

Przewodnik po podstawowych zasadach analizy kosztu cyklu eksploatacji (LCCA) nawierzchni



SPIS TREŚCI

Słowo wstępne	3
1 - Zakres	4
2 - Wstęp	5
1. Analiza kosztu cyklu eksploatacji – informacje ogólne	5
2. Podejścia	5
3. Wskaźnik wartości ekonomicznej do LCCA	6
4. Kosztorysy i stopy dyskonta do LCCA	7
3 - Standardowa procedura LCCA	9
1. Określenie alternatywnych strategii projektowania nawierzchni i wybór okresu analizy	9
2. Ustalenie żywotności i terminów robót	11
3. Wybór stopy dyskonta	11
4. Oszacowanie kosztów zarządcy	13
5. Oszacowanie kosztów użytkowników	15
6. Opracowanie schematów przepływów pieniężnych	19
7. Obliczenie wartości bieżącej netto (NPV)	20
8. Analiza wyników i analiza wrażliwości	22
9. Ponowna ocena strategii projektowania	25
4 - Szczególne zagadnienia LCCA	26
1. Uwzględnienie w LCCA wskaźników inflacji specyficznych dla materiałów	26
2. Podejście probabilistyczne – streszczenie [praca 2]	27
3. Metody postępowania z nierównymi żywotnościami	28
5 – Przykłady LCCA	29
Informacje ogólne	29
Przykład 1 droga lokalna	30
Przykład 1a obliczenie npv w podejściu deterministycznym [zaczepnięte z pracy 2]	30
Przykład 1b obliczenie npv w nieskończonym horyzoncie – podejście deterministyczne	36
Przykład 2 modernizacja dwujezdniowej autostrady: obwodnica R1 Antwerpii w Belgii [praca 4]	38
6 - Bibliografia	46
Załącznik	48

SŁOWO WSTĘPNE

Prezesa EUPAVE, Stephane'a Nicouda

Dyrektywy UE w sprawie zamówień publicznych i udzielania koncesji¹ obowiązujące od 18 kwietnia 2016 wprowadzają zasady udzielania przez instytucje zamawiające zamówień publicznych oraz konkursów projektowych o szacunkowej wartości nie niższej od pewnych progów. Niewątpliwie wpływają tym samym na sposób, w jaki ponad 250 tys. organów publicznych krajów UE co roku wydaje w Europie w ramach przetargów publicznych większość z około 1,9 biliona euro stanowiących około 18% PKB Unii.

Jednym z celów tego prawodawstwa jest to, by oferty oceniano na podstawie najlepszego wskaźnika cena/jakość, gdzie cenę lub koszt rozpatruje się z punktu widzenia efektywności kosztowej, na przykład przez oszacowanie kosztu w cyklu eksploatacji.

Niestety obecnie w Europie rzadko stosuje się kosztorysowanie w cyklu eksploatacji przy zamówieniach na infrastrukturę transportową, mimo oszczędności, jakie może to zapewnić w całym cyklu eksploatacji elementu infrastruktury, jakim jest droga. Skupiając się przy ocenie ofert na pierwotnym koszcie budowy, co ma często miejsce, władze tracą oszczędności kosztowe, jakie mogłyby zapewnić trwałe rozwiązania o niższych kosztach utrzymania. Nowe dyrektywy umożliwiają państwom członkowskim zaktualizowanie zasad udzielania zamówień i tym samym oszczędzenie pieniędzy podatników, z jednoczesną korzyścią dla środowiska naturalnego. Udowodniono ponadto, że promowanie zdrowej konkurencji w otwartych procedurach przetargowych obniża koszty ponoszone przez władze publiczne.

Misją EUPAVE jest doradztwo polegające na przekazywaniu doświadczenia technicznego i specjalistycznej wiedzy swoim członkom oraz wszystkim instytucjom zamawiającym w Unii Europejskiej, które pragną kierować się efektywnością kosztową w celu budowy bardziej optymalnej i zrównoważonej infrastruktury.

Z tych właśnie powodów EUPAVE postanowiło opracować niniejszy podręcznik analizy kosztu w cyklu eksploatacji (LCCA) nawierzchni, prezentujący ogólnie podejście i dobre praktyki prowadzenia takiej analizy.

Szczególne podziękowania składa się Manu Diependaele'owi, konsultantowi w zakresie LCCA oraz autorowi niniejszej publikacji, który przeanalizował i zgromadził kompleksowy zbiór informacji oraz dokumentów odniesienia, a następnie stworzył na jego podstawie nowy, zrozumiały i zwięzły europejski podręcznik wyjaśniający zasady i procedury, których należy przestrzegać. Ponadto chętnie posłuży on zainteresowanym instytucjom drogowym dalszą pomocą i poradami.

W imieniu EUPAVE pragnę również podziękować naszym amerykańskim kolegom z ACPA (Amerykańskie Stowarzyszenie ds. Nawierzchni Betonowych) oraz FHWA (Federalnego Urzędu Autostrad) za podzielenie się z nami bogatym doświadczeniem z LCCA oraz za wartościowe wytyczne zawarte w dobrze opisanych i zilustrowanych instrukcjach.

Mam nadzieję, że zapoznanie się z niniejszym podręcznikiem będzie dla Państwa przyjemne i pozwoli wykorzystać zawartą w nim wiedzę w przyszłych decyzjach inwestycyjnych.



¹ Dyrektywa Parlamentu Europejskiego i Rady 2014/24/UE z dnia 26 lutego 2014 r. w sprawie zamówień publicznych, uchylająca dyrektywę 2004/18/WE; Dyrektywa Parlamentu Europejskiego i Rady 2014/25/UE z dnia 26 lutego 2014 r. w sprawie udzielania zamówień przez podmioty działające w sektorach gospodarki wodnej, energetyki, transportu i usług pocztowych, uchylająca dyrektywę 2004/17/WE; Dyrektywa Parlamentu Europejskiego i Rady 2014/23/UE z dnia 26 lutego 2014 r. w sprawie udzielania koncesji

1 - ZAKRES

Na całym świecie dostępnych jest wiele publikacji opisujących LCCA na różnych poziomach szczegółowości.

Stosowane są w nich te same fundamentalne zasady oraz szeroko przyjęta procedura przeprowadzania analizy LCCA. Owe zasady i procedurę stosuje się do każdego rodzaju obiektu. Celem niniejszej publikacji jest podkreślenie najważniejszych zasad i procedury w dziedzinie nawierzchni, niezależnie od rodzaju stosowanych na nią materiałów, instytucji drogowej czy kraju.

Należy rozróżnić dwa podejścia do przeprowadzania LCCA, a mianowicie:

- podejście deterministyczne
- podejście probabilistyczne (zwane także podejściem analizy ryzyka).

Ponadto występują dwa główne rodzaje kosztów:

- koszty zarządcy
- koszty użytkowników.

W niniejszej publikacji:

- Szczegółowo opisane zostanie podejście deterministyczne, natomiast zasady podejścia probabilistycznego zostaną wspomniane jedynie pokrótce.
- Podobnie szczegółowo omówione zostaną, zarówno teoretycznie jak i na przykładach, koszty zarządcy (pierwotne i przyszłe), podczas gdy koszty użytkowników będą opisane jedynie ogólnie i teoretycznie.

W niniejszej publikacji poziom szczegółowości, zarówno podejścia deterministycznego jak i kosztów zarządcy, wybrano tak, aby umożliwić on każdemu specjalście przeprowadzenie LCCA w arkuszu Excel zgodnie ze standardową procedurą LCCA opisaną w niniejszej publikacji EUPAVE. Do bardziej zaawansowanych zastosowań procedury z uwzględnieniem analizy kosztów użytkowników lub ryzyka odpowiednie lub konieczne jest specjalistyczne oprogramowanie dostępne w handlu.

To specjalistyczne oprogramowanie jest w niniejszej publikacji podane.

Niniejsza publikacja uporządkowana jest następująco:

- Rozdział 1 Zakres
- Rozdział 2 Wstęp
- Rozdział 3 Standardowa procedura LCCA
- Rozdział 4 Zagadnienia szczególne
- Rozdział 5 Przykłady LCCA
- Rozdział 6 Bibliografia

Ze względu na zwięzły charakter niniejszej publikacji wzory stosowane w procedurze LCCA zostaną wyjaśnione tylko w zakresie koniecznym do zrozumienia tej procedury.

Główne prace wykorzystane do przygotowania niniejszej publikacji wymieniono w Rozdziale 6. W tekście prace te wzmiankowano tylko wtedy uznano to za stosowne lub kiedy z danej pracy dosłownie cytowany jest fragment.

Samą opisaną w niniejszej publikacji procedurę LCCA zaczerpnięto głównie z pracy nr 1 i do pewnego stopnia z pracy nr 2. W odpowiednich sytuacjach z prac tych wykorzystano również tabele lub wykresy.

2 - WSTĘP

1. ANALIZA KOSZTU CYKLU EKSPLOATACJI - INFORMACJE OGÓLNE

Analiza kosztu cyklu eksploatacji (LCCA) – Definicja

LCCA (Life Cycle Cost Analysis) to technika analizy oparta na ugruntowanych zasadach ekonomicznych, a wykorzystywana do oceny długoterminowej ekonomicznej efektywności konkurencyjnych, alternatywnych możliwości inwestycyjnych. LCCA można stosować do różnych rodzajów składników majątkowych oraz na wielu poziomach decyzji inwestycyjnych. Analizę LCCA nawierzchni zwykle przeprowadza się, aby porównać jej konkurencyjne projekty w wyznaczonym okresie analizy, z uwzględnieniem wszystkich istotnych kosztów obecnych i przyszłych (zarządcy, użytkowników i inne stosowne koszty) w okresie użytkowania nawierzchni wyrażanych w wartości bieżącej.

Ponieważ nawierzchnię dużej części sieci dróg utwardzonych wykonano albo z asfaltu, albo z betonu, wiele publikacji koncentruje się na analizach LCCA tych dwóch alternatywnych rodzajów nawierzchni i ich późniejszym porównaniu. Jednak analizę LCCA można równie dobrze przeprowadzić w celu oceny i porównania wartości ekonomicznej alternatywnych projektów tego samego rodzaju nawierzchni.

Cel i znaczenie wyników analizy LCCA

Zasadniczym celem analizy LCCA nawierzchni jest określenie strategii projektowej, która zaowocuje najwyższą wartością inwestycji przez ustalenie długoterminowego kosztu zapewnienia oczekiwanych parametrów wybranego rodzaju nawierzchni. Jednak wyników analizy LCCA nie należy interpretować w sposób bezwzględny. Wyniki te nie są same w sobie decyzją, a jedynie pożytecznym narzędziem pomagającym w jej podejmowaniu. Sama analityczna ocena analizy LCCA jest często nie mniej ważna niż wyniki LCCA.

Wpływ parametrów wejściowych

Relatywny wpływ poszczególnych czynników LCCA na wyniki tej analizy może być poważny, niewielki lub nawet nieistotny. Poziom szczegółowości uwzględniony w analizie LCCA powinien być zgodny z poziomem, na którym podejmuje się rozważaną decyzję inwestycyjną. Na przykład niewielkie różnice w kosztach przyszłych mają marginalny wpływ na zdyskontowaną wartość bieżącą. Uwzględnianie tych czynników niepotrzebnie komplikuje analizę, a nie zapewnia wymiernej poprawy jej wyników. Dlatego często bezproduktywne jest uwzględnianie wszystkich czynników w każdej analizie. Przy prowadzeniu analizy LCCA analitycy powinni ocenić wszystkie czynniki pod kątem ich uwzględnienia i wyjaśnić powody wyeliminowania niektórych. Takie wyjaśnienie pozwala łatwiej obronić wyniki analizy, kiedy są one sprawdzane przez krytyków niezadowolonych z jej rezultatu.

2. PODEJŚCIA

Możliwe są dwa podejścia do przeprowadzenia analizy LCCA: deterministyczne albo probabilistyczne.

- Deterministyczne podejście do analizy LCCA jest tradycyjne i najprostsze przez to, że procedurę i techniki stosuje się bez uwzględniania zmienności parametrów wejściowych. Parametry wejściowe wprowadza się jako wartości dyskretne. Jest to jednocześnie główna wada tego podejścia.
- Podejście probabilistyczne (zwane także podejściem analizy ryzyka) wykorzystuje te same podstawowe kroki proceduralne, ale charakteryzuje się w nim również niepewność, bo wszystkie istotne parametry wejściowe mogą się jednocześnie zmieniać.

Obecnie głównie stosuje się podejście deterministyczne. Jednak zaleca się podejście analizy ryzyka, ponieważ jego stosowanie umożliwiły techniki symulacji komputerowej, a jednocześnie lepiej odzwierciedla ono rzeczywistość, w której parametry wejściowe są zmienne.

3. WSKAŹNIK WARTOŚCI EKONOMICZNEJ DO LCCA

Alternatywy rozważane w analizie LCCA porównuje się z wykorzystaniem wspólnej miary wartości ekonomicznej. Wartość ekonomiczną inwestycji można wyrazić na różne sposoby. W praktyce analiz LCCA nawierzchni alternatywne inwestycje najczęściej porównuje się przez odniesienie do wartości bieżącej netto (NPV) lub równoważnego jednolitego kosztu rocznego (EUAC).

Czasem rozważa się współczynnik korzyść/koszt (B/C), czyli zdyskontowane korzyści netto danej alternatywy podzielone przez jej zdyskontowany koszt netto.

Wartość bieżąca netto (Net Present Value – NPV) to zdyskontowana pieniężna wartość bieżąca przyszłych przepływów pieniężnych, czyli kosztów (np. kosztów utrzymania lub konserwacji) pomniejszonych o przyszłe korzyści (np. wartość końcową).

Dyskontowanie kosztów i korzyści zamienia wydatki pieniężne (koszty) i wpływy pieniężne (korzyści) występujące w różnych przyszłych okresach na ich bieżące wartości, które stanowią wspólną jednostkę miary.

Podstawowym wzorem do obliczania wartości bieżącej (PV) jednorazowego przyszłego przepływu pieniężnego (FC) jest:

$$PV = FC \times \left[\frac{1}{(1+D)^y} \right]$$

W tym równaniu:

PV = wartość bieżąca

FC = przyszły przepływ pieniężny

$$f_{PV} = \left[\frac{1}{(1+D)^y} \right]$$

jest określana jako wartość bieżąca czynnik

D = stopa dyskonta

y = rok w przyszłości, w którym następuje ten jednorazowy przepływ pieniężny (koszt lub korzyść)

Biorąc pod uwagę, że typową praktyką w analizach LCCA nawierzchni jest stosowanie realnej stopy dyskonta r (patrz niżej), ogólny wzór na wartość bieżącą netto (NPV) kilku kolejnych przyszłych przepływów pieniężnych (zarówno kosztów jak i korzyści) występujących w różnych momentach w przyszłości przyjmuje następującą formę:

$$NPV = IC + \sum_{k=1}^Q FC_k \left[\frac{1}{(1+r)^{y_k}} \right] - RV \left[\frac{1}{(1+r)^p} \right]$$

W tym równaniu:

NPV = wartość bieżąca netto alternatywy

IC = pierwotny koszt budowy

FC_k = przyszły koszt roboty k

RV = wartość końcowa nawierzchni (korzyść, czyli koszt ujemny)

r = realna stopa dyskonta

y_k = przyszły rok przepływu pieniężnego związanej z robotą k

Q = łączna liczba robót

p = liczba lat w analizowanym okresie

Innym wskaźnikiem ekonomicznym, który można wykorzystać do porównania alternatyw, jest **równoważny jednolity koszt roczny**. EUAC stanowi NPV wszystkich zdyskontowanych kosztów i korzyści Alternatywy x , gdyby występowały one jednolicie, co roku, przez cały analizowany okres. EUAC jest odpowiedniejszym wskaźnikiem, kiedy budżety ustala się co roku.

EUAC wylicza się następująco:

- najpierw określa się NPV przyszłych kosztów i korzyści
- następnie stosuje się następujący wzór do przeliczenia tej NPV na EUAC:

$$EUAC = NPV * \left[\frac{r(1+r)^n}{(1+r)^n - 1} \right]$$

W tym wzorze:

r = realna stopa dyskonta

n = liczba lat, przez które powtarza się przyszły EUAC.

Wartość dodana do decyzji opartej na analizie LCCA jest taka sama, niezależnie od tego, czy stosuje się NPV czy EUAC.

Decyzja, czy wykorzystać EUAC czy NPV, należy do analityka. Jeżeli decydenci są bardziej przyzwyczajeni do kosztów w ujęciu rocznym, EUAC może dawać użyteczniejszą formę wyników analizy. Ponieważ EUAC to kwota w ujęciu rocznym, EUAC nie podkreśla ogólnej wielkości różnicy pomiędzy alternatywami, tak jak NPV, przez co może komunikować sztuczną równość przepływów kosztowych. Jednak EUAC może decydom dać poczucie tego, jak alternatywny projekt wpływa na zasoby zarządcy w analizowanym okresie, szczególnie jeżeli dana inwestycja będzie finansowana z obligacji. [Praca 5].

4. KOSZTORYSY I STOPY DYSKONTA DO LCCA

We wzorach powyżej podstawowe znaczenie dla wyników analizy LCCA mają następujące dwa ekonomiczne parametry wejściowe:

- kosztorys pierwotnej budowy oraz każdego przyszłego remontu lub modernizacji dla każdej z konkurencyjnych alternatyw
- stopa dyskonta odzwierciedlająca wartość pieniądza w czasie, a służąca do przeliczenia przyszłych przepływów pieniężnych na bieżące wartości.

Kosztorysy

Przyszłe koszty i korzyści można szacować na dwa sposoby: z użyciem przepływów pieniężnych „realnych” albo „nominalnych”.

Realne przepływy pieniężne (zwane także stałymi) prezentują przepływy pieniężne o tej samej, stałej zdolności nabywczej w czasie. W takich przypadkach koszt wykonania konserwacji/remontu nie zmienia się jako funkcja przyszłego roku, w którym ten remont zostanie zakończony. Na przykład: jeżeli nawierzchnia z dylatowanego betonu niezbrojonego kosztuje obecnie 40,00 euro/m², to przy szacowaniu kosztu takiej nawierzchni w przyszłości należy użyć ceny 40,00 euro/m².

Koszty nominalne, wręcz przeciwnie, odzwierciedlają przepływy kosztowe, których

siła nabywcza zmienia się w funkcji czasu. Zwykle stosuje się je, aby uwzględnić ogólny wzrost cen w przyszłości wynikający z inflacji. Jeżeli stosowane są nominalne przepływy pieniężne, kosztorys remontu w przyszłości zmienia się w funkcji przyszłego roku, w którym zostanie wykonany. W tym przypadku, jeżeli nawierzchnia z dylatowanego betonu niezbrojonego kosztuje obecnie 40 euro/m², a inflacja wynosi 3%, to kosztorys tej nawierzchni w przyszłym roku wynosi 40,00 euro/m² × 1,03 = 41,20 euro/m².

Stopy dyskonta

W analizie LCCA może być stosowana stopa dyskonta „stała” (najczęściej zwana „realną”), albo „nominalna”.

W ekonomice budownictwa powszechnie stosowana jest realna stopa dyskonta, zwana także realną stopą procentową, która odzwierciedla prędkość zmiany realnej wartości pieniądza w czasie z uwzględnieniem wahań zarówno nominalnej stopy procentowej, jak i wskaźnika inflacji. Realne stopy dyskonta należy stosować łącznie z oszacowaniami przyszłych kosztów wyrażonymi w realnych przepływach pieniężnych.

Nominalna stopa dyskonta uwzględnia składnik inflacyjny. Nominalne stopy dyskonta należy stosować łącznie z oszacowaniami przyszłych kosztów wyrażonymi w nominalnych przepływach pieniężnych.

Realną stopę dyskonta można określić, stosując następujący wzór matematyczny:

$$r = \frac{1 + i_{\text{int}}}{1 + i_{\text{inf}}} - 1$$

gdzie:

r = realna stopa dyskonta, %

i_{int} = nominalna stopa procentowa

(zwana też rynkową stopą procentową), %

i_{inf} = wskaźnik inflacji, %

Realną stopę dyskonta można też przybliżyć w następujący sposób, jeżeli stopa procentowa przekracza wskaźnik inflacji:

$$r \approx i_{\text{int}} - i_{\text{inf}}$$

Przy wysokich realnych stopach dyskonta korzystne są alternatywy o niskim koszcie pierwotnym i wysokich kosztach przyszłych (np. często nawierzchnie asfaltowe), podczas gdy przy niskich realnych stopach dyskonta korzystne są alternatywy o wyższym koszcie pierwotnym i niższych kosztach w przyszłości (np. najczęściej nawierzchnie betonowe).

Uwaga

Chociaż analizę LCCA można prowadzić na podstawie realnych lub nominalnych przepływów pieniężnych, należy pamiętać o dwóch ważnych sprawach.

1. W jednej analizie LCCA nie wolno mieszać przepływów pieniężnych realnych i nominalnych (tj. wszystkie koszty muszą być wyrażone albo jako realne przepływy pieniężne, albo jako nominalne przepływy pieniężne).
2. Wybrana stopa dyskonta (omówiona szerzej poniżej) musi być zgodna z wybranym rodzajem przepływów pieniężnych (czyli stosuje się albo realne przepływy pieniężne z realnymi stopami dyskonta, albo nominalne przepływy pieniężne z nominalnymi stopami dyskonta).

Powszechna praktyka

Obecnie większość zarządców autostrad przeprowadza analizę LCCA, wykorzystując realne przepływy pieniężne i jedną (zwaną również „ogólną”) realną stopę dyskonta. Ta kombinacja eliminuje konieczność szacowania i uwzględniania składnika inflacyjnego w obliczeniach wartości bieżącej. Pozwala to również analitykowi użyć dzisiejszego kosztu materiałów do obliczenia przyszłych kosztów okresowej konserwacji lub remontu, co istotnie ułatwia kalkulację kosztów.

