontu autostrady łącznie. Zmniejszenie o 10% zużycia paliwa przez same tylko samochody ciężarowe pozwoliłoby zaoszczędzić 10 760 ton równoważnika CO₂. Tym samym metody budowy mające na celu obniżenie zużycia paliwa są o wiele bardziej efektywne ekologicznie niż metody budowy zorientowane na niskie oddziaływanie w okresie budowy i eksploatacji.



© Fot. A. Nullens

- DESCORNET, G.: "Road Surface Influence on Tire Rolling Resistance. Surface Characteristics of Roadways:" International Research and Technologies, ASTM STP 1031, p. 401-415, Philadelphia, 1990
- ISO 14040 (2006): Examples of environmental performance evaluation LCA (Life Cycle Assessment)
- ISO 14044 (2006): Environmental management – Life cycle assessment – Requirements and guidelines
- FORSCHUNGSGESELLSCHAFT FÜR STRASSEN- UND VERKEHRSWESEN FGSV (2009): Richtlinien für die Anlage von Autobahnen (RAA); Ausgabe 2008 (German)
<http://www.ecoinvent.ch>. 2009
- KELLENBERGER D., ALTHAUS H.-J.; KÜNNIGER T. (2004): "Building Products Part III: Concrete Products and Processes". ecoinvent report No. 7, Swiss Centre for Life Cycle Inventories, Dübendorf
- KELLENBERGER, D.; ALTHAUS, H.-J.; WERNER F. (2004): "Building Products Part XVIII: Additional Products and Processes". ecoinvent report No. 7, Swiss Centre for Life Cycle Inventories, Dübendorf
- LAGANIER, R.; LUCAS, J. (1990): "The Influence of Pavement Evenness and Macrotecture on Fuel Consumption." Surface Characteristics of Roadways: International Research and Technologies, ASTM STP 1031, p. 454-459, Philadelphia
- LARSSON, R.; ANDERSSON, R. (2004): "Benefit of Reduced Fuel Consumption". Economic and Environmental Perspectives – A Novel Approach, 9th International Symposium on Concrete Roads, Istanbul
- LUNDSTRÖM, K.; FINNSEMMENTI, O. (2003): "Environmental Impact of Concrete and Asphalt Pavements". 8th International Symposium on Concrete Roads, Lissabon
- MILACHOWSKI, C.; STENGEL T.; LOWKE D.; GEHLEN C. (2010) „Erstellung einer Ökobilanz für die Herstellung und Nutzung eines Autobahnabschnitts“. Forschungsbericht 20-F-0068, TU München, München
- NRC-CSTT (2000): „Effect of Pavement Surface Type on Fuel Consumption – Phase 2: Seasonal Test“, CSTT-HWV-CTR-041, National Research Council of Canada – Centre for Surface Transportation Technology, Ottawa
- PANTAROLLO, G.; SMITH, T. (2001): "A life-cycle analysis of the environmental impacts of asphalt and concrete roads". IRF World Road Congress, Paris
- SLAVIK, M.; PERRIE, B.D.; STRAUSS, P.J. (2004): "Life Costing and Reliability Concepts in Concrete Pavement Design: The South African Approach", 9th International Symposium on Concrete Roads, Istanbul
- SPIELMANN M.; KÄGI T., STADLE P., TIETJE O. (2004): "Life Cycle Inventory of Transport Services". ecoinvent report No. 14, Swiss Centre for Life Cycle Inventories, Dübendorf
- UMWELTBUNDESAMT (2009): „Nationale Trendtabellen für die deutsche Berichterstattung atmosphärischer Emissionen, Emissionsentwicklung 1990-2007 (Endstand 20.02.2009)“, www.umweltbundesamt.de/emissionen/publikationen.htm
- ZANIEWSKI, J. (1989): "Effect of Pavement Surface Type on Fuel Consumption". SR289.01P Portland Cement Association, Skokie

Wydawca:

EUPAVE
European Concrete Paving Association
Vorstlaan 68 Boulevard du Souverain
1170 Brussels
T +32 2 790 42 06, F +32 2 640 06 70
info@eupave.eu, www.eupave.eu

**Wydawca polskiej
wersji językowej:**

Stowarzyszenie Producentów Cementu
30-003 Kraków, ul. Lubelska 29
T +48 12 423 33 55, F +48-12) 423 33 45
biuro@polskicement.pl, www.polskicement.pl

Autorzy:

Charlotte Milachowski,
Thorsten Stengel,
Christoph Gehlen
Centre for Building Materials,
Technische Universität München,
Germany

lipiec 2011

Dyrektor Zarządzający
EUPAVE Luc Rens wręcza
"Nagrodę za najlepszy
referat marketingowy"
p. Charlotte Milachowskiej.

© Fot: EUPAVE



Analiza przedstawiona w niniejszym dokumencie została zlecona przez niemiecką organizację marketingu betonu "Betonmarketing Deutschland GmbH – Erkrath, DE – www.beton.org" Centrum Materiałów Budowlanych, Technische Universität München, Niemcy.

EUPAVE pragnie podziękować obydwu instytucjom za zgodę na przedruk referatu z badań w niniejszej broszurze.

P. Charlotte Milachowski przedstawiła analizę w referacie i w formie prezentacji podczas 11 Międzynarodowego Sympozjum Dróg Betonowych zorganizowanego w Sewilli w Hiszpanii w dniach 13-15 października 2010 r. Za tę niezwykłą zasługę otrzymała "NAGRODĘ ZA NAJLEPSZY REFERAT MARKETINGOWY".