

Analiza kosztów budowy i utrzymania nawierzchni sztywnych i podatnych

Analysis of the costs of construction and maintenance of rigid and flexible pavements



Antoni Szydło

Prof. dr hab. inż.

Politechnika Wrocławska,
Zakład Dróg i Lotnisk

antoni.szydlo@pwr.edu.pl



Piotr Mackiewicz

Dr hab. inż.

Politechnika Wrocławska,
Zakład Dróg i Lotnisk

piotr.mackiewicz@pwr.edu.pl

Streszczenie: Koszty budowy oraz przyszłego utrzymania dróg ekspresowych i autostrad mają istotny wpływ na wybór technologii ich budowy. Przedmiotem artykułu jest analiza kosztów budowy i utrzymania nawierzchni sztywnych (betonowych) oraz podatnych (z mieszanek mineralno-asfaltowych) w Polsce. Przeanalizowano dla wybranych konstrukcji nawierzchni sztywnych i podatnych autostrad i dróg ekspresowych technologie budowy i scenariusze utrzymania w okresie eksploatacji. Określono koszty budowy i utrzymania tych nawierzchni w warunkach krajowych. Jako wyjściowy poziom cen przyjęto IV kwartał 2015 roku. Na podstawie analizy kosztów budowy i utrzymania analizowanych konstrukcji wykazano przewagę nawierzchni sztywnych z betonu cementowego, szczególnie jeśli chodzi o aspekt utrzymania nawierzchni. Ocenę kosztów wykonano dla okresu 30 lat eksploatacji. Nawierzchnie betonowe na sieci drogowej w Polsce stosowane są już od ponad 20 lat. Buduje się je zarówno na drogach niskich klas oraz na drogach najwyższych klas tj. autostradach i drogach ekspresowych.

Słowa kluczowe: Nawierzchnie betonowe; Nawierzchnie asfaltowe; Koszty budowy; Koszty utrzymania

Abstract: The costs of construction and the future maintenance of expressways and motorways have a significant impact on the choice of technologies for their construction. The subject of the article is the analysis of the costs of construction and maintenance of rigid (concrete) and flexible (asphalt mixtures) pavements in Poland. The construction technologies and maintenance scenarios in service were analysed for selected pavement constructions of rigid and flexible motorways and expressways. The costs of construction and maintenance of these pavements in national conditions were determined. The fourth quarter of 2015 was adopted as the initial price level. On the basis of the analysis of the costs of construction and maintenance of the analysed structures, the advantage of rigid constructions made of cement concrete was demonstrated, especially in the aspect of the surface maintenance. The cost assessment was carried out for 30 years of exploitation. The concrete pavements on the road network in Poland have been used for over 20 years. They are present both on low-class roads and on the highest class roads, i.e. motorways and expressways.

Keywords: Concrete pavement; Asphalt pavement; Construction costs; Maintenance costs

Obecny wiek charakteryzuje się zwiększonymi obawami dotyczącymi środowiska. Dotyczy to zarówno niekorzystnego oddziaływania na środowisko jak i zużycia i eksploatacji materiałów w tym na budowę nawierzchni drogowych. Tematyka oceny "przyjaznych dla środowiska" aspektów produkcji materiałów do budowy dróg jest tematem rozległym obejmującym zarówno koszty społeczne, gospodarcze oraz bezpośrednie inwestora. Dyskusje nad kosztami tych nawierzchni obserwuje się w administracjach drogowych wielu krajów w Europie i na świecie. Przy budowie nawierzchni można uwzględnić: koszty związane z oddziaływaniem na mikroklimat,

koszty dotyczące oświetlenia sztucznego nawierzchni w nocy, koszty wpływające na zużycie paliwa przez pojazd, koszty odpadów i materiałów pochodzących z recyklingu, koszty recyklingu nawierzchni pod koniec okresu użytkowania.

Dla oceny efektywności zastosowania poszczególnych technologii prowadzi się różne Analizy Kosztów Cyklu Życia nawierzchni [4], [3]: LCA – Life Cycle Assessment – Ocena Cyklu Życia, LCI – Life Cycle Inventory – Analiza zbioru w cyklu życia, LCC – Life Cycle Costing – Koszt Cyklu Życia. Procedura LCA polega na ocenie wpływu produktu lub usługi na środowisko w całym okresie życia produktu lub usłu-

gi. Proces obliczania LCA obejmuje zdefiniowanie celów i zakresu, analizę zasobów, ocenę wpływu na środowisko i interpretację wyników. Wyrobem w technice LCA może być zarówno konkretny przedmiot, jak i cały proces produkcji lub usługi. Istotą tej metody jest nastawienie nie tylko na ocenę wyniku końcowego danego procesu technologicznego, ale także oszacowanie i ocena konsekwencji całego procesu dla środowiska naturalnego. Proces oceny jest ciągły – w miarę napływu nowych danych i weryfikacji jakości otrzymywanych danych. Problemy te reguluje norma PN-EN ISO 14040:2009 Zarządzanie środowiskowe – Ocena cyklu życia – Zasady i struktura.