Często to podejście do obliczeń stosuje się również, aby uniknąć komplikacji wynikających z obliczania stóp dyskonta lokalnych lub dotyczących konkretnych materiałów. Te ostatnie można wykorzystać do uwzględnienia zmian cen materiałów, co pozwala poprawić wyniki LCCA. O sposobie tego postępowania wspomniano w rozdziale 4. Zagadnienia szczególne.

3 - STANDARDOWA PROCEDURA LCCA

W niniejszym rozdziale określono pokrótce istotę kroków procedury przestrzeganej przy prowadzeniu analizy kosztu cyklu eksploatacji (LCCA) w podejściu deterministycznym.

Do tych podstawowych kroków procedury należą:

1. określenie alternatywnych strategii projektowania nawierzchni i wybór okresu analizy
2. ustalenie żywotności i terminów robót
3. wybór stopy dyskonta
4. oszacowanie kosztów zarządcy
5. oszacowanie kosztów użytkowników
6. opracowanie schematów przepływów pieniężnych
7. obliczenie wartości bieżącej netto (NPV)
8. analiza wyników i analiza wrażliwości
9. ponowna ocena strategii projektowania.

Chociaż kroki te wykonuje się zwykle w powyższej kolejności, można ją zmienić ze względu na specyficzne potrzeby analizy LCCA. Poszczególne kroki omówiono w punktach poniżej.

1. OKREŚLENIE ALTERNATYWNYCH STRATEGII PROJEKTOWANIA NAWIERZCHNI I WYBÓR OKRESU ANALIZY

Głównym celem analizy LCCA jest liczbowe wyrażenie długoterminowego wpływu decyzji o projekcie nawierzchni na przyszły koszt okresowej konserwacji i modernizacji koniecznej do utrzymania pewnego wstępnie ustalonego minimalnego poziomu parametrów użytkowych przez pewien określony czas.

Pierwszym krokiem w analizie LCCA alternatywnych projektów nawierzchni jest określenie alternatywnych strategii projektowych nawierzchni na rozważany okres analizy.

Okres analizy

Okres analizy to horyzont czasowy, w którym ocenia się koszty pierwotne i przyszłe. Okres analizy nie musi być równy okresowi projektowanej eksploatacji lub żywotności, co przedstawiono na rysunku 3-1.

Okres analizy powinien być wystarczająco długi, aby objął długoterminowe różnice w kosztach rozsądnych strategii projektowych. Okres analizy powinien ogólnie zawsze być dłuższy niż projektowany okres eksploatacji nawierzchni (pierwotna żywotność), poza przypadkami nawierzchni o niezmiennej długości okresach użytkowania.

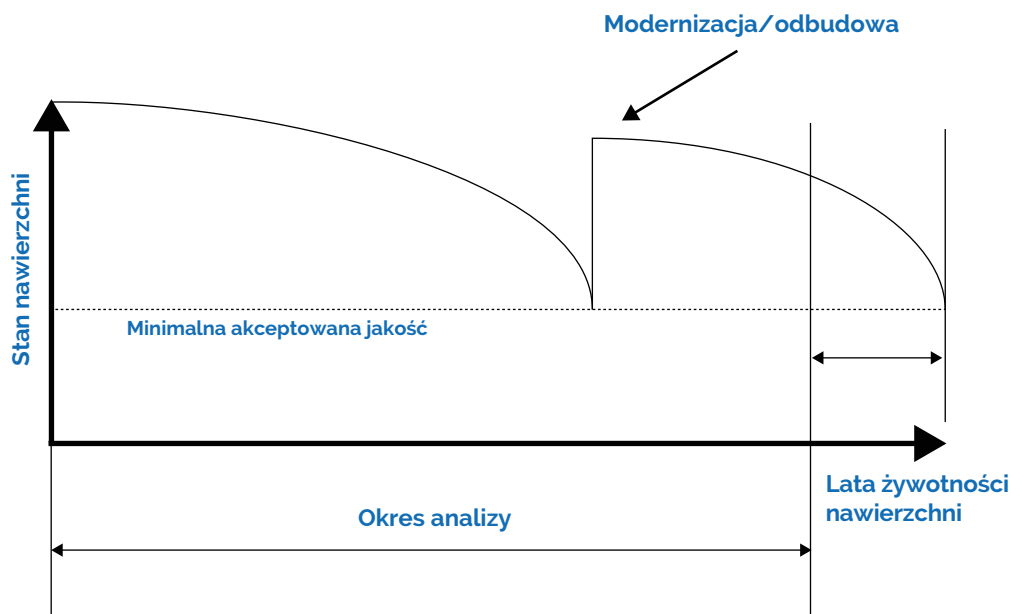
Zwyczajową zasadą jest, że okres analizy powinien być wystarczająco długi, aby obejmował przynajmniej jedną modernizację. W oświadczeniu dot. polityki FHWA z września 1996 zaleca się okres analizy wynoszący przynajmniej 35 lat na wszystkie inwestycje w nawierzchnię, w tym budowę nowej nawierzchni oraz jej całkowitą modernizację, odbudowę, remont i wymianę [Praca 1]. ACPA zaleca okres analizy od 45 do ponad 50 lat, aby dla każdej alternatywy uwzględniono przynajmniej jedną modernizację lub odtworzenie [Praca 2].

Czasem odpowiedni może być krótszy okres analizy, szczególnie gdy alternatywne projekty nawierzchni opracowuje się, aby zyskać na czasie (np. 10 do 15 lat) przed całkowitą odbudową. Ponadto czasem stosowne jest niewielkie dostosowanie długości okresu analizy w celu uniknięcia szacowania pozostałego okresu użytkowania przynajmniej jednej alternatywy. Na przykład, jeżeli parametry użytkowe jednego lub więcej alternatywnych rozwiązań spadają do minimalnego akceptowanego poziomu w 44 roku, to należy przyjąć 44-letni okres analizy. Takie dostosowanie można przyjąć, ponieważ okres analizy jest przedmiotem oszacowania, tak samo jak każdy inny parametr.

Niezależnie od wybranej długości okresu analizy, okres ten powinien być taki sam dla wszystkich alternatyw uwzględnionych w tej samej analizie.

Najczęściej żywotności tych alternatyw różnią się, więc jedna lub więcej porównywanych alternatyw może cechować się żywotnością wykraczającą poza koniec wybranego okresu analizy. W przypadku tych alternatyw konstrukcja nawierzchni przypuszczalnie ma pewien pozostały okres eksploatacji. Ten pozostały okres

Rysunek 3-1. Okres analizy alternatywnego projektu nawierzchni



eksploatacji można uwzględnić w analizie LCCA na wiele różnych sposobów, które zostaną omówione później.

Rysunek 3-1 ukazuje typowy okres analizy alternatywnego projektu nawierzchni.

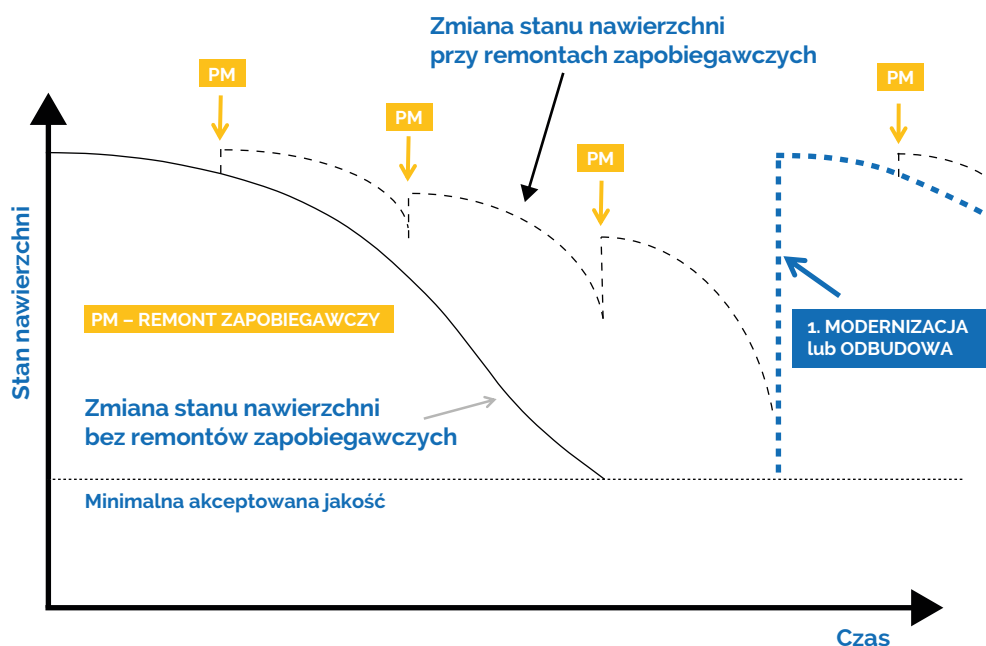
Zwraca się uwagę, że krzywa na tym wykresie to powszechnie stosowane w publikacjach dotyczących LCCA uproszczone, teoretyczne zobrazowanie zmian stanu

nawierzchni przy remontach zapobiegawczych. Faktyczne, stopniowe zmiany stanu nawierzchni przedstawiono schematycznie na kolejnym rysunku 3-2.

Strategie projektowe nawierzchni

Strategia projektowania nawierzchni to kombinacja pierwotnego projektu nawierzchni i koniecznych robót remontowych oraz modernizacyjnych w przyszłości.

Rysunek 3-2. Schemat faktycznej zmiany stanu nawierzchni przy remontach zapobiegawczych oraz modernizacji/odbudowie.



Strategia projektowania nawierzchni zwykle składa się z kombinacji:

- pierwotnego projektu nawierzchni obejmującego rodzaj i konstrukcję nawierzchni oraz oczekiwany pierwotny projektowany okres eksploatacji (żywołność)
- przyszłych remontów koniecznych do zrealizowania przewidzianego pierwotnego, projektowanego okresu eksploatacji
- robót w zakresie modernizacji i odbudowy w przyszłości.

W tym kroku celem jest określenie zakresu, terminów i kosztów tych robót. W zależności od pierwotnego projektu nawierzchni, zarządcy dróg stosują różne rodzaje remontów (remonty zapobiegawcze, remonty awaryjne, ...) oraz strategię modernizacji lub odbudowy w celu utrzymania funkcjonalności autostrady.

Strategie te zależą od kilku czynników, takich jak:

- zakres strategii: remonty zapobiegawcze, modernizacja czy odbudowa
- okoliczności różniące się między krajami: klimat, dostępność i rodzaj stosowanych materiałów, standardowa praktyka, dostępność danych historycznych itp.

Typowe strategie przedstawiono na przykładach w rozdziale 5 niniejszej publikacji.

2. USTALENIE ŻYWOŃNOŚCI I TERMINÓW ROBÓT

Żywołność pierwotnie zaprojektowanej nawierzchni ma powaźny wpływ na wyniki analizy LCCA. To samo dotyczy żywołności wynikającej z późniejszych remontów i modernizacji. Żywołność wpływa bezpośrednio na częstość zabiegów, jakie zarządcy wykonuje na autostradzie, która z kolei wpływa na koszty zarządcy oraz koszty użytkowników w okresach budowy, remontów lub modernizacji. Zarządcy autostrad mogą ustalić konkretne parametry wydajnościowe różnych strategii dotyczących nawierzchni przez przeanalizowanie danych o utrzymaniu nawierzchni i doświadczeń z przeszłości.

Systemy operacyjnego zarządzania nawierzchnią dostarczają dane i techniki do oceny stanu nawierzchni, jej funkcjonowania oraz natężenia ruchu w celu określenia efektywnych kosztowo strategii krótko- i długoterminowych projektów inwestycyjnych oraz programów konserwacji. Żywołność może także wynikać ze wspólnego doświadczenia wyższego szczebla inżynierów u zarządców autostrad [Praca 1]. Konkretne informacje o funkcjonowaniu nawierzchni mogą się również znajdować w różnych raportach o funkcjonowaniu nawierzchni.

Wreszcie użyteczne informacje można znaleźć w literaturze, o tyle o ile materiały, techniki i warunki (klimatyczne, ruchu drogowego, ...) są porównywalne do warunków panujących w danym kraju oraz cech analizowanych alternatywnych nawierzchni.

Typowe przykłady strategii projektowania i ich żywołności przedstawiono w tabeli 2.1 Pracy 1 lub w przykładach podanych w rozdziale 5 poniżej.

Wymagania obszaru robót, w którym realizuje się pierwotną budowę, remonty lub odbudowy, bezpośrednio wpływają na koszty użytkowników autostrady, więc powinno się je szacować jednocześnie z opracowywaniem strategii dotyczącej nawierzchni. Wymagania te, takie jak częstość, czas trwania, ciężkość i rok organizacji obszaru robót, stanowią parametry krytyczne przy określaniu kosztów użytkowników związanych z analizowanymi alternatywami.

3. WYBÓR STOPY DYSKONTA

Na wynik analizy mogą istotnie wpłynąć stopy dyskonta. Jednak realistyczny wybór stopy dyskonta nie jest oczywisty, ponieważ (1) związana jest ona z trendami gospodarczymi w przyszłości i (2) dotyczy horyzontu długoterminowego. Z tego względu zdecydowanie zaleca się zbadanie wrażliwości każdej analizy LCCA na wpływ różnych wartości realnej stopy dyskonta. W analizie LCCA powinno się stosować rozsądną stopę dyskonta odzwierciedlającą trendy historyczne w długich okresach. Stopy procentowe i inflacji wahają się w czasie, ale relatywna różnica pomiędzy nimi, choć nie jest stała,

jest jednak mniej zmienna. Ta relatywna różnica odpowiada w przybliżeniu realnej stopie dyskonta, o której mowa w § 2.4.

$$r \approx i_{\text{int}} - i_{\text{inf}}$$

Dane z USA dotyczące trendów historycznych w bardzo długich okresach sugerują, że od około 1985 do 2000 roku realna wartość pieniądza w czasie wahała się w zakresie mniej więcej 3–5 procent, czyli średnio około 4%. Zilustrowano to na rysunkach 3-3 i 3-4.

Trendy wartości realnej stopy dyskonta

Ankieta przeprowadzona (około 10 lat temu) w 39 spośród 50 stanów USA ujawniła, że realne stopy dyskonta stosowane przez stanowe urzędy ds. autostrad w analizach LCCA mieściły się w zakresie od < 3% do 5% [Praca 2]. Już samo to jest zaskakujące, że w jednym państwie o porównywalnych warunkach gospodarczych istnieje dość ogromna różnica w stosowanych wartościach dyskonta.

W Pracy 2 wspomniano ponadto, że realna stopa dyskonta w USA spadła w ostatnich 5 latach przed rokiem 2012 do przeciętnie 2,1%, czyli prawie do połowy historycznej średniej wynoszącej 4%, o której mowa powyżej. Ten

sam trend występuje nawet silniej w krajach europejskich, co opisano w publikacjach ECB (Europejskiego Banku Centralnego). W źródłach tych wspomniano również, że realne stopy dyskonta nie muszą się istotnie różnić między krajami, a już szczególnie między krajami należącymi do Europejskiego Obszaru Gospodarczego lub z nim handlujących. W związku z tym i uwzględniając długoterminowy charakter realnej stopy dyskonta oraz jej niepewność, można obecnie (czyli w roku 2018) uzasadnić w przeciętnych warunkach europejskich stosowanie realnych stóp dyskonta z przedziału od 1 do 3% w analizie LCCA. Jednak kiedy stosuje się podejście deterministyczne, nieodzowne jest przeprowadzenie analizy wrażliwości na zmiany realnej stopy procentowej.

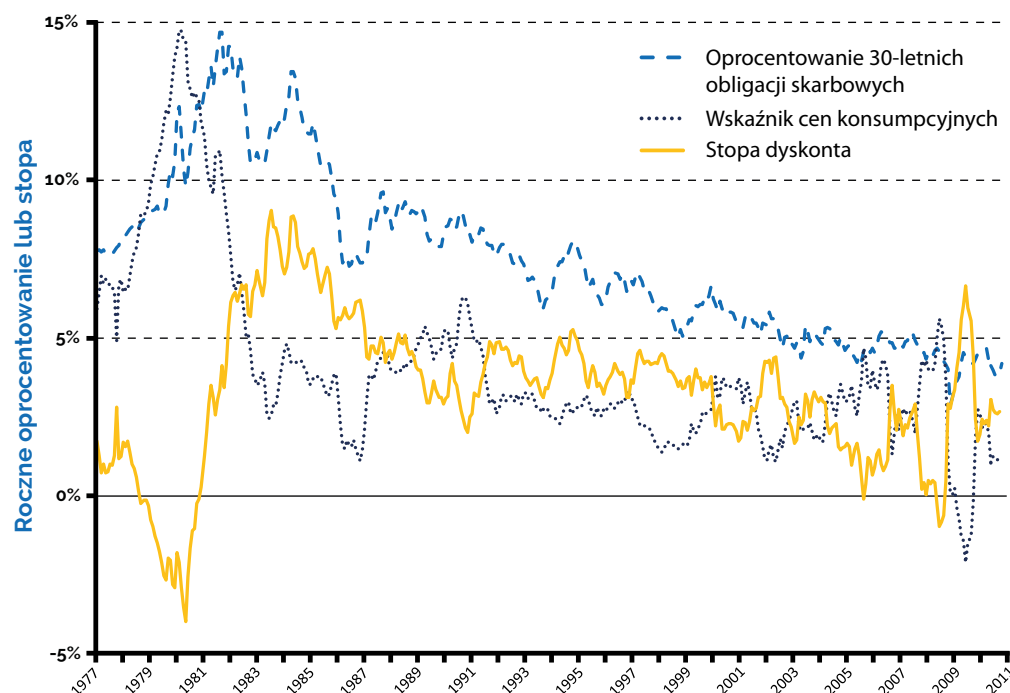
Warto zauważyć, że dwie krzywe na Rysunku 3-4 są dosyć dobrze dopasowane.

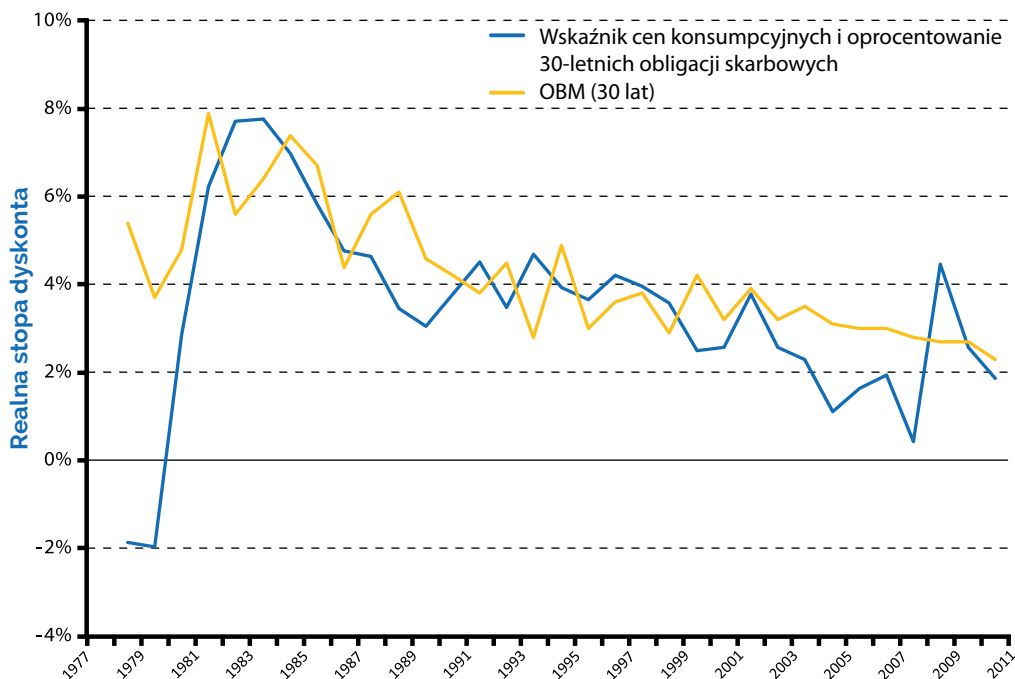
4. OSZACOWANIE KOSZTÓW ZARZĄDCY

Koszty zarządcy to wszystkie koszty ponoszone bezpośrednio przez zarządcę autostrad w okresie analizy.

Koszty zarządcy zwykle obejmują następujące składniki kosztów:

Rysunek 3-3. Oprocentowanie 30-letnich obligacji skarbowych, zmiana wskaźnika cen konsumpcyjnych rok do roku i realna stopa dyskonta wyliczona na ich podstawie [Praca 2].





Rysunek 3-4. Roczne realne stopy dyskonta wyliczone ze wskaźnika cen konsumpcyjnych oraz oprocentowania 30-letnich obligacji skarbowych a stopy dyskonta wyznaczone przez Urząd Zarządzania i Budżetu USA (OMB) [Praca 2]

- pierwotne i przyszłe koszty związane z usługami inżynierskimi, administracją kontraktu, nadzorem budowy
- koszty pierwotnej budowy
- koszty przyszłych remontów awaryjnych i napraw, remontów zapobiegawczych (np. wymiany nawierzchni) oraz przyszłej modernizacji lub budowy, a także związane z nimi koszty usług inżynierskich i administracji
- wartość końcową na koniec okresu analizy
- koszty odbudowy.

Koszty zarządcy obejmują również koszty utrzymania ruchu, a należeć mogą do nich koszty eksploatacyjne, takie jak koszty energii zasilającej przepompownie i oświetlenie oraz wentylację tuneli.

Ogólnie istnieje bardzo niewiele danych o remontach awaryjnych i naprawach, więc oszacowanie tego przyszłego kosztu i momentu jego wystąpienia nie jest oczywiste. Jednak koszty tego typu remontów nie są zwykle szczególnie wysokie i niewiele się różnią między większością alternatywnych strategii dotyczących nawierzchni. W związku z tym po ich zdyskontowaniu do wartości bieżącej niewielkie różnice w kosztach mają pomijalny wpływ na wartość bieżącą, toteż czasem się je pomija.

Pierwszym krokiem w oszacowaniu kosztów zarządcy jest ślepy kosztorys budowy i ustalenie cen jednostkowych. Ceny jednostkowe można uzyskać z cen z przeszłych ofert przetargowych na wcześniejsze inwestycje o podobnej wielkości. Jeżeli uwzględnia się wskaźniki inflacji specyficzne dla materiałów nawierzchniowych, należy zastosować odpowiednie metody wyjaśnione w rozdziale 4.

Pierwotne koszty zarządcy można podzielić na koszty nawierzchni i inne:

- Koszty nawierzchni obejmują takie pozycje jak przygotowanie podłoża, materiały na podbudowę, podbudowę pomocniczą i nawierzchnię, związane z nimi koszty robocizny i maszyn itp.
- Koszty inne to te wpływające na całkowity koszt inwestycji, ale niezwiązane bezpośrednio z konstrukcją nawierzchni, takie jak dodatkowy grunt zasypowy lub usuwanie gruntu ze względu na różnice poziomu, sterowanie ruchem, znaki, pas dzielący i zbocza nasypu, uzbrojenie terenu, przedłużenia przepustów..., związane z nimi koszty robocizny i maszyn itp. pierwotne koszty zarządcy mogą stanowić od 50 do 90 procent kosztów w analizie LCCA inwestycji.

W analizie LCCA zawsze porównuje się wzajemnie wykluczające się, konkurencyjne alternatywy. Analiza LCCA musi uwzględniać tylko koszty różniące się między alternatywami. Koszty wspólne dla wszystkich alternatyw znoszą się wzajemnie, zwykle takie czynniki kosztowe wpisuje się i wyłącza z kalkulacji LCCA. Dobrą praktykę stanowi dosłowne wymienienie takich kosztów w raporcie z analizy LCCA.

Na przykład można wykluczyć koszty podbudowy pomocniczej lub podbudowy, jeżeli warstwa ta jest taka sama dla rozważanych alternatywnych nawierzchni. Ponadto z pierwotnych kosztów zarządcy można wyłączyć koszty usług inżynierskich i administracji, jeżeli są one porównywalne dla wszystkich alternatyw.

W przypadku inwestycji polegającej na pełnej odbudowie istniejącej nawierzchni nie ma konieczności uwzględniania kosztów jej wyburzenia na koniec okresu żywotności w analizie konkurencyjnych alternatyw, ponieważ koszty te są zwykle niewielkie lub nie różnią się znacznie pomiędzy alternatywami.

Ponadto koszty zarządcy nie muszą zawsze odpowiadać całości inwestycji, natomiast mogą odzwierciedlać jedynie koszty globalne. Na przykład w zakresie samej nawierzchni do wystarczającego porównania alternatyw może wystarczyć określenie kosztu zarządcy na kilometr. Tak właśnie zrobiono w przypadku analizy LCCA obwodnicy Antwerpii wykonanej w roku 2002 [Praca 4].

Wartość końcowa

W odpowiednich przypadkach jako koszt ujemny należy uwzględnić szacunkową wartość końcową na koniec okresu analizy. Zwykle stosuje się jedną z następujących dwóch definicji wartości końcowej:

1. wartość netto, jaką nawierzchnia miałaby na rynku, gdyby poddano ją recyklingowi na koniec jej okresu eksploatacji
2. wartość pozostałego okresu użytkowania na koniec okresu analizy.

Niezależnie od definicji wartości końcowej wybranej do alternatywnych strategii

modernizacji, definicja ta musi być taka sama dla wszystkich alternatyw i powinna odzwierciedlać to, co zarządca realistycznie zamierza zrobić z nawierzchnią na koniec okresu analizy. Wartość końcową powinno się uwzględniać w każdym przypadku, w którym oczekuje się, że alternatywy będą miały istotnie różne wartości końcowe na koniec okresu analizy.

Wartość końcowa z recyklingu odnosi się do wartości netto uzyskiwanej z recyklingu nawierzchni. Różnice w wartości końcowej pomiędzy strategiami projektowania nawierzchni nie są zwykle zbyt duże i po ich zdyskontowaniu w okresie 35 lub więcej lat mają ogólnie niewielki wpływ na wyniki analizy LCCA.

Jeżeli zakłada się recykling nawierzchni na zakończenie okresu analizy, końcowa wartość z recyklingu to pieniężna wartość odzyskanych materiałów pomniejszona o koszt ich rozbiórki i recyklingu. Wartość końcowa konstrukcji nawierzchni w formie odzyskanych materiałów może się różnić między różnymi alternatywami, ale może też być w nich podobna.

Wartość końcowa pozostałego okresu eksploatacji. Wartość końcowa pozostałego okresu eksploatacji stanowi bardziej istotny składnik wartości końcowej, a odpowiada żywotności alternatywnej nawierzchni pozostałej na koniec okresu analizy. Wykorzystuje się ją głównie do uwzględnienia różnic w pozostałym okresie użytkowania nawierzchni między alternatywnymi strategiami projektowania nawierzchni na koniec okresu analizy.

FWHA [Praca 1] zaleca ustalanie wartości końcowej jako części kosztu ostatniej modernizacji równej pozostałej części okresu użytkowania wynikającego z tej modernizacji.

Na przykład (patrz rysunek 3.5) na koniec 40-letniego okresu analizy Alternatywa A osiąga koniec żywotności, podczas gdy Alternatywa B wymaga modernizacji dającej 15 lat użytkowania w roku 35. W tym przypadku żywotność Alternatywy A w roku 40 wynosi 0, ponieważ osiągnęła ona koniec swojej użyteczności. Alternatywa B, wręcz

przeciwnie, w roku 35. została poddana modernizacji zaplanowanej na 15 lat użytkowania, więc w roku 40., kiedy kończy się okres analizy, pozostało jej 10 lat żywotności. Wartość żywotności Alternatywy B pozostałej w roku 40. można oszacować jako procent okresu eksploatacji pozostający na koniec okresu analizy (czyli 10 z 15 lat, co odpowiada 67%) pomnożony przez koszt modernizacji Alternatywy B w roku 35. Szczegółowy przykład tego podejścia przedstawiono w tabelach 3-1 i 3-2.

Takie podejście do obliczenia pozostałej żywotności przypisuje wartość tylko ostatniej modernizacji, a nie konstrukcji nawierzchni jako całości. Obecnie analizuje się alternatywne podejścia jako możliwe, bardziej realistyczne sposoby szacowania pozostałej żywotności.

5. OSZACOWANIE KOSZTÓW UŻYTKOWNIKÓW

Ze względu na zakres niniejszej publikacji nie omawia się szczegółowo kosztów użytkowników. Ważne jest jednak, aby analityk rozumiał główne czynniki wpływające na koszty użytkowników w obszarze robót drogowych,

ponieważ zrozumienie to pozwoli zminimalizować oddziaływanie przyszłych robót modernizacyjnych na użytkowników autostrad. Z tego względu poniżej pokrótce opisano składniki i ogólne zasady szacowania kosztów użytkowników w obszarze robót.

Koszty użytkowników ogólnie

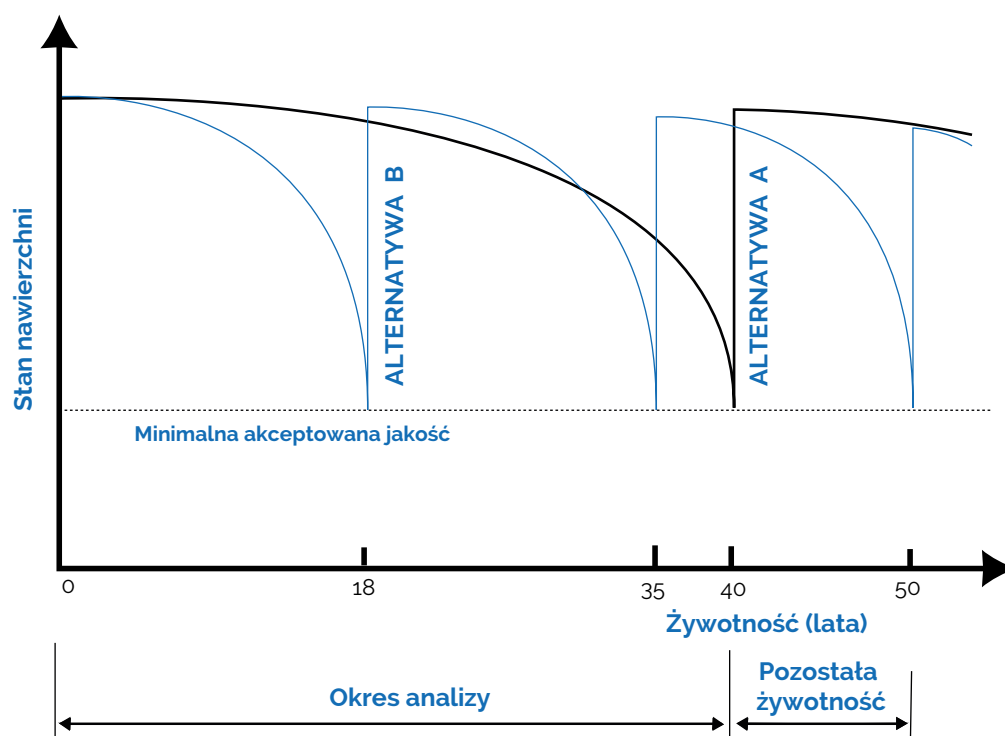
Kompleksowy opis procedury szacowania kosztów użytkowników w obszarze robót przedstawiony jest w rozdziałach 2 i 3.

W najogólniejszym sensie koszty użytkowników to koszty ponoszone przez użytkowników autostrady w cyklu eksploatacji obiektu. Analiza LCCA zajmuje się kosztami użytkowników w sensie różnicy w tych kosztach wynikającej z różnic w długoterminowych decyzjach o projektowaniu nawierzchni i spowodowanych przez nie remontach i modernizacjach.

Koszty użytkowników to suma trzech składników kosztów:

- kosztów eksploatacji pojazdów
- kosztów opóźnień użytkownika
- kosztów wypadków.

Rysunek 3-5. Schematyczne krzywe żywotności Alternatyw A i B



Ponadto w analizie LCCA alternatywnych projektów nawierzchni można rozróżnić dwie kategorie kosztów użytkownika: (1) koszty użytkowników przy normalnym funkcjonowaniu i (2) koszty użytkowników związane z funkcjonowaniem w okresach robót.

Kategoria normalnego funkcjonowania to koszty użytkowników autostrady wynikające z korzystania z tego obiektu w okresach, w których nie są prowadzone roboty budowlane, remonty lub modernizacje. Koszty użytkowników w tej kategorii obejmują głównie koszty eksploatacji pojazdu i stanowią funkcję długoterminowych różnic w parametrach eksploatacyjnych nawierzchni (głównie szorstkości i ugięcia powierzchni) pomiędzy alternatywami.

Zasadniczo w warunkach normalnego funkcjonowania nie powinno być znacznych różnic między kosztami opóźnień i wypadków wynikającymi z decyzji o projekcie nawierzchni, więc te koszty użytkowników można pominąć. Ponadto dopóki utrzymują się stosunkowo wysokie parametry użytkowe nawierzchni, a krzywe parametrów alternatywnych projektów są podobne, również w kosztach eksploatacji pojazdu powinny występować najwyżej niewielkie różnice. W tych okolicznościach można pominąć również koszty eksploatacji pojazdu. W niniejszej publikacji nie zajmujemy się więc dalej tą kategorią kosztów użytkownika.

Natomiast **kategoria funkcjonowania w obszarze robót** odzwierciedla ponoszone przez użytkowników autostrady koszty związane z korzystaniem z tego obiektu w okresach budowy, remontu lub modernizacji, które zazwyczaj ograniczają przepustowość autostrady i zaktócają normalny ruch pojazdów. Są to podwyższone koszty eksploatacji pojazdu, opóźnień i wypadków, jakie ponoszą użytkownicy autostrady na skutek istnienia obszarów robót budowlanych, remontowych lub modernizacyjnych.

Koszty użytkowników w obszarze robót— Złożoność i waga

Ze względu na złożoność i niepewność precyzyjnego przewidywania kosztów użytkowników, zarządcy autostrad często

w ogóle nie uwzględniają kosztów użytkowników lub analizują tylko koszty użytkowników w obszarze robót. Zgodnie z [Pracą 2] i ankietą przeprowadzoną w USA w roku 2011, spośród 40 uczestniczących stanów w ponad połowie nie rozważano kosztów użytkowników przy prowadzeniu analizy LCCA.

Jednak zaleca się, aby uwzględniać przynajmniej koszty użytkowników w obszarze robót, jako że nieuwzględnianie tych kosztów może czasem prowadzić do wyboru niekorzystnie nietrwiałych alternatyw. Na przykład zgodnie z [Pracą 2] nie jest dobrą praktyką zalecanie poważnych modernizacji ruchliwej miejskiej drogi bezkolizyjnej co siedem lat. Organizacja ruchu i opóźnienia mogą w przyszłości wywołać koszty istotnie większe niż wybudowanie trwałego rozwiązania obecnie, ale bez liczbowego rozważenia kosztów użytkowników w obszarze robót trudno jest ustalić, że w takim scenariuszu rozwiązanie trwalsze jest lepsze.

Koszty użytkowników w obszarze robót – kalkulacja

Koszty użytkowników w obszarze robót oblicza się przez przemnożenie ilości dodatkowych składników eksploatacyjnych pojazdu, opóźnień i liczby wypadków przez jednostkowe stawki kosztów przypisane do tych składników. Poza tymi kosztami występują też koszty pośrednie użytkownika, takie jak oddziaływanie opóźnień przejazdów użytkowników na rozmiar taboru dostawczego, zapasów znajdujących się w naczepach, dostaw just-in-time itp.

Koszty użytkowników w obszarze robót— stawki jednostkowe

Ważne jest, aby dostępne były krajowe dane o stawkach jednostkowych. Jeżeli nie są one dostępne u zarządcy, to rozwiązaniem mogą być stawki jednostkowe opisane w literaturze. Stawki jednostkowe można uzyskać z różnych źródeł ekonomicznych i w różnych podejściach. Kiedy stawki odzwierciedlają ceny z przeszłości, konieczna jest ich indeksacja, aby odpowiadały cenom bardziej aktualnym.

Stawki jednostkowe kosztów eksploatacji pojazdu w okresach robót muszą odzwierciedlać, co następuje:

- dodatkowy koszt zatrzymań, zmian prędkości i pracy silnika na jałowym biegu oraz związane z zatrzymaniem i zmianami prędkości opóźnienie
- dodatkowe zużycie paliwa wynikające z objazdów.

Stawki jednostkowe kosztów opóźnienia odzwierciedlają piękną wartość czasu traconego przez użytkownika. Budzą one najwięcej kontrowersji. W związku z tym istnieje kilka podejść do określenia stawki jednostkowej.

Stawki za opóźnienie przejazdów użytkowników wynikają z (kombinacji) takich czynników jak: średnie wynagrodzenie za godzinę, rodzaj pojazdu (samochód ciężarowy czy osobowy), cel podróży (służbowa czy osobista), rodzaj podróży (lokalna czy międzymiastowa), liczba osób w pojeździe itp. Stawkę jednostkową wyraża się jako cenę osobogodziny.

Stawki jednostkowe kosztów wypadków odpowiadają kosztowi wynikającemu z uszkodzenia pojazdu użytkownika lub innych pojazdów czy też mienia publicznego bądź prywatnego oraz kosztom związanym z obrażeniami ciała użytkownika i innych.

Koszty wypadków w obszarze robót mogą się istotnie różnić pomiędzy alternatywami w zależności od odpowiednich projektów organizacji ruchu, metod budowy oraz przedziałów czasowych, w których roboty można wykonywać: w dzień czy w nocy lub w weekend. Stawki jednostkowe stosuje się jako funkcję: rodzaju (uszkodzenia majątku lub obrażenia ciała), ciężkości wypadku (śmiertelny lub nie), różne są również stawki stosowane na obszarach wiejskich i miejskich.

Koszty użytkowników w obszarze robót—ilości

Na ilości składników kosztów użytkowników wpływają:

- charakterystyka obszaru robót

- charakterystyka ruchu pojazdów
- warunki ruchu w obszarze robót.

Charakterystyka obszaru robót

Każdy odrębny obszar robót musi zostać zidentyfikowany i przeanalizowany przy każdej zmianie lub różnicy charakterystyki obszaru robót lub charakterystyki ruchu, na który on wpływa podczas prowadzenia robót w tym obszarze.

Różnice w parametrach użytkowych projektów nawierzchni wpływają bezpośrednio na częstotliwość i termin robót remontowych i modernizacyjnych. Modernizacje i remonty nawierzchni zazwyczaj odbywają się w różnych momentach okresu analizy, o różnym ruchu, zwykle też różnią się zakresem i czasem trwania. Czas ich realizacji również wpływa na czynnik wartości bieżącej.

Aby można było analizować koszty użytkowników w obszarze robót, charakterystyczne cechy obszaru robót wynikające z alternatywnych projektów oraz pomocniczych strategii remontów i modernizacji muszą obejmować:

- częstotliwość i rok (od)budowy, remontu lub modernizacji
- szacunkową liczbę dni, przez którą będzie istnieć obszar robót (okres budowy)
- godziny w ciągu dnia i dni tygodnia w których będzie funkcjonował obszar robót
- oczekiwaną strategię organizacji ruchu i cechy obszaru robót
- długość obszaru robót, ograniczenie prędkości
- liczbę i przepustowość otwartych pasów ruchu, czas trwania zamknięcia pasów ruchu
- harmonogram (godziny w ciągu dnia, dni tygodnia, porę roku itp.) zamknięć pasów
- dostępność oraz fizyczne i ruchowe cechy alternatywnych tras.

Strategia organizacji ruchu musi obejmować wszelkie oczekiwane ograniczenia godzin pracy wykonawców lub ich uprawnienie do zamykania pasów.

Obszary robót z zakresu rutynowych remontów doraźnych (awaryjnych, napraw)

są zwykle stosunkowo rzadkie, krótkotrwałe i wyznaczone poza godzinami szczytu komunikacyjnego. Z tego względu analitycy powinni się skoncentrować na kosztach użytkowników związanych z poważnymi obszarami robót, np. w okresie remontów zapobiegawczych, modernizacji lub odbudowy.

Charakterystyka ruchu pojazdów

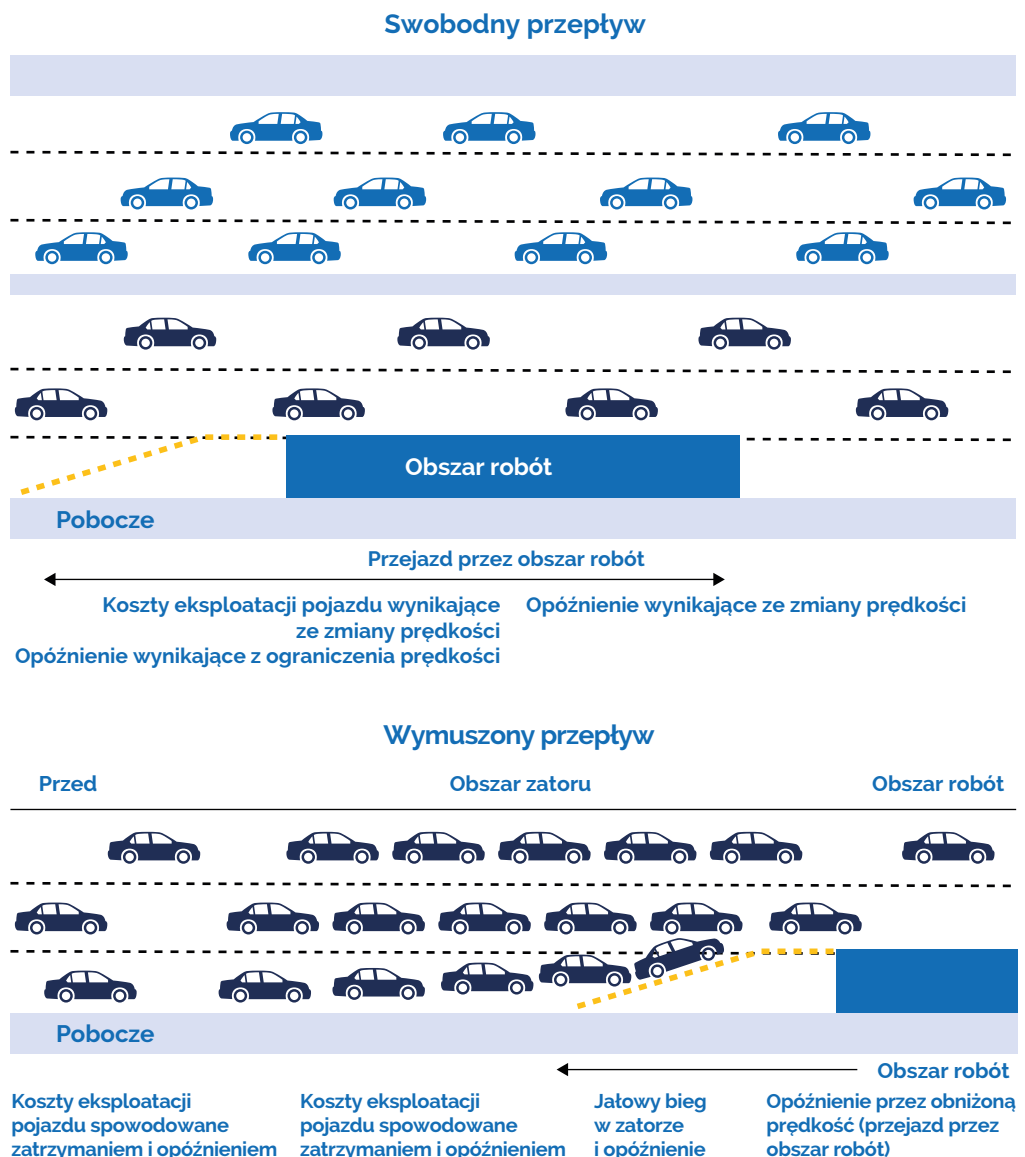
Koszty użytkowników zależą bezpośrednio od natężenia i cech funkcjonalnych ruchu na obiekcie. Zwykle każda budowa, remont i modernizacja wywiera jakiś tymczasowy wpływ na ruch odbywający się po obiekcie. Wpływ ten mieści się w zakresie od

nieznacznego w przypadku niewielkich ograniczeń związanych z obszarem robót na drogach o niewielkim natężeniu ruchu po bardzo istotny w przypadku poważnych zamknięć pasów na drogach o dużym natężeniu ruchu.