Procedura LCI jest to etap gromadzenia danych potrzebnych do realizacji LCA. Jest to „prosty” proces podliczenia i „zaksięgowania” wszystkich elementów wchodzących w skład ocenianego systemu – np. surowce, materiały, energia, woda, emisje do powietrza, wody, gleby w podziale na poszczególne substancje itd. Analiza ta jest potencjalnie bardzo złożona, ponieważ obejmuje wszystkie procesy w całym łańcuchu dostaw (np. wydobycie surowców, poszczególne etapy procesu produkcji, transport itp.). Proces obejmuje zbieranie danych i procedury obliczeniowe, ilościowo określa wejścia i wyjścia dla danego systemu wyrobu w okresie jego cyklu życia. Zebranie danych odbywa się w celu sporządzenia obszernego bilansu wszystkich elementów energetycznych i chemicznych pobieranych ze środowiska, tych, które wchodzą do systemu, i które opuszczają system jako emisje do środowiska.

Procedura LCC jest to suma wszystkich kosztów ponoszonych podczas cyklu życia wyrobu („od kołyski aż po grób” – działalność inwestycyjno-remontowa, wytwórcza, faza użytkowania i likwidacji). LCC obejmuje jedynie bezpośrednie koszty finansowe ponoszone w związku z eksploatacją produktu lub realizacją usługi, bez uwzględnienia wpływu na środowisko (czyli LCA).

W amerykańskiej administracji drogowej od 2008 roku w 33 stanach stosuje się procedurę LCC. W Polsce jak na razie brak jest tego typu studiów i analiz.

W niniejszej publikacji skupiono uwagę na bezpośrednich kosztach związanych z wybudowaniem i utrzymaniem nawierzchni sztywnych i podatnych. Analizy obejmują proste obliczenia uwzględniające dłuższy okres eksploatacji obu nawierzchni wg poziomu cen z 2015 roku.

Przyjęte założenia techniczne do analizy kosztów budowy

Do analizy kosztów budowy przyjęto konstrukcje nawierzchni z katalogów tj. z „Katalogu typowych konstrukcji na-

wierzchni podatnych i półsztywnych” z 2014 roku oraz „Katalogu typowych konstrukcji nawierzchni sztywnych” z 2014 roku. Dla obu rodzajów konstrukcji przyjęto założenie, że typowe rozwiązania dolnych warstw konstrukcji i warstwy ulepszonego podłoża są takie same. Przyjęto, że wtórny moduł na górnej powierzchni podbudowy pomocniczej wynosi 120 MPa. Przyjęto rodzaj podłoża jako TYP 1-G1. Dlatego nie obliczano kosztów budowy dla tego typu wzmocnienia podłoża. Przyjęto dla obu rodzajów konstrukcji nawierzchni okres eksploatacji równy 30 lat. W analizach obciążenia ruchem przyjęto dwie opcje.

Opcja 1

Przyjęto, że analizowane konstrukcje przeniosą 90 000 000 osi standardowych o nacisku 100 kN. Wartość taką przyjęto dlatego, że konstrukcje podatne dla ruchu kategorii KR7 zaprojektowano dla ok. 90 000 000 osi 100 kN. Dla nawierzchni sztywnych dla kategorii ruchu KR7 obliczeniowa liczba osi 100 kN wynosi 220 000 000. Liczba 90 000 000 osi 100 kN dla nawierzchni sztywnych oznacza ruch kategorii KR6.

Opcja 2

Dla tej opcji przyjęto, że konstrukcje nawierzchni przeniosą określoną liczbę sylwetek pojazdów. Przyjęto następujące natężenie ruchu:

- samochody ciężarowe bez przyczep-1200 na dobę na pas,
- samochody ciężarowe z przyczepami-3300 na dobę na pas,
- autobusy-200 na dobę na pas.

Przeliczając powyższą strukturę na osie standardowe 100 kN w okresie 30 lat otrzymano:

- nawierzchnie podatne - 79 670 000 osi 100 kN – ruch kategorii-KR7.
- nawierzchnie sztywne - 148 360 000 osi 100 kN - ruch kategorii-KR7

Ponadto przyjęto, że dla konstrukcji podatnych warstwy z mieszanki mineralno-asfaltowej typu - SMA oraz beton asfaltowy typu - AC spełniają wymagania WT-2 2014. *Mieszanki mineralno-asfaltowe dla dróg krajowych.*

Wymagania techniczne.

Kruszywo łamane stabilizowane mechanicznie spełnia wymagania WT-4 2010. *Mieszanki niezwiązane dla dróg krajowych. Wymagania techniczne.*

Mieszanki związane C5/6 spełniają wymagania WT-5 2010 *Mieszanki związane spoiwem hydraulicznym dla dróg krajowych. Wymagania techniczne.*

Nawierzchnie sztywne są zbudowane z betonu cementowego C35/45 i wytrzymałości na zginanie-5,5 MPa oraz klasie ekspozycji XF4. Beton jest dwuwarstwowy, górna warstwa z tzw. odkrytym kruszywem.