Główne interesujące nas cechy ruchu pojazdów w każdym roku, w którym obszar robót będzie wyznaczony, obejmują:

- ogólne prognozowane średnioroczne dzienne natężenie ruchu (AADT) zarówno na danej drodze jak i możliwych trasach alternatywnych
- związane z tym dobowe rozkłady godzinowego zapotrzebowania na kierunkach

Rysunek 3-6. Składniki kosztów przy swobodnym przepływie i wymuszonym przepływie (poziom obsługa) [Praca 1]



- rozkład kategorii pojazdów w prognozowanych strumieniach pojazdów.

W przypadku tras o dużym natężeniu ruchu ważne stają się rozróżnienia między zapotrzebowaniem ruchu pojazdów w dniach roboczych i w weekendy oraz rozkładami godzinowymi. Ponadto przy proponowaniu obszarów robót na trasach rekreacyjnych w okresach szczytów wakacyjnych ważne stają się również sezonowe rozkłady średniorocznego dziennego natężenia ruchu.

Warunki ruchu w obszarze robót

W zależności od kombinacji cech obszaru robót i cech ruchu pojazdów, procedura kalkulacji kosztów użytkowników będzie wynikać z warunków przepływu ruchu przez obszar robót, czyli z tego, czy istnieją warunki do swobodnego przepływu czy wymuszonego przepływu. Trzy składniki kosztów użytkowników związane są z warunkami swobodnego przepływu, a cztery z warunkami wymuszonego przepływu (zatoru). Zilustrowano to na rysunku 3-6 [Praca 1].

6. OPRAWOWANIE SCHEMATÓW PRZEPLYWÓW PIENIĘŻNYCH

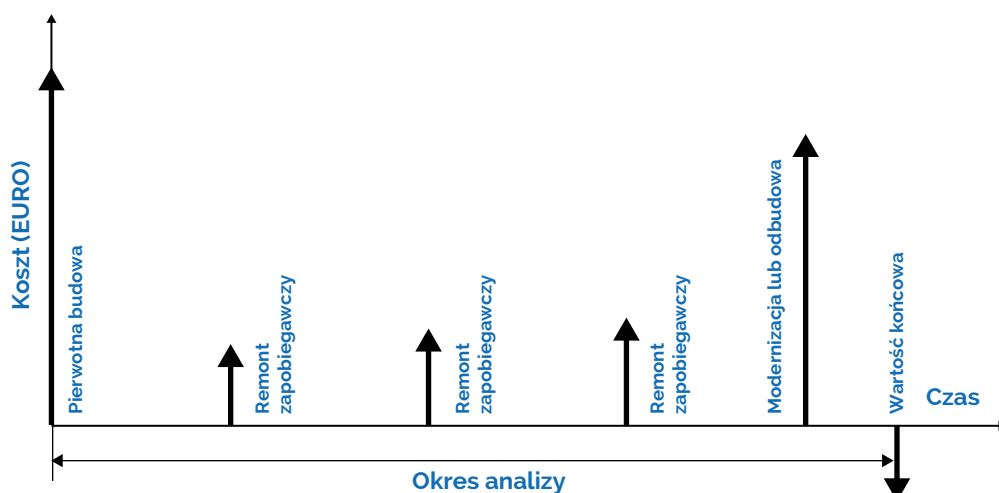
Schematy przepływów pieniężnych to graficzna reprezentacja wpływów i wydatków gotówki wynikających z kolejnych działań w miarę ich realizacji w czasie, np. pierwotnej budowy, remontu zapobiegawczego, wyburzenia, modernizacji/

odbudowy. Przygotowanie schematu przepływów pieniężnych nie jest absolutnie konieczne, ale często przygotowuje się go dla każdej strategii projektowania nawierzchni, aby unaocznić zakres i termin przepływów pieniężnych. Typowy schemat przepływów pieniężnych przedstawiono na rysunku 3-7.

Zwykle wydatki pieniądza (koszty) przedstawia się strzałkami w górę w punkcie na osi czasu, w którym występują, a wpływy gotówki (korzyści) jako koszty ujemne—strzałkami w dół. Długość strzałek przedstawia na relatywnej skali kwotę przepływów pieniężnych w roku, w którym mają miejsce.

W analizie LCCA alternatywnych projektów nawierzchni nie są zwykle uwzględniane proste korzyści z konserwacji korekcyjnej (remontów awaryjnych i napraw) oraz rutynowych czynności utrzymania (np. konserwacja znaków poziomych, czyszczenie i oczyszczanie itp.) służących zapewnieniu pewnego z góry ustalonego stanu nawierzchni na drodze, więc nie przedstawia się ich też na schematach przepływów pieniężnych.

Jest powszechną praktyką, że koszty (strzałki w górę) uwzględniane w analizie LCCA to zarówno koszty zarządcy, jak i użytkowników, związane z remontami zapobiegawczymi, modernizacją lub wyburzeniem i odbudową realizowaną



Rysunek 3-7. Typowy schemat przepływów pieniężnych alternatywnego projektu nawierzchni

w okresie analizy. Jediną korzyścią (ujemnym kosztem) obrazowanym stratką w dół byłby wpływ środków pieniężnych związanych z wartością końcową.

7. OBLICZENIE WARTOŚCI BIEŻĄCEJ NETTO (NPV)

Po określeniu wszystkich kosztów i terminów ich ponoszenia, przyszłe koszty dyskontuje się do roku bieżącego, czyli początku okresu analizy i dodaje do kosztu pierwotnego w celu określenia wartości bieżącej netto (NPV) alternatywy poddawanej analizie LCCA. Jak zaznaczono w § 2.3, podstawowy wzór na NPV służący do dyskontowania dyskretnych przyszłych kwot z różnych momentów w czasie do roku bazowego ma formę:

$$NPV = IC + \sum_{k=1}^Q FC_k \left[\frac{1}{(1+r)^{y_k}} \right] - RV \left[\frac{1}{(1+r)^p} \right]$$

W tym równaniu:

NPV = wartość bieżąca netto alternatywy
 IC = pierwotny koszt budowy
 FC_k = przyszły koszt roboty k
 RV = wartość końcowa nawierzchni
 (=korzyść, czyli koszt ujemny)

r = realna stopa dyskonta
 (np. 0,03 odpowiadające 3%)
 y_k = przyszły rok przepływu pieniężnego
 związanego z działaniem k
 Q = łączna liczba robót
 p = liczba lat w analizowanym okresie

Wartość bieżącą (PV) konkretnej przyszłej kwoty określa się przez pomnożenie przyszłej kwoty przez odpowiedni czynnik PV wynikający z następującego wzoru

$$f_{PV} = \left[\frac{1}{(1+r)^y} \right]$$

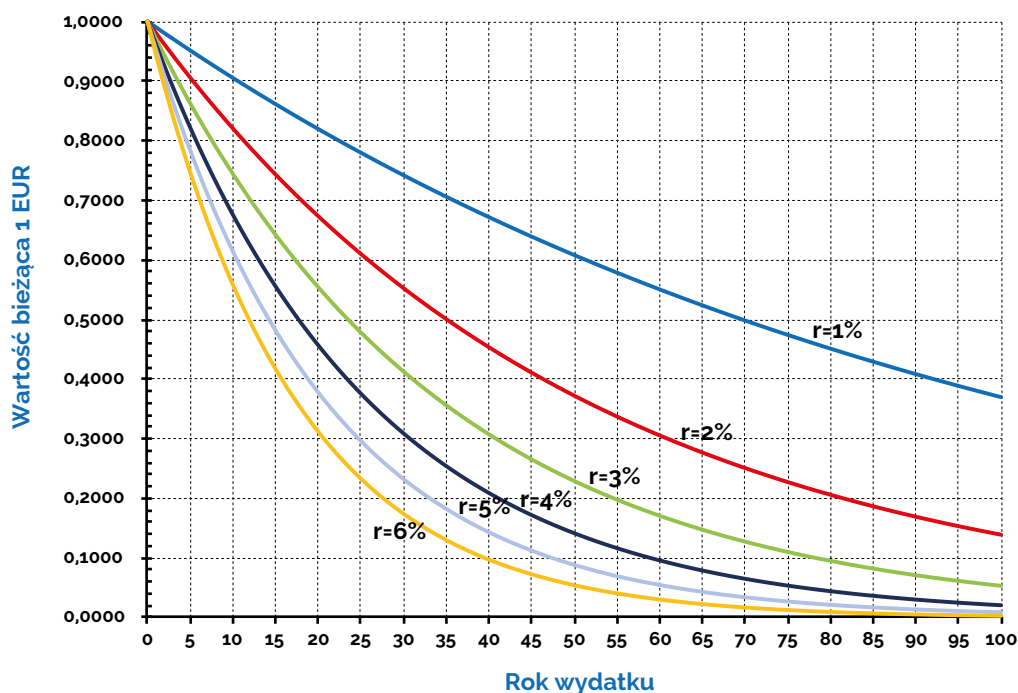
gdzie:

r = realna stopa dyskonta
 y = rok w przyszłości, w którym następuje ten jednorazowy przepływ pieniężny (koszt lub korzyść)

Zakłada się, że pierwotne koszty zarządcy ponoszone są w momencie $n = 0$, więc nie dyskontuje się ich, tylko zalicza w całej aktualnej wartości.

Na rysunku 3.8 graficznie przedstawiono czynnik wartości bieżącej [Praca 2].

Rysunek 3-8. Wartość bieżąca 1,00 euro wydanego w różnych latach przy różnych realnych stopach dyskonta



Przykłady obliczeń NPV

Poniżej przedstawiono hipotetyczne zadanie jako przykład kalkulacji wartości bieżącej netto. Przykład ten dotyczy 35-letniego okresu analizy i nawiązuje do podobnego hipotetycznego przykładu w Pracy 1, z wartością pieniężną wyrażoną w euro.

W roku 0. pierwotny koszt realizacji projektu nawierzchni wyniesie 1,1 mln euro, a związane z nim koszty użytkowników w obszarze robót równe będą 300 tys. euro. W latach 15. i 30. poniesione zostaną dodatkowe koszty modernizacji w kwocie 325 tys. euro. Związane z nimi koszty użytkowników w obszarze robót w latach 15. i 30. wyniosą odpowiednio 269 tys. euro i 361 tys. euro. Wartość końcowa wynikająca z pozostałego okresu eksploatacji w roku 35. obliczana z proporcjonalnego kosztu modernizacji w roku 30. i pozostałej żywotności wyniesie 216.667 euro (10/15 z 325 tys. euro). Rysunek 3-9 przedstawia schemat przepływów pieniężnych niniejszego przykładowego zadania.

Zwraca się uwagę, że szacunkowe koszty użytkowników spadają w roku 15. i ponownie wzrastają w roku 30. Jest to spójne z dłuższym trwającym początkowym obszarem robót, po którym następują krótkotrwałe obszary robót modernizacyjnych przy ciągle wzrastającym z upływem czasu natężeniem ruchu. Tabela 3-1 przedstawia wyniki obliczeń wartości bieżącej z wykorzystaniem czynników tej wartości i czteroprocentowej realnej stopy dyskonta pojedynczych kwot w przyszłości dla przykładowego schematu strumieni wydatków. Łączną wartość bieżącą netto sumy poszczególnych wartości bieżących podano w ostatnim wierszu tabeli 3-1.

Rysunek 3-9. Schemat przepływów pieniężnych z tytułu kosztów zarządcy i użytkowników [Praca 1]

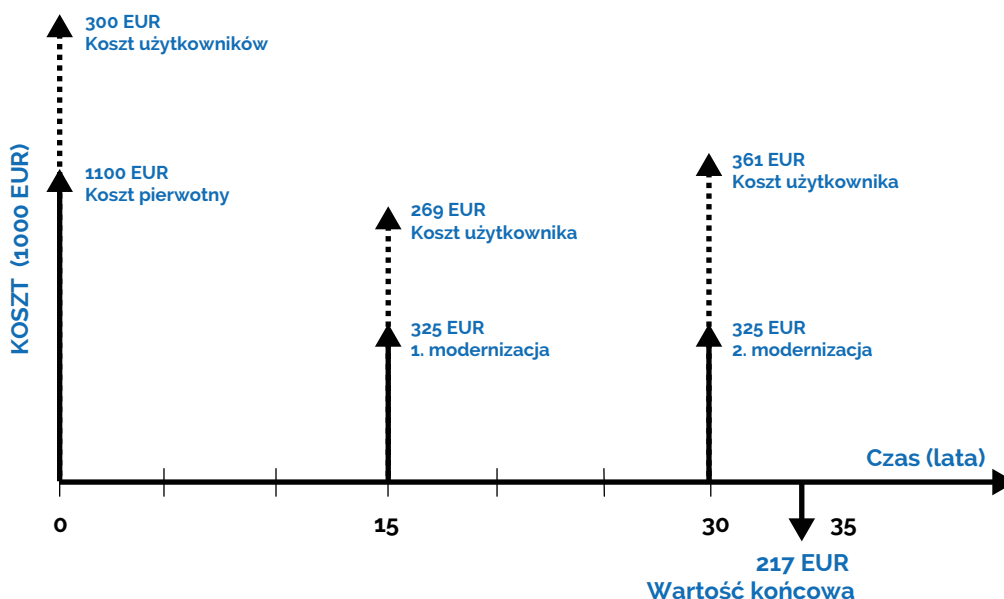


Tabela 3-1. Kalkulacja wartości bieżącej netto z użyciem czynników 4-procentowej stopy dyskonta

Składnik kosztowy robót	Lata	Koszty (tys. EUR)	Czynnik wartości bieżącej	Wartość bieżąca kosztu (tys. EUR)
Pierwotna budowa	0	1 100	1,0000	1 100
Koszty użytkowników pierwotnego obszaru robót	0	300	1,0000	300
1. modernizacja	15	325	0,5553	180
Koszty użytkowników obszaru robót 1. modernizacji	15	269	0,5553	149
2. modernizacja	30	325	0,3083	100
Koszty użytkowników obszaru robót 2. modernizacji	30	361	0,3083	111
Wartość końcowa pozostałej żywotności	35	-217	0,2534	-55
Łączna wartość bieżąca netto				1 886

8. ANALIZA WYNIKÓW I ANALIZA WRAŻLIWOŚCI

Wyniki analizy LCCA zależą od wartości różnych parametrów wejściowych. Wartość tych parametrów jest obciążona niepewnością i zmiennością wynikającą głównie z faktu, że co do większości tych parametrów trzeba czynić założenia, projekcje i oszacowania na przyszłość. Kiedy analizę LCCA prowadzi się w podejściu deterministycznym, tę zmienność parametrów wejściowych ignoruje się, co jest poważną wadą tego podejścia.

Z tego powodu, po przeprowadzeniu analizy LCCA każdego z alternatywnych projektów należy ją przynajmniej poddać analizie wrażliwości, aby tę wadę ograniczyć. Analiza wrażliwości to technika stosowana w celu określenia wpływu różnic w głównych parametrach wejściowych analizy LCCA na wyniki tej analizy. W analizie wrażliwości zmienia się główne wartości wejściowe (o jakiś procent pierwotnej wartości czy też w przedziale wartości), podczas gdy pozostałe wartości wejściowe pozostawia się bez zmian, a potem bada się wartość zmiany wyników. Następnie zmienne wejściowe można poszeregować zgodnie z ich oddziaływaniem na wyniki. Analiza wrażliwości pozwala analitykowi uzyskać subiektywne poczucie oddziaływania zmienności poszczególnych wartości wejściowych na całościowe wyniki analizy LCCA.

Analiza wrażliwości często dotyczy scenariusza najgorszego i najlepszego, co pozwala określić granice zakresu wyników. Jako minimum należy przeprowadzić analizę wrażliwości kosztu cyklu eksploatacji, aby ocenić wpływ zastosowanej stopy dyskonta na wyniki analizy LCCA. Analizę wrażliwości umożliwiają popularne arkusze kalkulacyjne jak Microsoft Excel, Lotus lub Quattro Pro.

Dla przykładu, w tabelach 3-2 i 3-3 [Praca 1] przedstawiono wyniki prowadzonej w arkuszu kalkulacyjnym analizy wrażliwości wartości bieżącej netto dwóch przykładowych strategii projektowania nawierzchni na stopy dyskonta w przedziale od 2 do 6 procent przy 35-letnim okresie analizy. Łączne wartości bieżące netto przy stopach dyskonta od 2% do 6% znajdują się na dole kolumn.

Tabela 3-2. Analiza wrażliwości - Alternatywa 1

Składnik kosztowy robót	Rok	Koszt (tys. EUR)	Wartość bieżąca netto NPV (tys. EUR)				
			2,0%	3,0%	4,0%	5,0%	6,0%
Pierwotna budowa	0	975	975	975	975	975	975
Pierwotny koszt użytkowników obszaru robót	0	200	200	200	200	200	200
1. modernizacja	10	200	164	149	135	123	112
Koszt użytkowników obszaru robót 1. modernizacji	10	269	220	200	182	165	150
2. modernizacja	20	200	135	111	91	75	62
Koszt użytkowników obszaru robót 2. modernizacji	20	361	243	200	165	136	113
3. modernizacja	30	200	110	82	62	46	35
Koszt użytkowników obszaru robót 3. modernizacji	30	485	268	200	150	112	85
Wartość końcowa	35	-100	-50	-36	-25	-18	-13
Łączna wartość bieżąca netto			2 265	2 081	1 935	1 814	1 719

Tabela 3-3. Analiza wrażliwości - Alternatywa 2

Składnik kosztowy robót	Rok	Koszt (tys. EUR)	Wartość bieżąca netto NPV (tys. EUR)				
			2,0%	3,0%	4,0%	5,0%	6,0%
Pierwotna budowa	0	1 100	1 100	1 100	1 100	1 100	1 100
Pierwotny koszt użytkowników obszaru robót	0	300	300	300	300	300	300
1. modernizacja	15	325	241	209	180	156	136
Koszt użytkowników obszaru robót 1. modernizacji	15	269	200	173	149	129	112
2. modernizacja	30	325	179	134	100	75	57
Koszt użytkowników obszaru robót 2. modernizacji	30	361	199	149	111	84	63
Wartość końcowa	35	-217	-108	-77	-55	-39	-28
Łączna wartość bieżąca netto			2 111	1 988	1 886	1 805	1 740

Pierwotny koszt zarządcy (budowy) Alternatywy 1 jest niższy niż Alternatywy 2, a z powodu krótszego okresu budowy również koszt użytkowników jest niższy w Alternatywie 1 niż w 2. Alternatywa 1 wymaga trzech identycznych modernizacji co dziesięć lat, a w Alternatywie 2 wymagane są dwie identyczne planowe modernizacje co lat 15. Koszty użytkowników Alternatywy 1 rosną na skutek zwiększenia natężenia ruchu do momentu wykonania modernizacji. Koszty użytkowników Alternatywy 2 najpierw się obniżają z powodu krótszego czasu trwania obszaru robót, a następnie wzrastają na skutek zwiększonego natężenia ruchu w momencie drugiej modernizacji.

Obie alternatywy mają też w 35. roku różną pozostałą żywotność. W Alternatywie 1 pozostaje 5 lat okresu użytkowania, a w Alternatywie 2 10 lat wartości końcowej wynikającej z pozostałego okresu użytkowania. Pewnym sposobem oszacowania wartości końcowej jest jej obliczenie jako proporcjonalnego udziału w koszcie ostatniej modernizacji. W Alternatywie 1 kwota ta wynosi 50% (pozostaje 5 lat z 10-letniej żywotności po modernizacji) kosztu ostatniej modernizacji. Oznacza to 50% z 200 tys. EUR kosztu modernizacji w roku 30., czyli 100 tys. EUR. Z kolei wartość końcowa Alternatywy 2 to 66,6% (pozostaje 10 lat z 15-letniej żywotności po modernizacji) kosztu ostatniej

Tabela 3-4. Porównanie alternatywnych NPV (1 000 EUR) do stopy dyskontowej

Porównanie	Realna stopa dyskonta				
	2%	3%	4%	5%	6%
Łączna wartość bieżąca netto Alternatywy 1	2 266	2 081	1 934	1 815	1 718
Łączna wartość bieżąca netto Alternatywy 2	2 112	1 987	1 885	1 805	1 739
Przewaga kosztowa Alternatywy 2 nad Alternatywą	154	94	49	10	-21

modernizacji. Przekłada się to na 66,6% z 325 tys. EUR. kosztu modernizacji w 30. roku, czyli na 217 tys. EUR.

W tabeli 3-4 bezpośrednio porównano łączną wartość bieżącą netto (NPV) obu alternatyw przy różnych stopach dyskonta. Jej bliższa lektura dowodzi, że NPV obu alternatyw spada ze wzrostem stopy dyskonta. Wynika to z obniżonej wartości bieżącej przyszłych kosztów przy wyższych stopach dyskonta. Ponieważ kwota i termin ponoszenia przyszłych kosztów różnią się między alternatywami, wpływ stopy dyskonta na NPV każdej alternatywy jest inny.

W niniejszym przykładzie Alternatywa 1 jest bardziej kosztowna od Alternatywy 2 przy stopach dyskonta wynoszących do 5 procent, podczas gdy Alternatywa 2 jest droższa od 1 przy stopach dyskonta od 6 procent w górę. Wyniki te przedstawiono graficznie na rysunku 3-10.

W tabeli 3-5 [Praca 1] rozdzielono różnice kosztów zarządcy i użytkowników dla tego samego zakresu stóp dyskonta. Lektura tej tabeli dowodzi, że w Alternatywie 2 koszt

Rysunek 3-10. Wrażliwość NPV (tys. EUR) na stopę dyskonta

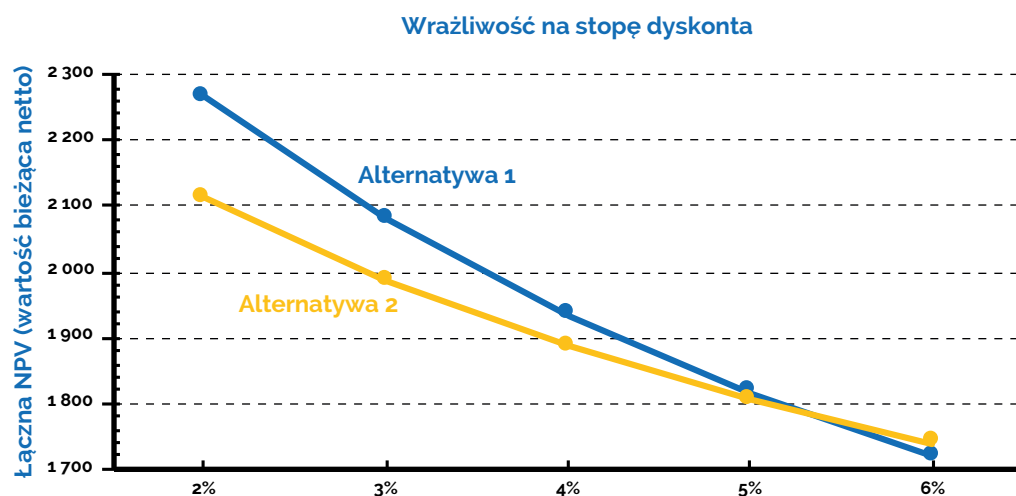


Tabela 3-5. Wrażliwość na koszt użytkowników (1 000 EUR) i stopa dyskonta

Składnik kosztowy	Realna stopa dyskonta				
	2%	3%	4%	5%	6%
Koszt zarządcy Alternatywy 1	1 334	1 281	1 238	1 201	1 171
Koszt zarządcy Alternatywy 2	1 413	1 366	1 326	1 292	1 264
Przewaga kosztu zarządcy Alternatywy 2 nad Alternatywą 1	-79	-85	-88	-91	-93
Koszt użytkowników Alternatywy 1	932	800	696	613	547
Koszt użytkowników Alternatywy 2	699	621	561	513	475
Przewaga kosztu użytkowników Alternatywy 2 nad Alternatywą 1	233	179	135	100	72
Przyrostowa przewaga korzyści/koszt Alternatywy 2 nad Alternatywą 2	2,95	2,11	1,53	1,10	0,77

zarządcy jest wyższy niż w Alternatywie 1 przy wszystkich rozważanych stopach dyskonta. Ponadto w Alternatywie 2 koszt użytkowników jest niższy niż w Alternatywie 1 przy wszystkich rozważanych stopach dyskonta.

Powyższy przykład dowodzi, że decyzja o uwzględnieniu lub pominięciu kosztów użytkowników może istotnie wpłynąć na wyniki analizy LCCA. Aby koszty zarządcy i użytkowników nie były wyrwane z kontekstu, w ostatnim wierszu tabeli 3-5 przedstawiono przyrostowe porównanie wskaźnika korzyści/kosztu wynikającego z obniżenia kosztów użytkowników w funkcji wzrostu kosztów zarządcy. Przyrostowy wskaźnik korzyści/kosztu w tabeli 3-5 obliczono jako iloraz obniżki kosztów użytkowników (czyli korzyści) związanej z wyborem Alternatywy 2 zamiast Alternatywy 1 i dodatkowych kosztów zarządcy związanych z wyborem Alternatywy 2.

Podobne analizy wrażliwości można również przeprowadzić dla innych zmiennych wejściowych, takich jak koszty zarządcy, koszty użytkowników, żywotność nawierzchni, długość okresu analizy itp.

9. PONOWNA OCENA STRATEGII PROJEKTOWANIA

Po wyliczeniu wartości bieżącej netto każdej alternatywy, a następnie wykonaniu pewnych analiz wrażliwości analityk musi ponownie ocenić konkurencyjne strategie projektowania. Jak wspomniano powyżej, głównej korzyści z analizy kosztu cyklu eksploatacji nie stanowią koniecznie same wyniki tej analizy, tylko to, jak projektant może wykorzystać informacje z tej analizy do zmodyfikowania proponowanych alternatyw i opracowania bardziej efektywnych kosztowo strategii.

Wyniki analizy LCCA są tylko jednym z czynników, które wpływają na ostateczny wybór strategii projektowania nawierzchni. Ostateczna decyzja może uwzględniać wiele dodatkowych czynników spoza zakresu analizy LCCA, takich jak lokalna polityka, dostępność finansowania, zdolność branży do realizacji budowy oraz doświadczenie zarządcy z danym rodzajem nawierzchni, a także dokładność modeli projektowania i modernizacji nawierzchni. Kiedy te inne czynniki mają dużą wagę przy wyborze ostatecznego projektu nawierzchni, zdecydowanie należy udokumentować ich wpływ na końcową decyzję.

4 - SZCZEGÓLNE ZAGADNIENIA LCCA

Wyniki analizy LCCA zależą od wielu zmiennych czynników i parametrów. Ważne jest, aby wystarczająco dobrze rozumieć tę zmienność i sposoby radzenia sobie z nią. W tym zakresie niniejsza publikacja opisuje następujące zagadnienia specjalne:

- uwzględnianie wskaźników inflacji specyficznych dla materiałów oraz zmienności stóp dyskonta
- probabilistyczne podejście do analizy LCCA
- sposoby traktowania nierównych żywotności.

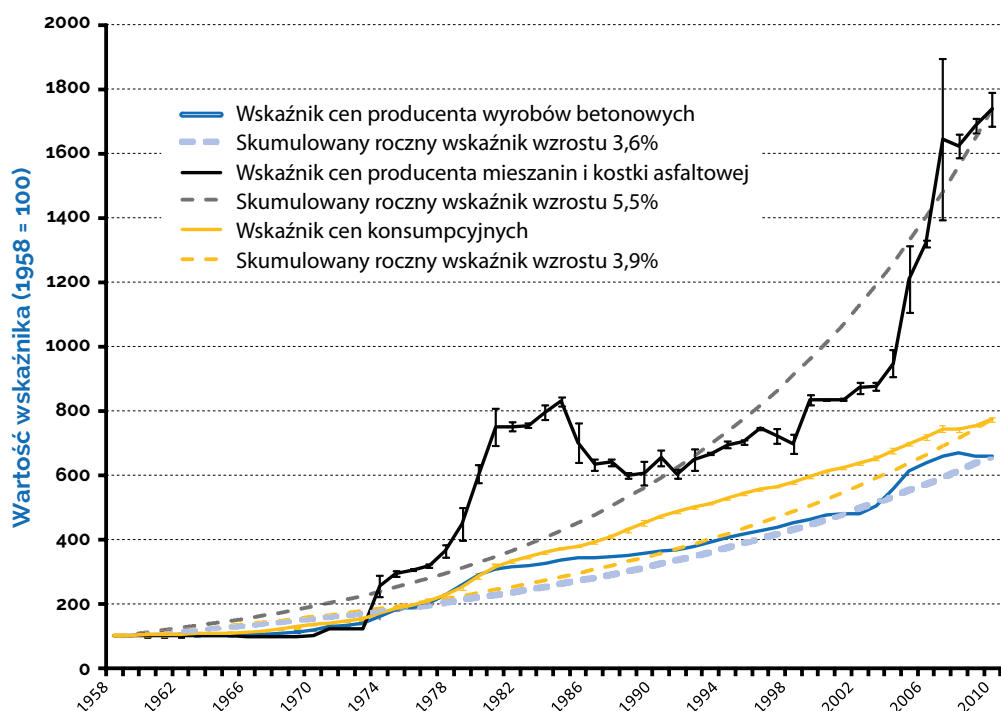
1. UWZGLĘDNIENIE W LCCA WSKAŹNIKÓW INFLACJI SPECYFICZNYCH DLA MATERIAŁÓW

Jak wspomniano w rozdziale 2, większość zarządców autostrad przeprowadza analizę LCCA wykorzystując realne przepływy pieniężne i jedną (zwaną również „ogólną”) realną stopę dyskonta. Podejście to często stosuje się, aby uniknąć komplikacji przy obliczaniu realnych stóp dyskonta dla danego regionu lub dla materiałów w celu odzwierciedlenia rzeczywistych zmian cen materiałów.

Wadą tego podejścia jest domyślne założenie, że wskaźnik wzrostu cen wszystkich materiałów jest taki sam jak ogólny wskaźnik inflacji. Jednak niedawne badania zmian cen historycznych materiałów nawierzchniowych w USA wykazały, że w przypadku niektórych materiałów jest wręcz odwrotnie: występują istotne różnice w specyficznych dla materiałów wskaźnikach inflacji. Przedstawiono to graficznie na rysunku 4-1 [Praca 2].

Linie ciągłe przedstawiają faktyczną zmianę wartości wskaźników. Linie kropkowane to linie trendu skumulowanej rocznej stopy wzrostu (CAGR) cen produktów betonowych i asfaltowych w porównaniu ze wskaźnikiem cen konsumpcyjnych (CPI) w USA. W przedstawionym okresie wskaźnik cen producenta (PPI) wyrobów betonowych i wskaźnik cen konsumpcyjnych są podobne (3,6% i 3,9%), co oznacza, że ceny wyrobów betonowych zachowują się podobnie do cen amerykańskich wyrobów konsumpcyjnych (CPI). Ceny betonu wyglądają na bardziej stabilne i łatwiejsze do prognozowania na przyszłość. Inaczej jest w przypadku wyrobów asfaltowych, których stopa inflacji jest znacznie wyższa (5,5%). Różnica w inflacji między materiałami jest

Rysunek 4-1. USA: Wskaźnik cen producentów (PPI) wyrobów betonowych oraz mieszanek i kostek asfaltowych w porównaniu ze wskaźnikiem cen konsumpcyjnych (CPI) w latach 1958–2011. [Praca 2]



wystarczająco istotna, aby ją uwzględnić w kompleksowej analizie LCCA.

Obecnie w specjalistycznych publikacjach omawia się zagadnienie specyficznych dla materiałów stawek inflacji materiałów nawierzchniowych jako sposobu poprawy wyników analiz LCCA i ich urealnienia. Więcej szczegółów i konkretnych odniesień można znaleźć w tych publikacjach, np. [Praca 2], [Praca 3].

2. PODEJŚCIE PROBABILISTYCZNE— STRESZCZENIE [PRACA 2]

Standardowa, wyjaśniona powyżej procedura wykonania analizy LCCA opisuje tzw. podejście deterministyczne do tego zadania, ponieważ zakłada się jedną, określoną wartość każdej zmiennej wejściowej. Zmienne wejściowe są traktowane jako dyskretne stałe zmienne, tak jakby wartości te były pewne.

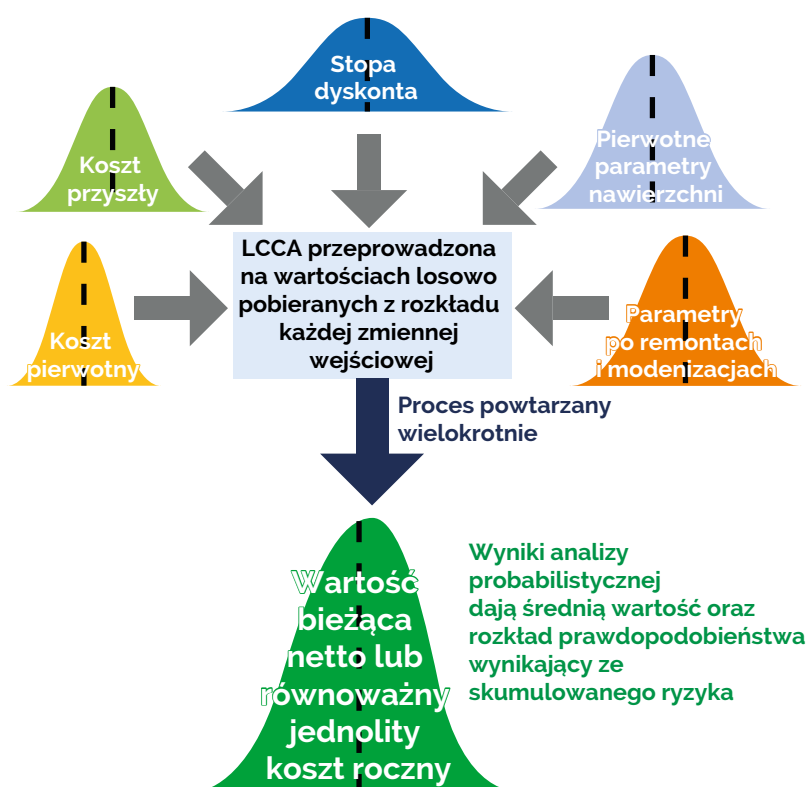
Proces analizy LCCA oparty jest na wielu założeniach, oszacowaniach i prognozach. Zmienność tych danych wejściowych potrafi poważnie wpływać na pewność, z jaką analityk może traktować wyniki LCCA.

Jak wyjaśniono powyżej, można jako minimalny sposób poradzenia sobie z niepewnością parametrów wejściowych przeprowadzić analizę wrażliwości. Jednak podstawową wadą analizy wrażliwości jest równa waga, jaką przypisuje ona każdej wartości wejściowej i założeniu, niezależnie od prawdopodobieństwa jego wystąpienia. Innymi słowy, skrajnym wartościom (scenariuszowi najlepszemu i najgorszemu) przypisuje się takie samo prawdopodobieństwo wystąpienia jak wartości oczekiwanej, co jest nierealistyczne.

W probabilistycznym podejściu do analizy LCCA uwzględnia się zmienność każdej danej wejściowej i wykorzystuje tę zmienność do wygenerowania rozkładu prawdopodobieństwa obliczonego kosztu cyklu eksploatacji. Szerokość rozkładu prawdopodobieństwa wyliczonego kosztu cyklu eksploatacji pokazuje, jak bardzo faktyczny koszt cyklu eksploatacji może się zmieniać na skutek zmienności wartości wejściowych, co schematycznie przedstawiono na rysunku 4-2.

Probabilistyczne podejście do analizy LCCA jest koncepcją stosunkowo nową, ale stało się ostatnio bardziej wykonalne dzięki dostępności odpowiedniego oprogramowania. Procedura probabilistycznej LCCA przeprowadzanej przez FHWA w należącym do tej agencji oprogramowaniu RealCost LCCA wykorzystuje symulacje Monte Carlo do wyboru losowej wartości każdej zmiennej wejściowej z jej rozkładu prawdopodobieństwa, a następnie wylicza NPV lub EUAC (równoważny jednolity koszt roczny) dla wybranych wartości. W danych wyjściowych z tego programu rozkład prawdopodobieństwa NPV jest opisany jej średnią i odchyleniem standardowym; podawane są również minimalna i maksymalna wartość bieżąca netto. Zazwyczaj koszty poniesione bliżej początku okresu analizy można oszacować z większą pewnością niż te ponoszone później. Tak więc koszty pierwotne można oszacować z węższym rozkładem prawdopodobieństwa niż koszty przyszłe.

Rysunek 4-2. Schemat procesu analizy probabilistycznej (za NCHRP w Pracy 2).



3. METODY POSTĘPOWANIA Z NIERÓWNYMI ŻYWOTNOŚCIAMI

Są dwa sposoby postępowania z nierównymi żywotnościami w LCCA:

- określić wartość końcową alternatyw
- określić NPV w „nieskończonym horyzoncie”.

Określenie wartości końcowej alternatyw

Jeżeli koniec okresu analizy jest tożsamy z końcem żywotności alternatywnej nawierzchni, to nawierzchnia ta ma wartość końcową, a mianowicie wartość końcową z recyklingu. W przeciwnym wypadku, czyli kiedy żywotność wykracza poza okres analizy, należy ustalić wartość końcową pozostałego okresu eksploatacji. W kalkulacjach wartości bieżącej netto alternatyw wartość końcową ujmuje się jako korzyść (ujemny koszt). Z różnych rodzajów wartości końcowej najważniejszą i jednocześnie najtrudniejszą do oszacowania jest wartość końcową pozostałego okresu eksploatacji. Przykład jej szacowania opisano powyżej.

Trudności tej można uniknąć przez określenie wartości bieżącej netto w „nieskończonym horyzoncie”, co wyjaśniono poniżej.

Określenie NPV w „nieskończonym horyzoncie”

Po pierwotnej budowie, okres eksploatacji każdej strategii budowy nawierzchni składa się z typowego cyklu robót, czyli „rutynowego utrzymania - wyburzenia - modernizacji/ odbudowy”. Przy założeniu, że ten typowy cykl robót jest powtarzany w nieskończoność w przypadku każdej strategii dotyczącej nawierzchni nie potrzeba szacować wartości końcowej pozostałego okresu eksploatacji. W sumie odpowiada to domyślnemu założeniu, że okres analizy trwa przez nieskończenie wiele lat.

NPV w nieskończonym horyzoncie (∞H) oblicza się następująco:

Krok 1 – Określić wartość bieżącą netto (NPV_L) wszystkich kosztów i korzyści w ciągu

typowego cyklu w okresie eksploatacji L (liczba lat) po pierwotnym koszcie budowy. Wyraża to następujący wzór:

$$NPV_L = \sum_{k=1}^Q FC_k \left[\frac{1}{(1+r)^{y_k}} \right] - RV \left[\frac{1}{(1+r)^L} \right]$$

Krok 2 – Obliczyć czynnik nieskończonego horyzontu $F_{\infty H_L}$ dla analizowanej alternatywy z następującego wzoru

$$F_{\infty H_L} = \left[\frac{(1+r)^L}{(1+r)^L - 1} \right]$$

Krok 3 – Określić NPV w nieskończonym horyzoncie $NPV_{\infty H}$ analizowanej alternatywy z następującego wzoru:

$$NPV_{\infty H} = IC + NPV_L * F_{\infty H_L}$$

W powyższych równaniach:

IC = pierwotny koszt budowy

FC_k = przyszły koszt roboty k , w tym wyburzenia, recyklingu i odbudowy

RV = wartość końcowa z recyklingu

r = realna stopa dyskonta

y_k = nr kolejny przyszłego roku przepływu pieniężnego z roboty k

Q = łączna liczba robót

L = liczba lat okresu eksploatacji od pierwotnej budowy do odbudowy danej alternatywy

Podejście to nie jest szeroko rozpowszechnione w praktyce analiz LCCA nawierzchni. Częściowo może to wynikać z tej wady, że w przedmiotowym podejściu zakłada się, iż typowy cykl robót w ciągu pierwszego okresu eksploatacji, czyli od pierwotnej budowy do odbudowy, będzie się powtarzał w nieskończoność—a niekoniecznie tak jest. Podejście to zastosowano w analizie LCCA Obwodnicy Antwerpii w roku 2002 [Praca 4].

5 – PRZYKŁADY LCCA

INFORMACJE OGÓLNE

W międzynarodowej literaturze dotyczącej LCCA opisano wiele przykładów konkretnych inwestycji. W niniejszym rozdziale zaprezentowano tylko dwa przykłady zaczerpnięte z literatury międzynarodowej, do tego w skrócie. Więcej szczegółów można znaleźć w odpowiednich cytowanych pracach.

Ponieważ niniejsza publikacja koncentruje się na podejściu deterministycznym, przedstawione przykłady ograniczają się do opisu standardowych kroków przeprowadzonej analizy deterministycznej. W przykładach, dla których przeprowadzono również analizę probabilistyczną czytelnika odsyła się po szczegóły tej analizy do danej pracy źródłowej.

W przypadku każdego z przykładów dane o kosztach obowiązują tylko dla opisanej inwestycji i tylko w roku jej budowy. Ponadto danych o kosztach i szczegółów konstrukcji nawierzchni nie należy wykorzystywać do innych, podobnych inwestycji, ponieważ dane te i szczegóły uzależnione są od wielu zmiennych, które są typowe dla danej inwestycji i danego regionu lub kraju świata.



PRZYKŁAD 1 DROGA LOKALNA

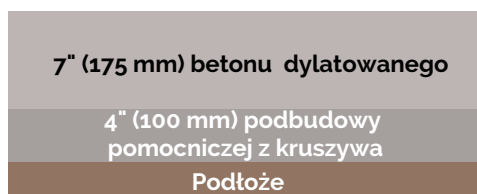
PRZYKŁAD 1A OBLICZENIE NPV W PODEJŚCIU DETERMINISTYCZNYM [ZACZERPNIĘTE Z PRACY 2]

Pierwszy przykład dotyczy obliczenia (w roku 2008) LCCA drogi lokalnej w podejściu deterministycznym. Specyfika tego przykładu została skrótowo opisana poniżej. Bardziej szczegółowy opis i dyskusja dotycząca tego przykładu, włącznie z wynikami podejścia probabilistycznego, znajdują się w Pracy 2. Aby utrzymać spójność ze szczegółowymi informacjami z Pracy 2, nie przeliczono jednostek imperialnych i wartości w USD.

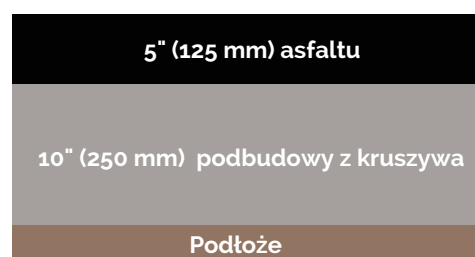
Zakres projektu obejmował odbudowę około 10 tys. SY (8 360 m²) nawierzchni ulicy Diversey Boulevard w Whitefish Bay, Stan Wisconsin. Poprzednia nawierzchnia betonowa (mająca w roku 2008 80 lat) była nadal w dobrym stanie.

Dwie analizowane konstrukcje nawierzchni przedstawia rysunek 5-1.

Rysunek 5-1. Konstrukcja nawierzchni analizowanych alternatyw



Alternatywa betonowa



Alternatywa asfaltowa

Krok 1 - Wybór okresu analizy: Ze względu na długi okres eksploatacji poprzedniej nawierzchni betonowej wybrano okres analizy wynoszący 90 lat

Krok 2 - Wybór realnej stopy dyskonta:

Do kalkulacji deterministycznej przyjęto realną stopę dyskonta wynoszącą 3%.

Krok 3 - Oszacowanie pierwotnych kosztów zarządcy:

Pierwotne koszty zarządcy zestawiono w tabelach 5-1 i 5-2. Zwraca się uwagę, że pierwotne koszty alternatywy asfaltowej są o około 15% niższe niż alternatywy betonowej.

ALTERNATYWA BETONOWA

Tabela 5-1. Alternatywa betonowa - pierwotne koszty zarządcy

Opis robót	Ilość	Cena jednostkowa	Łączny koszt
7-calowa nawierzchnia betonowa	10 000 SY	22,00 USD/SY	220 000 USD
Betonowy krawężnik i odwodnienie liniowe	5 580 LF	11,00 USD/LF	61 380 USD
4-calowa podbudowa pomocnicza z kruszywa	3 120 ton	10,50 USD/t	32 760 USD
Niesklasyfikowane roboty ziemne	4 600 CY	13,00 USD/CY	59 800 USD
	ŁĄCZNY PIERWOTNY KOSZT ZARZĄDCY		373 940 USD

ALTERNATYWA ASFALTOWA

Tabela 5-2. Alternatywa betonowa - pierwotne koszty zarządcy

Opis robót	Ilość	Cena jednostkowa	Łączny koszt
2-calowa asfaltowa warstwa ścieralna	1 150 ton	48,42 USD/t	55 683 USD
Warstwa wiążąca 2	250 gal	1,25 USD/gal	313 USD
3-calowa asfaltowa warstwa wyrównawcza	1 725 ton	42,10 USD/t	72 623 USD
Warstwa wiążąca 1	200 gal	1,25 USD/gal	250 USD
Betonowy krawężnik i odwodnienie liniowe	5 580 LF	11,00 USD/LF	61 380 USD
10-calowa podbudowa z kruszywa	5 200 ton	10,50 USD/t	54 600 USD
Niesklasyfikowane roboty ziemne	5 230 CY	14,00 USD/CY	73 220 USD
	ŁĄCZNY PIERWOTNY KOSZT ZARZĄDCY		313 053 USD

Krok 4 – Oszacowanie kosztów użytkowników.

W przedmiotowych kalkulacjach nie uwzględniono kosztów użytkowników

Krok 5 – Oszacowanie przyszłych kosztów zarządcy

ALTERNATYWA BETONOWA

Tabela 5-3. Alternatywa betonowa - przyszłe koszty zarządcy

Rok	Rodzaj robót	Opis robót	Ilość	Cena jedn. łącznie	Koszt
15	Remont	Wypełnianie dylatacji (15%)	2 250 LF	0,50 USD/LF	1 125 USD
30	Konserwacja	Wypełnianie dylatacji (30%)	4 500 LF	0,50 USD/LF	2 250 USD
30	Konserwacja	Naprawa na całą głębokość (2% płyt z naprawą po 6 ft)	40 CY	180 USD/CY	7 200 USD
30	Konserwacja	Naprawa na części głębokości (naprawa 3% dylatacji)	180 LF	15,00 USD/LF	2 700 USD
45	Remont	Wypełnianie dylatacji (30%)	4 500 LF	0,50 USD/LF	2 250 USD
60	Remont	Wypełnianie dylatacji (30%)	4 500 LF	0,50 USD/LF	2 250 USD
60	Konserwacja	Naprawa na całą głębokość (4% płyt z naprawą po 6 ft)	80 CY	180 USD/CY	14 400 USD
60	Konserwacja	Naprawa na części głębokości (naprawa 6% dylatacji)	360 LF	15,00 USD/LF	5 400 USD
75	Remont	Wypełnianie dylatacji (30%)	4 500 LF	0,50 USD/LF	2 250 USD

ALTERNATYWA ASFALTOWA

Tabela 5-4. Alternatywa asfaltowa - przyszłe koszty zarządcy

Rok	Rodzaj robót	Opis robót	Ilość	Cena jedn. łącznie	Koszt
3	Remont	Wypełnianie pęknięć	3 000 LF	0,50 USD/LF	1 500 USD
7	Remont	Wypełnianie pęknięć	4 000 LF	0,50 USD/LF	2 000 USD
15	Konserwacja	Warstwa uszczelniająca	10 000 SY	1,75 USD/SY	17 500 USD
15	Remont	Wypełnianie pęknięć	5 000 LF	0,50 USD/LF	2 500 USD
22	Remont	Wypełnianie pęknięć	6 000 LF	0,50 USD/LF	3 000 USD
30	Odbudowa	Usunięcie nawierzchni	10 000 SY	2,00 USD/SY	20 000 USD
30	Odbudowa	Wymiana nawierzchni	1 LS	318 068 USD/LS	318 068 USD
33	Remont	Wypełnianie pęknięć	3 000 LF	0,50 USD/LF	1 500 USD
37	Remont	Wypełnianie pęknięć	4 000 LF	0,50 USD/LF	2 000 USD
45	Konserwacja	Warstwa uszczelniająca	10 000 SY	1,75 USD/SY	17 500 USD
45	Remont	Wypełnianie pęknięć	5 000 LF	0,50 USD/LF	2 500 USD
52	Remont	Wypełnianie pęknięć	6 000 LF	0,50 USD/LF	3 000 USD
60	Odbudowa	Usunięcie nawierzchni	10 000 SY	2,00 USD/SY	20 000 USD
60	Odbudowa	Wymiana nawierzchni	1 LS	318 068 USD/LS	318 068 USD
63	Remont	Wypełnianie pęknięć	3 000 LF	0,50 USD/LF	1 500 USD
67	Remont	Wypełnianie pęknięć	4 000 LF	0,50 USD/LF	2 000 USD
75	Konserwacja	Warstwa uszczelniająca	10 000 SY	1,75 USD/SY	17 500 USD
75	Remont	Wypełnianie pęknięć	5 000 LF	0,50 USD/LF	2 500 USD
82	Remont	Wypełnianie pęknięć	6 000 LF	0,50 USD/LF	3 000 USD

Krok 6 – Oszacowanie wartości końcowej

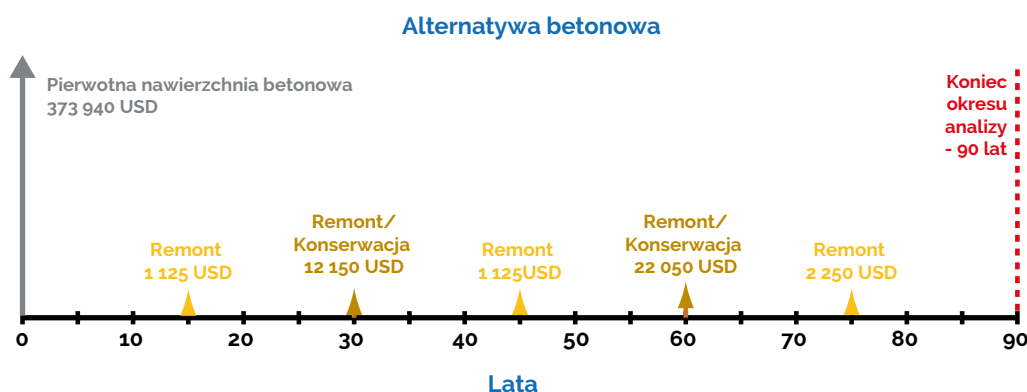
Wartości końcowej żadnej z alternatyw nie uwzględnia się z następujących powodów:

- NPV tej wartości końcowej byłaby bardzo niska ze względu na długi okres analizy wynoszący 90 lat.
- Na koniec tego okresu każda z alternatyw zbliża się do końca swojej żywotności.
- Zakłada się, że wartości końcowe są podobne.

Krok 7 – Obliczenie NPV alternatyw i ich porównanie

Podsumowanie przyszłych kosztów zarządzcy ponoszonych w tym samym roku daje schemat przepływów pieniężnych dla każdej alternatywy przedstawiony na rysunkach 5-2 i 5-3. Wyniki kalkulacji NPV zestawiono w tabelach 5-5 i 5-6.

ALTERNATYWA BETONOWA



Rysunek 5-2. Alternatywa betonowa - schemat przepływów pieniężnych

Tabela 5-5. Alternatywa betonowa - kalkulacja NPV (r=3%)

Rok	Rodzaj robót	Łączny koszt	Wartość bieżąca
0	Pierwotna budowa	373 940 USD	373 940 USD
15	Remont	1 125 USD	722 USD
30	Remont/konserwacja	12 150 USD	5 006 USD
45	Remont	2 250 USD	595 USD
60	Remont/konserwacja	22 050 USD	3 743 USD
75	Remont	2 250 USD	245 USD
		Łączna wartość bieżąca netto (NPV)	384 250 USD

ALTERNATYWA ASFALTOWA

Rysunek 5-3. Alternatywa asfaltowa - schemat przepływów pieniężnych

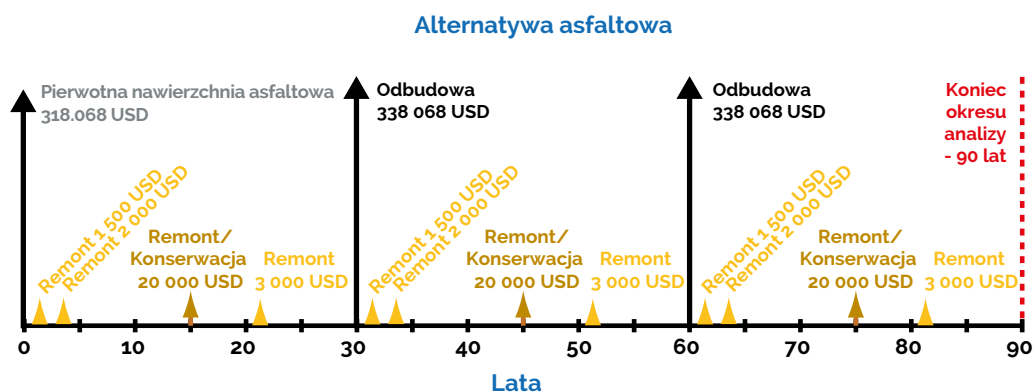


Tabela 5-6. Alternatywa asfaltowa
– kalkulacja NPV

Rok	Rodzaj robót	Łączny koszt	Wartość bieżąca
0	Pierwotna budowa	318 068 USD	318 068 USD
3	Remont	1 500 USD	1 373 USD
7	Remont	2 000 USD	1 626 USD
15	Remont/Konserwacja	20 000 USD	12 837 USD
22	Remont	3 000 USD	1 566 USD
30	Odbudowa	338 068 USD	139 280 USD
33	Remont	1 500 USD	566 USD
37	Remont	2 000 USD	670 USD
45	Remont/Konserwacja	20 000 USD	5 289 USD
52	Remont	3 000 USD	645 USD
60	Odbudowa	338 068 USD	57 381 USD
63	Remont	1 500 USD	233 USD
67	Remont	2 000 USD	276 USD
75	Remont/Konserwacja	20 000 USD	2 179 USD
82	Remont	3 000 USD	266 USD
		Łączna wartość bieżąca netto (NPV)	542 254 USD

Obliczone NPV wskazują, że według analizy deterministycznej NPV alternatywy betonowej jest o 29% niższa niż alternatywy asfaltowej w okresie analizy wynoszącym 90 lat.

Również w Pracy 2 podkreślono wrażliwość wyników na zmienność pewnych parametrów i wyciągnięto poniższe wnioski.

Oddziaływanie analizy

Gdyby przyjęto okres analizy krótszy niż 30 lat, alternatywa asfaltowa okazałaby się bardziej efektywna kosztowo. Kiedy długość okresu analizy przekroczy 30 lat, zawsze bardziej efektywna kosztowo staje się alternatywa betonowa.

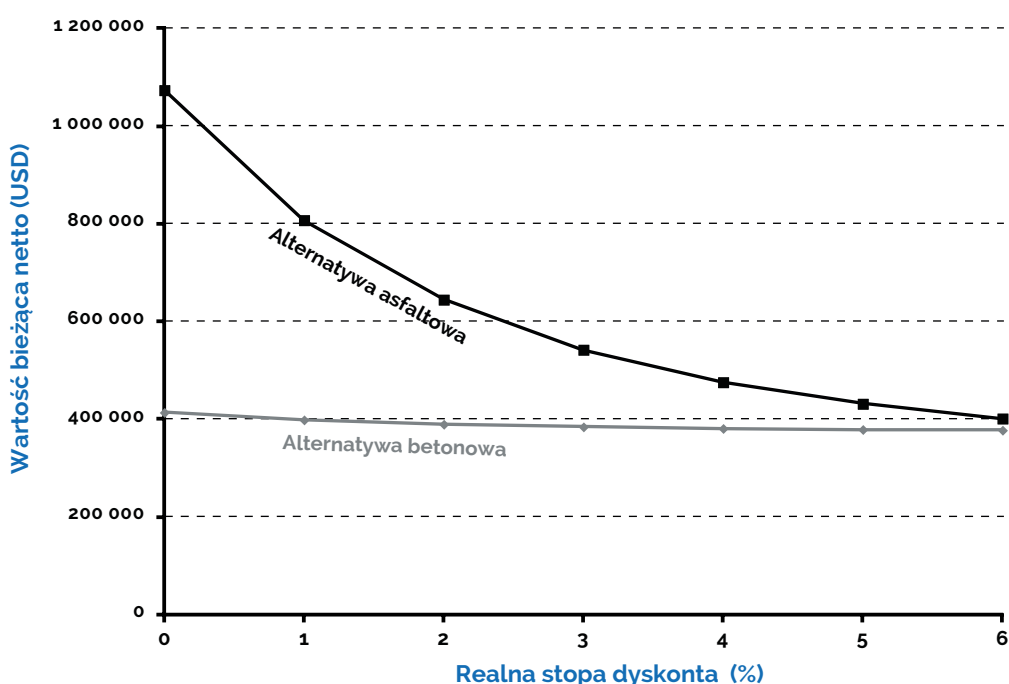
Oddziaływanie realnej stopy dyskonta

Wrażliwość NPV na realną stopę dyskonta przedstawiono na rysunku 5-4 dla realnych stóp dyskonta z zakresu od 0% do 6%. W porównaniu z alternatywą asfaltową, alternatywa betonowa staje się bardziej efektywna kosztowo w miarę spadku stopy dyskonta. W przypadku stopy dyskonta wynoszącej 6%, wartości bieżące netto obu alternatyw są porównywalne. Przy stopach dyskonta przekraczających 6% alternatywa asfaltowa miałaby nawet niższą NPV niż betonowa. Jednak biorąc pod uwagę historyczne wartości realnej stopy dyskonta oraz bieżące trendy inflacji i stóp procentowych, takie stopy dyskonta nie są realistyczne.

Oddziaływanie zmienności prognozowanych przyszłych kosztów

Obliczenia wrażliwości wskazują, że termin robót i przewidywane przyszłe koszty istotnie oddziałują na wyniki analizy LCCA.

Rysunek 5-4. Wrażliwość wartości bieżących netto na zmienne realne stopy dyskonta



PRZYKŁAD 1B OBLICZENIE NPV W NIESKOŃCZONYM HORYZONCIE – PODEJŚCIE DETERMINISTYCZNE

Poza powyższymi kalkulacjami zaczerpniętymi z Pracy 2, dla przykładu podsumowano poniżej wyniki obliczenia NPV powyższej inwestycji w nieskończonym horyzoncie. Obliczenie to jest zgodne z metodą wyjaśnioną pokrótce w § 5.3 niniejszej publikacji. Istota tej metody polega na obliczeniu NPV tylko jednego okresu eksploatacji nawierzchni po robotach i zakłada się, że ten cykl eksploatacji powtarza się później w nieskończoność.

Tabele 5-7 i 5-8 stanowią przekształcenie, odpowiednio, tabel 5-5 i 5-6 przy następujących założeniach i uzupełnieniach:

- Długość L jednego okresu eksploatacji wynosi 90 lat w przypadku alternatywy betonowej i 30 w przypadku asfaltowej.
- Wartość końcową z recyklingu obu alternatyw uznano za podobną, więc wyłączono ją z obliczeń.

- Koszty wyburzenia i odbudowy muszą być uwzględnione w przypadku obu alternatyw.

NPV w nieskończonym horyzoncie otrzymuje się jako iloczyn NPV jednego okresu eksploatacyjnego i czynnika PV w ∞H . Wzrost NPV wynikający z podejścia nieskończonego horyzontu wynosi 7,9%, czyli 1% więcej niż wzrost w przypadku alternatywy asfaltowej. Wynika to z faktu, że w przypadku alternatywy betonowej trzeba dodać również koszty wyburzenia i odbudowy, ponieważ stanowią część typowego cyklu eksploatacji każdej alternatywnej nawierzchni.

NPV alternatywy betonowej w ∞H jest znowu o 29% niższe niż NPV asfaltu w ∞H . Dowodzi to, że obydwa podejścia (z i bez ∞H) prowadzą do tego samego wniosku.

ALTERNATYWA BETONOWA

Tabela 5-7. Alternatywa betonowa - Kalkulacja NPV w nieskończonym horyzoncie ($r=3\%$)

Rok	Rodzaj robót	Łączny koszt	Czynnik wartości bieżącej	Wartość bieżąca (PV)	Czynnik PV w ∞H dla $L=90$ lat	Wart. bież. w ∞H
0	Pierwotna budowa	373 940 USD	1,0000	373 940 USD		373 940 USD
15	Remont	1 125 USD	0,6419	722 USD	1,0752	776 USD
30	Remont/Konserwacja	12 150 USD	0,4120	5 006 USD	1,0752	5 382 USD
45	Remont	2 250 USD	0,2644	595 USD	1,0752	640 USD
60	Remont/Konserwacja	22 050 USD	0,1697	3 743 USD	1,0752	4 024 USD
75	Remont	2 250 USD	0,1089	245 USD	1,0752	264 USD
90	Wyburzenie	20 000 USD	0,0699	1 399 USD	1,0752	1 504 USD
90	Odbudowa	373 940 USD	0,0699	26 149 USD	1,0752	28 115 USD
ŁĄCZNA NPV w nieskończonym horyzoncie						414 644 USD
Wzrost NPV w podejściu ∞H						7,9%

ALTERNATYWA ASFALTOWA

Tabela 5-8. Alternatywa asfaltowa - Kalkulacja NPV w nieskończonym horyzoncie (r=3%)

Rok	Rodzaj robót	Łączny koszt	Czynnik wartości bieżącej	Wartość bieżąca (PV)	Czynnik PV w ∞H dla L=30 lat	Wart. bież. w ∞H
0	Pierwotna budowa	318 068 USD	1,0000	318 068 USD		318 068 USD
3	Remont	1500 USD	0,9151	1 373 USD	1,7006	2 234 USD
7	Remont	20 000 USD	0,8131	1626 USD	1,7006	2 766 USD
15	Remont/Konserwacja	20 000 USD	0,6419	12 837 USD	1,7006	21 832 USD
22	Remont	3000 USD	0,5219	1566 USD	1,7006	2 663 USD
30	Wyburzenie	20 000 USD	0,4120	8 240 USD	1,7006	14 013 USD
30	Odbudowa	318 068 USD	0,4120	131 040 USD	1,7006	222 852 USD
ŁĄCZNA NPV w nieskończonym horyzoncie						584 527 USD
Wzrost NPV w podejściu ∞ H						7,8%

PRZYKŁAD 2 MODERNIZACJA DWUJEZDNIOWEJ AUTOSTRADY: OBWODNICA R1 ANTWERPII W BELGII [PRACA 4]

Drugi przykład to analiza LCCA (przeprowadzona w roku 2002) modernizacji Obwodnicy Antwerpii. Właścicielem jest Flamandzkie Ministerstwo Mobilności i Robót Publicznych, AWV (Agencja ds. Dróg i Ruchu Drogowego) w Belgii.

Zakres projektu: Odnowienie ponad 500 000 (brak jednostki w oryginale - przyp. tłum.) nawierzchni autostrady na głównym ciągu drogi dwujezdniowej o długości 14,2 km w każdym kierunku. Każda jezdnia składa się z minimum 4 pasów ruchu + pasa awaryjnego.

Dalsze szczegóły przedstawiono w Materiałach VIII Międzynarodowej Konferencji na temat Nawierzchni Betonowych (M. Diependaele & L. Rens - Colorado Springs, 2005, referat „*The rehabilitation of the Antwerp Ring Road in Continuously Reinforced Concrete Pavement (CRCP) (Modernizacja obwodnicy Antwerpii w technologii nawierzchni z żelbetu o zbrojeniu ciągłym)*”.

Analizę przeprowadzono dla dwóch alternatywnych nawierzchni: betonowej (CRCP - żelbetowej o zbrojeniu ciągłym) i asfaltowej.

Poniżej opisano dane wejściowe, założenia i wyniki analizy LCCA w podejściu deterministycznym.

1. Określenie alternatywnych strategii projektowania nawierzchni i wybór okresu analizy

Pierwotny projekt nawierzchni wynikał z przewidywanej minimalnej żywotności projektowej 35 lat i był skalkulowany zgodnie z „Flamandzką instrukcją projektowania nawierzchni”. Z projektu tego wynikały dwie alternatywne konstrukcje, czyli żelbetowa o ciągłym zbrojeniu i asfaltowa, opisane w tabeli 5-9.

Na podstawie belgijskiego doświadczenia z obydwoma alternatywnymi nawierzchniami, założono 50-letnią żywotność alternatywy żelbetowej i 35-letnią asfaltowej. W czasie analizy LCCA żywotność tej drugiej przedłużono do 36 lat, aby koniec okresu eksploatacji całej konstrukcji asfaltowej nawierzchni wypadł jednocześnie z końcem żywotności nawierzchni po drugim głównym remoncie prewencyjnym.

Ponieważ zagęszczone podłoże gruntowe, podbudowa pomocnicza i podbudowa obu alternatywnych nawierzchni były identyczne, warstwy te pominięto w analizie LCCA.

Tabela 5-9. Szczegółowa konstrukcja alternatywnych nawierzchni

Beton (Żywotność = 50 lat)		Asfalt (Żywotność = 36 lat)	
Warstwa	Grubość	Warstwa	Grubość
Żelbet o ciągłym zbrojeniu	230 mm	Bitumiczna warstwa ścieralna	40 mm
		Bitumiczna warstwa wiążąca	60 mm
		Bitumiczna warstwa nośna 2	60 mm
Bitumiczna warstwa pośrednia	60 mm	Bitumiczna warstwa nośna 1	70 mm
Podbudowa z granulowanego gruzu asfaltowego stabilizowanego cementem	250 mm	Podbudowa z granulowanego gruzu asfaltowego stabilizowanego cementem	250 mm
Podbudowa pomocnicza z granulowanego gruzu z betonu chudego	150 mm	Podbudowa pomocnicza z granulowanego gruzu z betonu chudego	150 mm
Zagęszczone podłoże gruntowe	zmienne	Zagęszczone podłoże gruntowe	zmienne

Okres analizy

Żywotności obu alternatywnych nawierzchni różnią się istotnie (36, a 50 lat). Gdyby rozważać okres analizy wynoszący np. 36 lat, trzeba byłoby określić pozostałą żywotność nawierzchni z żelbetu o ciągłym zbrojeniu. Aby tego uniknąć, analizę LCCA przeprowadzono według kalkulacji w nieskończonym horyzoncie, objaśnionej w § 5.3 niniejszej publikacji. W rzeczywistości odpowiada to nieskończonemu okresowi analizy, który

eliminuje potrzebę określania pozostałej żywotności którejkolwiek z alternatyw.

2. Ustalenie żywotności i terminów robót

W oparciu o doświadczenie i dane Flamandzkiej Agencji Autostrad, do kalkulacji LCCA Obwodnicy Antwerpii R1 założono przyszłe roboty remontowe, ich terminy i koszty podane w tabelach 5-10 i 5-11.

Tabela 5-10. Alternatywa BETONOWA - strategie, terminy i koszty remontów

Strategie i terminy dla REMONTÓW ALTERNATYWY BETONOWEJ				
Robota remontowa	Opis	Częstotliwość	Termin początku robót	Koszt (Eur)/km
Ponowne wypełnianie dylatacji	Czyszczenie i wypełnianie dylatacji	co 5 lat	rok 15.	5 410 EUR
Naprawy miejscowe (np. wykruszenia, ...)	Cięcie piłą, skruszenie, odtworzenie betonu i zbrojenia, nacięcie i wypełnienie dylatacji, organizacja ruchu	co 10 lat	Rok 9.	7 015 EUR
Odbudowa	Wyburzenie istniejącej nawierzchni, wykonanie nowego żelbetu o ciągłym zbrojeniu (230 mm) i bitumicznej warstwy pośredniej (60 mm), organizacja ruchu	co 50 lat	Rok 50.	1 063 245 EUR

Tabela 5-11. Alternatywa ASFALTOWA - strategie, terminy i koszty remontów

Strategie i terminy REMONTÓW ALTERNATYWY ASFALTOWEJ				
Robota remontowa	Opis	Częstotliwość	Termin początku robót	Koszt (Eur)/km
Zabiegi na pęknięciach i spoinach	Czyszczenie, cięcie i wypełnianie pęknięć oraz spoin wzdłużnych, organizacja ruchu	co 4 lata	Rok 4.	4 200 EUR
Naprawa i łatanie ubytków	Tymczasowa naprawa (asfalt zimny), późniejsza naprawa (asfalt gorący), organizacja ruchu	co roku	Rok 4.	372 EUR
Naprawa wad nawierzchni	Frezowanie i wypełnianie (asfalt gorący), organizacja ruchu	co roku	Rok 4.	5 178 EUR
1. główny remont zapobiegawczy	Frezowanie i wypełnianie (gorący asfalt i warstwa wiążąca) warstwy ścieralnej i wiążącej na 2 prawych pasach ruchu, znaki poziome, organizacja ruchu	raz	Rok 12.	119 415 EUR
2. główny remont zapobiegawczy	Frezowanie i wypełnianie (gorący asfalt i warstwa wiążąca) warstwy ścieralnej na wszystkich pasach ruchu i wiążącej na 3 prawych pasach ruchu, znaki poziome, organizacja ruchu	raz	Rok 24.	222 085 EUR
Przebudowa	Wyburzenie istniejącej nawierzchni, wykonanie nowej asfaltowej (230 mm), organizacja ruchu	co 36 lat	Rok 36.	690 772 EUR

3. Wybór stopy dyskonta

Realna stopa dyskonta przyjęta do obliczeń w tej analizie LCCA wynosiła 4%. Była to stawka przyjmowana powszechnie, kiedy przygotowywano przedmiotową analizę LCCA (w 2002 r.). Obecnie, wiedząc, jak zmieniała się sytuacja gospodarcza, odpowiedniejsza byłaby pewnie stawka niższa. Jednak w momencie przeprowadzania analizy LCCA realna stopa dyskonta wynosząca 4% była uznawana za dobrą i realistyczną średnią w realiach belgijskich.

4. Oszacowanie kosztów zarządcy

Rozważano trzy rodzaje kosztów zarządcy:

- pierwotny koszt zarządcy z tytułu początkowej budowy nawierzchni
- przyszłe koszty zarządcy z tytułu remontów obejmujące wszystkie rodzaje remontów, czyli awaryjne, naprawy i remonty zapobiegawcze
- przyszłe koszty zarządcy z tytułu odbudowy.

Kosztorys wykorzystany w kalkulacjach dotyczył jednostkowego odcinka nawierzchni autostradowej jednej z jezdni o następujących wymiarach:

- szerokość 18,25 m obejmująca 4 pasy ruchu (po 3,75 m) + pobocze środkowe (0,75 m) + pas awaryjny (2,50 m)
- długość 1 km (1000 m)
- łącznie grubość każdej alternatywnej nawierzchni, z wyłączeniem podbudowy i podbudowy pomocniczej z kruszywa, jako że te warstwy są takie same w obydwu alternatywach.

Tabela 5-12. Pierwotne koszty zarządcy

Opis robót	Ilość (m ²)	Cena jednostkowa (EUR/m ²)	Łączny koszt (EUR/km)
Żelbet o ciągłym zbrojeniu (230 mm) + bitumiczna warstwa pośrednia (60 mm)	18 250	43,56	794 970
Nawierzchnia asfaltowa (230 mm)	18 250	29,10	531 084

Składniki i oszacowanie początkowych kosztów zarządcy na jednostkowy odcinek o długości 1 km podano w tabeli 5-12.

Składniki i oszacowanie przyszłych kosztów zarządcy na jednostkowy odcinek o długości 1 km wymieniono w ostatniej kolumnie tabel 5-10 i 5-11.

5. Oszacowanie kosztów użytkowników

W przedmiotowej analizie LCCA nie uwzględniono kosztów użytkowników.

6. Opracowanie schematów przepływów pieniężnych

Nie opracowano schematu przepływów pieniężnych do analizy LCCA autostrady R1. Zamiast tego sporządzono schemat czasu ponoszenia kosztów zarządcy dla każdej alternatywy, przedstawiony na Rysunku 5-5.

Jak zaznaczono w schemacie dotyczącym alternatywy asfaltowej, zabiegi na pęknięciach i spoinach w roku 12. i 24. można pominąć, ponieważ warstwa ścieralna zostaje zastąpiona na ponad połowę szerokości w czasie 1. głównego remontu zapobiegawczego w roku 12. i na całej szerokości w czasie 2. głównego remontu zapobiegawczego w roku 24. Z tego samego powodu uwzględnia się tylko połowę kosztu (od roku 12. do 15.) lub zero kosztu (od roku 24. do 27.) napraw i łatania ubytków.

Rysunek 5-5. Schemat czasu ponoszenia kosztów zarządcy

Alternatywna nawierzchnia – żelbet o ciągłym zbrojeniu					Alternatywna nawierzchnia - asfalt							
Rok	Pierwotna budowa	Ponowne wypełnienie dylatacji	Miejscowe naprawy	Przebudowa	Rok	Początkowa budowa	Naprawa rys i dylatacji	Naprawa i łatanie ubytków	Naprawa powierzchniowych wad	1. główny remont zapobiegawczy	2. główny remont zapobiegawczy	Przebudowa
0	X				0	X						
1					1							
2					2							
3					3							
4					4		X	X	X			
5					5			X	X			
6					6			X	X			
7					7			X	X			
8					8		X	X	X			
9					9			X	X			
10					10			X	X			
11					11			X	X			
12					12			X/2	X/2	X		
13					13			X/2	X/2			
14					14			X/2	X/2			
15		X			15			X/2	X/2			
16					16		X	X	X			
17					17			X	X			
18					18			X	X			
19					19			X	X			
20		X			20		X	X	X			
21			X		21			X	X			
22					22			X	X			
23					23							
24					24						X	
25		X			25							
26					26							
27					27							
28					28		X	X	X			
29					29			X	X			
30		X			30			X	X			
31			X		31			X	X			
32					32		X	X	X			
33					33			X	X			
34					34			X	X			
35		X			35			X	X			
36					36							X
37												
38												
39												
40		X			40			X				
41			X		41							
42					42							
43					43							
44					44							
45		X			45							
46					46							
47					47							
48					48							
49					49							
50				X	50							

7. Obliczenie wartości bieżącej netto (NPV)

Szczegóły obliczenia wartości bieżącej netto wszystkich pierwotnych i przyszłych kosztów zarządcy zestawiono w tabelach 5-15 i 5-16.

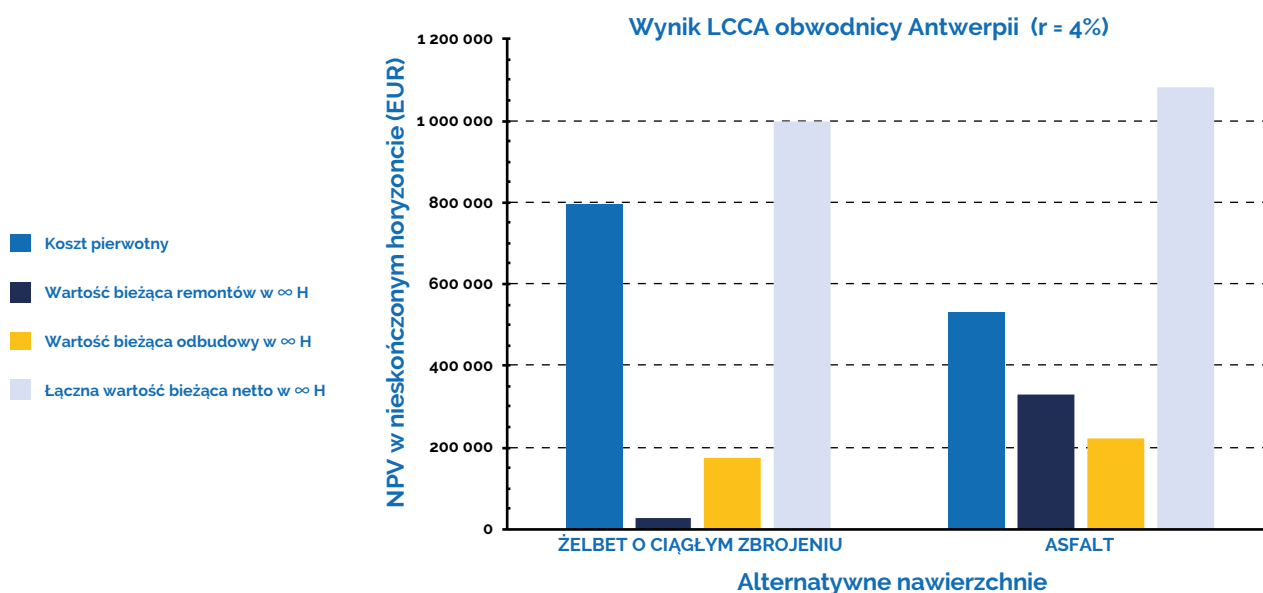
8. Analiza wyników i analiza wrażliwości

Obliczenia LCCA przy realnej stopie dyskonta 4% dają wyniki przedstawione w tabelach 5-13 i 5-6.

Tabela 5-13. Wynikowe LCCA Obwodnicy Antwerpii R1

Wynikowe LCCA				
r %	Łącznie NPV EUR/km/Jezdni			
4,00	Pierwotny koszt	Wartość bieżąca remontów w ∞ H	Wartość bieżąca odbudowy w ∞ H	Suma NPV w ∞ H
Żelbet o ciągłym zbrojeniu	794 970 EUR	28 116 EUR	174 112 EUR	997198 EUR
Asfalt	531084 EUR	328 047 EUR	222 547 EUR	1 081 678 EUR
Cost Ratio Żelbet/Asfalt	150%	9%	78%	92%

Rysunek 5-6. Wykres słupkowy wyniku LCCA



Chociaż pierwotny koszt alternatywy betonowej jest o 50% wyższy niż asfaltowej, obie alternatywy mają praktycznie taką samą wartość bieżącą netto w nieskończonym horyzoncie przy realnej stopie dyskonta wynoszącej 4%. Wynika to wyraźnie z faktu, że alternatywa asfaltowa wymaga istotnie większych obecnych inwestycji w opłacenie remontów i odbudowy w przyszłości.

Różnica w koszcie przyszłej odbudowy obu alternatyw jest nawet proporcjonalnie wyższa w przypadku kosztu pierwotnego, czyli 54%, z powodu bardziej kosztownego

wyburzenia na koniec okresów eksploatacji. Jednak bieżąca wartość odbudowy betonu jest o ponad 20% niższa niż asfaltu. Jest to bezpośrednim wynikiem znacznie niższego czynnika wartości bieżącej, wynoszącego 0,1407 w roku 50. zamiast 0,2534 w roku 36.

Różnica między wartościami bieżącymi netto w nieskończonym horyzoncie wynosi około 80 000 EUR. Różnicy tej nie powinno się jednak interpretować w ujęciu bezwzględnym. Wręcz odwrotnie, wyniki są zależne od niepewnych parametrów (realnej stopy dyskonta, żywotności, ...).

W tabelach 5-14 i na rycinie 5-7 przedstawiono oddziaływanie zmienności realnej stopy procentowej w zakresie od 1% do 6%.

Tabela 5-14. Analiza wrażliwości – oddziaływanie zmienności realnej stopy dyskonta na NPV w ∞ H

Realna stopa dyskonta	Wartość bieżąca netto w nieskończonym horyzoncie	
	ŻELBET	ASFALT
1%	2 572 565 EUR	3 536 363 EUR
2%	1 485 329 EUR	1 884 017 EUR
3%	1 148 609 EUR	1 344 028 EUR
4%	997 198 EUR	1 081 678 EUR
5%	917 814 EUR	929 931 EUR
6%	872 689 EUR	833 057 EUR

Wykres wrażliwości wskazuje, że w porównaniu z alternatywą asfaltową, betonowa staje się bardziej efektywna kosztowo w miarę spadku stopy dyskonta. Wartości bieżące netto obu alternatyw w nieskończonym horyzoncie są porównywalne przy stopie dyskonta około 5%. W przypadku stóp dyskonta wyższych od 5%, alternatywa asfaltowa miałaby nieco niższą NPV w ∞ H niż betonowa. Jednak biorąc pod uwagę wartości historyczne realnej stopy dyskonta, w momencie analizy LCCA (rok 2002) stopy dyskonta wyższe niż 5%–6% były uważane za nierealistyczne. Obecnie są jeszcze bardziej nierealne ze względu na dzisiejsze trendy realnej stopy dyskonta.

Rysunek 5-7. Analiza wrażliwości - oddziaływanie realnej stopy procentowej na NPV w ∞ H

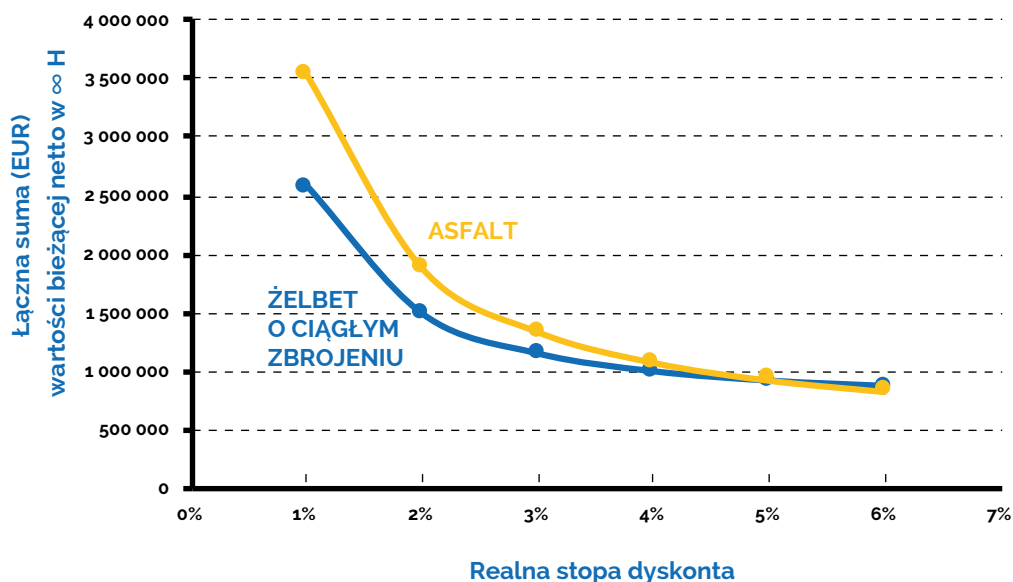


Tabela 5-15. Alternatywa z żelbetu o ciągłym zbrojeniu – szczegółowe kalkulacje NPV

Realna stopa dyskonta	4,00 %	Żywność nawierzchni L = 50 lat							
Autostrada R1 - kalkulacja wartości bieżącej dla alternatywy z żelbetu o ciągłym zbrojeniu									
Rok	Pierwotny koszt budowy	Ponowne wypełnienie dylatacji	Miejscowe naprawy	Koszt odbudowy	Suma częściowa	Czynnik wartości bieżącej	Wartość bieżąca (PV)	Czynnik PV w ∞H dla L=50 lat	Wartość bieżąca w ∞H
0	794 970 EUR				794 970 EUR	1,0000	794 970 EUR		794 970 EUR
10			7 016 EUR		7 016 EUR	0,6756	4 740 EUR	1,1638	5 516 EUR
15		5 410 EUR			5 410 EUR	0,5553	3 004 EUR	1,1638	3 496 EUR
20		5 410 EUR	7 016 EUR		12 426 EUR	0,4564	5 671 EUR	1,1638	6 600 EUR
25		5 410 EUR			5 410 EUR	0,3751	2 029 EUR	1,1638	2 362 EUR
30		5 410 EUR	7 016 EUR		12 426 EUR	0,3083	3 831 EUR	1,1638	4 458 EUR
35		5 410 EUR			5 410 EUR	0,2534	1 371 EUR	1,1638	1 595 EUR
40		5 410 EUR	7 016 EUR		12 426 EUR	0,2083	2 588 EUR	1,1638	3 012 EUR
45		5 410 EUR			5 410 EUR	0,1712	926 EUR	1,1638	1 078 EUR
50				1 063 245 EUR	1 063 245 EUR	0,1407	149 612 EUR	1,1638	174 112 EUR
Suma NPV w ∞H									997 198 EUR

Fot. M. Diependaele



Tabela 5-16. Alternatywa asfaltowa – szczegółowa kalkulacja NPV

Realna stopa dyskonta	4,00 %	Żywotność nawierzchni L = 36 lat										
Autostrada R1 - kalkulacja wartości bieżącej dla alternatywy asfaltowej												
Rok	Pierwotny koszt budowy	Konserwacja pęknięć i łączeń	Naprawa ubytków i tały	Naprawa wad powierzchniowych	1. Główny remont zapobiegawczy	2. Główny remont zapobiegawczy	Koszt odbudowy	Suma częściowa Przyszłych Kosztów	Czynnik wartości bieżącej (PV)	Wartość bieżąca (PV)	Czynnik PV w ∞H dla L=36 lat	PV w ∞H
0	531 084 EUR							531 084 EUR	1,0000	531 084 EUR		531084 EUR
4		4 200 EUR	372 EUR	5 178 EUR				9 750 EUR	0,8548	8 334 EUR	1,3222	11 019 EUR
5			372 EUR	5 178 EUR				5 550 EUR	0,8219	4 562 EUR	1,3222	6 031 EUR
6			372 EUR	5 178 EUR				5 550 EUR	0,7903	4 386 EUR	1,3222	5 799 EUR
7			372 EUR	5 178 EUR				5 550 EUR	0,7599	4 218 EUR	1,3222	5 576 EUR
8		4 200 EUR	372 EUR	5 178 EUR				9 750 EUR	0,7307	7 124 EUR	1,3222	9 419 EUR
9			372 EUR	5 178 EUR				5 550 EUR	0,7026	3 899 EUR	1,3222	5 156 EUR
10			372 EUR	5 178 EUR				5 550 EUR	0,6756	3 749 EUR	1,3222	4 957 EUR
11			372 EUR	5 178 EUR				5 550 EUR	0,6496	3 605 EUR	1,3222	4 767 EUR
12			186 EUR	2 589 EUR	119 415 EUR			122 190 EUR	0,6246	76 320 EUR	1,3222	100 908 EUR
13			186 EUR	2 589 EUR				2 775 EUR	0,6006	1 667 EUR	1,3222	2 204 EUR
14			186 EUR	2 589 EUR				2 775 EUR	0,5775	1 602 EUR	1,3222	2 119 EUR
15			186 EUR	2 589 EUR				2 775 EUR	0,5553	1 541 EUR	1,3222	2 037 EUR
16	4 200 EUR		372 EUR	5 178 EUR				9 750 EUR	0,5339	5 206 EUR	1,3222	6 883 EUR
17			372 EUR	5 178 EUR				5 550 EUR	0,5134	2 849 EUR	1,3222	3 767 EUR
18			372 EUR	5 178 EUR				5 550 EUR	0,4936	2 740 EUR	1,3222	3 622 EUR
19			372 EUR	5 178 EUR				5 550 EUR	0,4746	2 634 EUR	1,3222	3 483 EUR
20	4 200 EUR		372 EUR	5 178 EUR				9 750 EUR	0,4564	4 450 EUR	1,3222	5 883 EUR
21			372 EUR	5 178 EUR				5 550 EUR	0,4388	2 436 EUR	1,3222	3 220 EUR
22			372 EUR	5 178 EUR				5 550 EUR	0,4220	2 342 EUR	1,3222	3 096 EUR
23			372 EUR	5 178 EUR				5 550 EUR	0,4057	2 252 EUR	1,3222	2 977 EUR
24						222 085 EUR		222 08 EUR	0,3901	86 640 EUR	1,3222	114 553 EUR
28		4 200 EUR	372 EUR	5 178 EUR				9 750 EUR	0,3335	3 251 EUR	1,3222	4 299 EUR
29			372 EUR	5 178 EUR				5 550 EUR	0,3207	1 780 EUR	1,3222	2 353 EUR
30			372 EUR	5 178 EUR				5 550 EUR	0,3083	1 711 EUR	1,3222	2 262 EUR
31			372 EUR	5 178 EUR				5 550 EUR	0,2965	1 645 EUR	1,3222	2 175 EUR
32		4 200 EUR	372 EUR	5 178 EUR				9 750 EUR	0,2851	2 779 EUR	1,3222	3 675 EUR
33			372 EUR	5 178 EUR				5 550 EUR	0,2741	1 521 EUR	1,3222	2 011 EUR
34			372 EUR	5 178 EUR				5 550 EUR	0,2636	1 463 EUR	1,3222	1 934 EUR
35			372 EUR	5 178 EUR				5 550 EUR	0,2534	1 406 EUR	1,3222	1 860 EUR
36							690 772 EUR	690 772 EUR	0,2437	168 319 EUR	1,3222	222 547 EUR
											Suma NPV w ∞H	1 081 679 EUR

6 - BIBLIOGRAFIA

- [Praca 1] FHWA, 1998, Life-Cycle Cost Analysis in Pavement Design, Publication N° FHWA-SA-98-079.
- [Praca 2] ACPA, 2012, Life-Cycle Cost Analysis. A Tool for Better Pavement Investment and Engineering Decisions.
- [Praca 3] Mack J.W., TRB 2013, Accounting for Material-Specific Inflation Rates in Life-Cycle Cost Analysis for Pavement Type Selection.
- [Praca 4] Diependaele Manu, Technum Engineering Consultants, Belgium, 2006. Major Rehabilitation Antwerp Ring Road R1, Choice of pavement based on LCCA calculations.
- [Praca 5] FHWA, 2002, LCCA Primer.

ZAŁĄCZNIK

Tabela A-1 przedstawia czynniki dyskonta wartości bieżącej dla pojedynczej przyszłej płatności przy 1-, 2-, 3-, 4-, 5- i 6-procentowych realnych stopach dyskonta na do

100 lat naprzód. Zakłada się, że pierwotne koszty zarządcy ponoszone są w roku 0 i nie są dyskontowane, tj. są zaliczane w pełnej aktualnej wartości.

Tabela A-1. Czynniki wartości bieżącej - pojedyncza płatność w przyszłości

Rok	Czynnik wartości bieżącej					
	r=1%	r=2%	r=3%	r=4%	r=5%	r=6%
0	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000
1	0,9901	0,9804	0,9709	0,9615	0,9524	0,9434
2	0,9803	0,9612	0,9426	0,9246	0,9070	0,8900
3	0,9706	0,9423	0,9151	0,8890	0,8638	0,8396
4	0,9610	0,9238	0,8885	0,8548	0,8227	0,7921
5	0,9515	0,9057	0,8626	0,8219	0,7835	0,7473
6	0,9420	0,8880	0,8375	0,7903	0,7462	0,7050
7	0,9327	0,8706	0,8131	0,7599	0,7107	0,6651
8	0,9235	0,8535	0,7894	0,7307	0,6768	0,6274
9	0,9143	0,8368	0,7664	0,7026	0,6446	0,5919
10	0,9053	0,8203	0,7441	0,6756	0,6139	0,5584
11	0,8963	0,8043	0,7224	0,6496	0,5847	0,5268
12	0,8874	0,7885	0,7014	0,6246	0,5568	0,4970
13	0,8787	0,7730	0,6810	0,6006	0,5303	0,4688
14	0,8700	0,7579	0,6611	0,5775	0,5051	0,4423
15	0,8613	0,7430	0,6419	0,5553	0,4810	0,4173
16	0,8528	0,7284	0,6232	0,5339	0,4581	0,3936
17	0,8444	0,7142	0,6050	0,5134	0,4363	0,3714
18	0,8360	0,7002	0,5874	0,4936	0,4155	0,3503
19	0,8277	0,6864	0,5703	0,4746	0,3957	0,3305
20	0,8195	0,6730	0,5537	0,4564	0,3769	0,3118
21	0,8114	0,6598	0,5375	0,4388	0,3589	0,2942
22	0,8034	0,6468	0,5219	0,4220	0,3418	0,2775
23	0,7954	0,6342	0,5067	0,4057	0,3256	0,2618
24	0,7876	0,6217	0,4919	0,3901	0,3101	0,2470
25	0,7798	0,6095	0,4776	0,3751	0,2953	0,2330
26	0,7720	0,5976	0,4637	0,3607	0,2812	0,2198
27	0,7644	0,5859	0,4502	0,3468	0,2678	0,2074
28	0,7568	0,5744	0,4371	0,3335	0,2551	0,1956
29	0,7493	0,5631	0,4243	0,3207	0,2429	0,1846

Rok	r=1%	r=2%	r=3%	r=4%	r=5%	r=6%
30	0,7419	0,5521	0,4120	0,3083	0,2314	0,1741
31	0,7346	0,5412	0,4000	0,2965	0,2204	0,1643
32	0,7273	0,5306	0,3883	0,2851	0,2099	0,1550
33	0,7201	0,5202	0,3770	0,2741	0,1999	0,1462
34	0,7130	0,5100	0,3660	0,2636	0,1904	0,1379
35	0,7059	0,5000	0,3554	0,2534	0,1813	0,1301
36	0,6989	0,4902	0,3450	0,2437	0,1727	0,1227
37	0,6920	0,4806	0,3350	0,2343	0,1644	0,1158
38	0,6852	0,4712	0,3252	0,2253	0,1566	0,1092
39	0,6784	0,4619	0,3158	0,2166	0,1491	0,1031
40	0,6717	0,4529	0,3066	0,2083	0,1420	0,0972
41	0,6650	0,4440	0,2976	0,2003	0,1353	0,0917
42	0,6584	0,4353	0,2890	0,1926	0,1288	0,0865
43	0,6519	0,4268	0,2805	0,1852	0,1227	0,0816
44	0,6454	0,4184	0,2724	0,1780	0,1169	0,0770
45	0,6391	0,4102	0,2644	0,1712	0,1113	0,0727
46	0,6327	0,4022	0,2567	0,1646	0,1060	0,0685
47	0,6265	0,3943	0,2493	0,1583	0,1009	0,0647
48	0,6203	0,3865	0,2420	0,1522	0,0961	0,0610
49	0,6141	0,3790	0,2350	0,1463	0,0916	0,0575
50	0,6080	0,3715	0,2281	0,1407	0,0872	0,0543
51	0,6020	0,3642	0,2215	0,1353	0,0831	0,0512
52	0,5961	0,3571	0,2150	0,1301	0,0791	0,0483
53	0,5902	0,3501	0,2088	0,1251	0,0753	0,0456
54	0,5843	0,3432	0,2027	0,1203	0,0717	0,0430
55	0,5785	0,3365	0,1968	0,1157	0,0683	0,0406
56	0,5728	0,3299	0,1910	0,1112	0,0651	0,0383
57	0,5671	0,3234	0,1855	0,1069	0,0620	0,0361
58	0,5615	0,3171	0,1801	0,1028	0,0590	0,0341
59	0,5560	0,3109	0,1748	0,0989	0,0562	0,0321
60	0,5504	0,3048	0,1697	0,0951	0,0535	0,0303
61	0,5450	0,2988	0,1648	0,0914	0,0510	0,0286
62	0,5396	0,2929	0,1600	0,0879	0,0486	0,0270
63	0,5343	0,2872	0,1553	0,0845	0,0462	0,0255
64	0,5290	0,2816	0,1508	0,0813	0,0440	0,0240
65	0,5237	0,2761	0,1464	0,0781	0,0419	0,0227
66	0,5185	0,2706	0,1421	0,0751	0,0399	0,0214

Rok	r=1%	r=2%	r=3%	r=4%	r=5%	r=6%
67	0,5134	0,2653	0,1380	0,0722	0,0380	0,0202
68	0,5083	0,2601	0,1340	0,0695	0,0362	0,0190
69	0,5033	0,2550	0,1301	0,0668	0,0345	0,0179
70	0,4983	0,2500	0,1263	0,0642	0,0329	0,0169
71	0,4934	0,2451	0,1226	0,0617	0,0313	0,0160
72	0,4885	0,2403	0,1190	0,0594	0,0298	0,0151
73	0,4837	0,2356	0,1156	0,0571	0,0284	0,0142
74	0,4789	0,2310	0,1122	0,0549	0,0270	0,0134
75	0,4741	0,2265	0,1089	0,0528	0,0258	0,0126
76	0,4694	0,2220	0,1058	0,0508	0,0245	0,0119
77	0,4648	0,2177	0,1027	0,0488	0,0234	0,0113
78	0,4602	0,2134	0,0997	0,0469	0,0222	0,0106
79	0,4556	0,2092	0,0968	0,0451	0,0212	0,0100
80	0,4511	0,2051	0,0940	0,0434	0,0202	0,0095
81	0,4467	0,2011	0,0912	0,0417	0,0192	0,0089
82	0,4422	0,1971	0,0886	0,0401	0,0183	0,0084
83	0,4379	0,1933	0,0860	0,0386	0,0174	0,0079
84	0,4335	0,1895	0,0835	0,0371	0,0166	0,0075
85	0,4292	0,1858	0,0811	0,0357	0,0158	0,0071
86	0,4250	0,1821	0,0787	0,0343	0,0151	0,0067
87	0,4208	0,1786	0,0764	0,0330	0,0143	0,0063
88	0,4166	0,1751	0,0742	0,0317	0,0137	0,0059
89	0,4125	0,1716	0,0720	0,0305	0,0130	0,0056
90	0,4084	0,1683	0,0699	0,0293	0,0124	0,0053
91	0,4043	0,1650	0,0679	0,0282	0,0118	0,0050
92	0,4003	0,1617	0,0659	0,0271	0,0112	0,0047
93	0,3964	0,1586	0,0640	0,0261	0,0107	0,0044
94	0,3925	0,1554	0,0621	0,0251	0,0102	0,0042
95	0,3886	0,1524	0,0603	0,0241	0,0097	0,0039
96	0,3847	0,1494	0,0586	0,0232	0,0092	0,0037
97	0,3809	0,1465	0,0569	0,0223	0,0088	0,0035
98	0,3771	0,1436	0,0552	0,0214	0,0084	0,0033
99	0,3734	0,1408	0,0536	0,0206	0,0080	0,0031
100	0,3697	0,1380	0,0520	0,0198	0,0076	0,0029

W tabeli A-2 czynnik podany jest jako funkcja L i r. W tabeli widać, że wartości gwałtownie spadają w miarę wzrostu liczby lat L.

Tabela A-2. Czynnik nieskończonego horyzontu

L – Lata	Czynnik nieskończonego horyzontu					
	r=1%	r=2%	r=3%	r=4%	r=5%	r=6%
1	101,0000	51,0000	34,3333	26,0000	21,0000	17,6667
2	50,7512	25,7525	17,4204	13,2549	10,7561	9,0906
3	34,0022	17,3377	11,7843	9,0087	7,3442	6,2352
4	25,6281	13,1312	8,9676	6,8873	5,6402	4,8099
5	20,6040	10,6079	7,2785	5,6157	4,6195	3,9566
6	17,2548	8,9263	6,1533	4,7690	3,9403	3,3894
7	14,8628	7,7256	5,3502	4,1652	3,4564	2,9856
8	13,0690	6,8255	4,7485	3,7132	3,0944	2,6839
9	11,6740	6,1258	4,2811	3,3623	2,8138	2,4504
10	10,5582	5,5663	3,9077	3,0823	2,5901	2,2645
11	9,6454	5,1089	3,6026	2,8537	2,4078	2,1132
12	8,8849	4,7280	3,3487	2,6638	2,2565	1,9880
13	8,2415	4,4059	3,1343	2,5036	2,1291	1,8827
14	7,6901	4,1301	2,9509	2,3667	2,0205	1,7931
15	7,2124	3,8913	2,7922	2,2485	1,9268	1,7160
16	6,7945	3,6825	2,6537	2,1455	1,8454	1,6492
17	6,4258	3,4985	2,5318	2,0550	1,7740	1,5907
18	6,0982	3,3351	2,4236	1,9748	1,7109	1,5393
19	5,8052	3,1891	2,3271	1,9035	1,6549	1,4937
20	5,5415	3,0578	2,2405	1,8395	1,6049	1,4531
21	5,3031	2,9392	2,1624	1,7820	1,5599	1,4167
22	5,0864	2,8316	2,0916	1,7300	1,5194	1,3841
23	4,8886	2,7334	2,0271	1,6827	1,4827	1,3546
24	4,7073	2,6436	1,9682	1,6397	1,4494	1,3280
25	4,5407	2,5610	1,9143	1,6003	1,4190	1,3038
26	4,3869	2,4850	1,8646	1,5642	1,3913	1,2817
27	4,2446	2,4147	1,8188	1,5310	1,3658	1,2616
28	4,1124	2,3495	1,7764	1,5003	1,3425	1,2432
29	3,9895	2,2889	1,7372	1,4720	1,3209	1,2263
30	3,8748	2,2325	1,7006	1,4458	1,3010	1,2108
31	3,7676	2,1798	1,6666	1,4214	1,2826	1,1965
32	3,6671	2,1305	1,6349	1,3987	1,2656	1,1834

L – Lata	r=1%	r=2%	r=3%	r=4%	r=5%	r=6%
33	3,5727	2,0843	1,6052	1,3776	1,2498	1,1712
34	3,4840	2,0409	1,5774	1,3579	1,2351	1,1600
35	3,4004	2,0001	1,5513	1,3394	1,2214	1,1496
36	3,3214	1,9616	1,5268	1,3222	1,2087	1,1399
37	3,2468	1,9253	1,5037	1,3060	1,1968	1,1310
38	3,1761	1,8910	1,4820	1,2908	1,1857	1,1226
39	3,1092	1,8586	1,4615	1,2765	1,1753	1,1149
40	3,0456	1,8278	1,4421	1,2631	1,1656	1,1077
41	2,9851	1,7986	1,4237	1,2504	1,1564	1,1010
42	2,9276	1,7709	1,4064	1,2385	1,1479	1,0947
43	2,8727	1,7445	1,3899	1,2272	1,1399	1,0889
44	2,8204	1,7194	1,3743	1,2166	1,1323	1,0834
45	2,7705	1,6955	1,3595	1,2066	1,1252	1,0783
46	2,7228	1,6727	1,3454	1,1971	1,1186	1,0736
47	2,6771	1,6509	1,3320	1,1880	1,1123	1,0691
48	2,6334	1,6301	1,3193	1,1795	1,1064	1,0650
49	2,5915	1,6102	1,3071	1,1714	1,1008	1,0611
50	2,5513	1,5912	1,2955	1,1638	1,0955	1,0574
51	2,5127	1,5729	1,2845	1,1565	1,0906	1,0540
52	2,4756	1,5555	1,2739	1,1496	1,0859	1,0508
53	2,4400	1,5387	1,2638	1,1430	1,0815	1,0478
54	2,4057	1,5226	1,2542	1,1367	1,0773	1,0449
55	2,3726	1,5072	1,2450	1,1308	1,0733	1,0423
56	2,3408	1,4923	1,2361	1,1251	1,0696	1,0398
57	2,3102	1,4781	1,2277	1,1197	1,0661	1,0375
58	2,2806	1,4643	1,2196	1,1146	1,0627	1,0353
59	2,2520	1,4511	1,2119	1,1097	1,0596	1,0332
60	2,2244	1,4384	1,2044	1,1050	1,0566	1,0313
61	2,1978	1,4261	1,1973	1,1006	1,0537	1,0294
62	2,1720	1,4143	1,1905	1,0964	1,0510	1,0277
63	2,1471	1,4029	1,1839	1,0923	1,0485	1,0261
64	2,1230	1,3919	1,1776	1,0884	1,0461	1,0246
65	2,0997	1,3813	1,1715	1,0848	1,0438	1,0232
66	2,0771	1,3711	1,1657	1,0812	1,0416	1,0218
67	2,0551	1,3612	1,1601	1,0779	1,0396	1,0206
68	2,0339	1,3516	1,1547	1,0746	1,0376	1,0194
69	2,0133	1,3423	1,1495	1,0716	1,0357	1,0183

L – Lata	r=1%	r=2%	r=3%	r=4%	r=5%	r=6%
70	1,9933	1,3334	1,1446	1,0686	1,0340	1,0172
71	1,9739	1,3247	1,1398	1,0658	1,0323	1,0162
72	1,9550	1,3163	1,1351	1,0631	1,0307	1,0153
73	1,9367	1,3082	1,1307	1,0605	1,0292	1,0144
74	1,9189	1,3004	1,1264	1,0581	1,0278	1,0136
75	1,9016	1,2928	1,1223	1,0557	1,0264	1,0128
76	1,8848	1,2854	1,1183	1,0535	1,0251	1,0121
77	1,8684	1,2782	1,1144	1,0513	1,0239	1,0114
78	1,8525	1,2713	1,1107	1,0492	1,0228	1,0107
79	1,8370	1,2646	1,1072	1,0473	1,0216	1,0101
80	1,8219	1,2580	1,1037	1,0454	1,0206	1,0095
81	1,8072	1,2517	1,1004	1,0435	1,0196	1,0090
82	1,7929	1,2456	1,0972	1,0418	1,0186	1,0085
83	1,7789	1,2396	1,0941	1,0401	1,0177	1,0080
84	1,7653	1,2338	1,0911	1,0385	1,0169	1,0075
85	1,7520	1,2282	1,0882	1,0370	1,0161	1,0071
86	1,7391	1,2227	1,0854	1,0355	1,0153	1,0067
87	1,7264	1,2174	1,0827	1,0341	1,0145	1,0063
88	1,7141	1,2122	1,0801	1,0327	1,0138	1,0060
89	1,7021	1,2072	1,0776	1,0314	1,0132	1,0056
90	1,6903	1,2023	1,0752	1,0302	1,0125	1,0053
91	1,6788	1,1976	1,0728	1,0290	1,0119	1,0050
92	1,6676	1,1929	1,0706	1,0279	1,0114	1,0047
93	1,6567	1,1884	1,0684	1,0268	1,0108	1,0045
94	1,6460	1,1841	1,0662	1,0257	1,0103	1,0042
95	1,6355	1,1798	1,0642	1,0247	1,0098	1,0040
96	1,6253	1,1757	1,0622	1,0237	1,0093	1,0037
97	1,6153	1,1716	1,0603	1,0228	1,0089	1,0035
98	1,6055	1,1677	1,0584	1,0219	1,0085	1,0033
99	1,5959	1,1639	1,0566	1,0210	1,0080	1,0031
100	1,5866	1,1601	1,0549	1,0202	1,0077	1,0030



Wydawca:

EUPAVE
European Concrete Paving Association
Vorstlaan 68 Boulevard du Souverain, bus 13
1170 Brussels
T + 32 2 645 52 31
F + 32 2 640 06 70
info@eupave.eu
www.eupave.eu

Wydawca polskiej wersji językowej:

Stowarzyszenie Producentów Cementu
ul. Lubelska 29
30-003 Kraków
Polska
T + 48 12 423 33 55
F + 48 12 423 3345
biuro@polskicement.pl
www.polskicement.pl

Autor:

Manu Diependaele, MSCE, P.E.
LCCA Consultant - Belgium
manu.diependaele@gmail.com
Mob.: +32 495 58 71 90

Redaktor:

Luc Rens
Dyrektor Zarządzający
EUPAVE

Zdjęcia:

Luc Rens
FEBELCEM

Czerwiec 2019



Wydawca: EUPAVE
European Concrete
Paving Association
Vorstlaan 68, bus 13
Boulevard du Souverain, 68 bus 13
1170 Brussels
T + 32 2 645 52 31
F + 32 2 640 06 70
info@eupave.eu
www.eupave.eu



Stowarzyszenie Producentów Cementu
Polish Cement Association

Wydawca polskiej
wersji językowej: Stowarzyszenie
Producentów Cementu
ul. Lubelska 29
30-003 Kraków
Polska
T + 48 12 423 33 55
F + 48 12 423 3345
biuro@polskicement.pl
www.polskicement.pl