Podbudowy z kruszywa łamanego stabilizowanego mechanicznie spełniają wymagania WT-4 2010. *Mieszanki niezwiązane dla dróg krajowych. Wymagania techniczne.*

Podbudowy z betonu asfaltowego spełniają wymagania WT-2/ 2014. *Mieszanki mineralno-asfaltowe dla dróg krajowych. Wymagania techniczne.*

Podbudowy z mieszanek związanych C8/10 spełniają wymagania WT-5 2010 *Mieszanki związane spoiwem hydraulicznym dla dróg krajowych. Wymagania techniczne.*

Dla nawierzchni sztywnych przyjęto, że obowiązują OST, zatwierdzone przez GDDKiA.

Konstrukcje podatne dla ruchu KR7

Podatne konstrukcje nawierzchni, które przyjęto do analizy kosztów budowy i utrzymania dla ruchu KR7 przedstawiono na rys. 1, 2, 3. Analizowano konstrukcje z podbudową zasadniczą z kruszywa łamanego stabilizowanego mechanicznie, z mieszanki mineralno-asfaltowej typu beton asfaltowy oraz z mieszanki związanej spoiwem cementowym.

Konstrukcje sztywne dla ruchu KR6 i KR7

W przypadku sztywnych konstrukcji nawierzchni, które wzięto do analizy kosztów budowy i utrzymania uwzględniono dwie kategorie ruchu KR6 i KR7. Należy przypomnieć, że liczba osi standardowych nawierzchni sztywnych dla KR6 odpowiada liczbie

osi nawierzchni podatnych dla KR7. Schematy tych konstrukcji przedstawiono na rys. 4 - 9. Analizowano konstrukcje z takimi samymi podbudowami zasadniczymi jak dla nawierzchni podatnych.

Koszty budowy

Przyjęto obliczenia kosztów budowy dla odcinka drogi klasy S-droga ekspresowa o długości 1 km i szerokości 10 m tj. 10 000 m². Ponadto w kosztach budowy dla celów porównawczych pomijamy dla wszystkich analizowanych konstrukcji wszystkie koszty związane z transportem zarówno materiałów wsadowych dla wytwórni jak i gotowych materiałów do miejsca wbudowania. Całkowicie pominięto kwestie związane z oznakowaniem poziomym w obydwu przypadkach. Ceny R, M i S oraz koszty zakupu, pośrednie i wskaźniki zysku przyjęto na podstawie aktualnych stawek wg Sekocenbud (IV kwartał 2015) w związku z czym pominięto koszty transportu opierając się na kosztach

Tab. 1. Zestawienie kosztów przyjęte do analiz

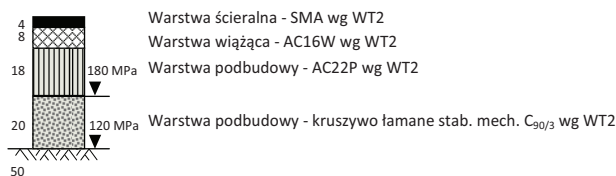
okres	Koszty pośrednie, %	Koszty zakupu, %	Zysk, %	Robocizna, %
IV kw 2010	64,70	8,20	11,70	13,76
IV kw. 2011	64,30	8,60	11,40	13,91
IV kw. 2012	63,60	8,60	11,00	13,90
IV kw. 2013	62,80	8,30	10,50	13,61
IV kw. 2014	63,00	7,80	10,30	13,62
IV kw. 2015	62,80	7,50	10,30	13,90

zakup w Sekocenbud. (IV kwartał 2015). Przyjęto ceny średnie dla robót inżynierskich.

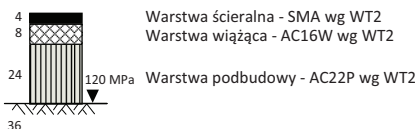
Z powodu braku danych w Sekocenbud na podstawie wywiadu z wykonawcami przyjęto że koszt zespołu maszyn dla nawierzchni betonowej z obsługą to 5000,00 zł/h. Wydajność to około 50 mb/h - koszt wbudowania 1 m² kształtuje się na poziomie 10 zł. W tabeli 1 podano koszty pośrednie, zakupu, zyski i robociznę przyjęte do analiz.

Na podstawie powyższych założeń uzyskano wyniki obliczeń kosztów budowy dla analizowanych konstrukcji nawierzchni dla roku 2015, które przedstawiono na rys. 10 uwzględniając różne rodzaje podbudów.

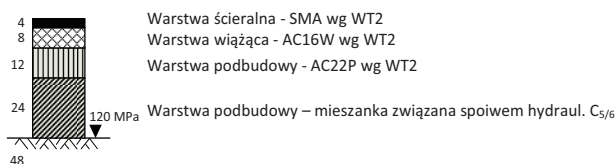
Warto zauważyć, że dla danego typu podbudowy koszty budowy nawierzchni podatnej KR7 są większe w porównaniu do nawierzchni sztywnych dla KR6, a także KR7. Dotyczy to kosztów dla trzech typów podbudów. Stosunki kosztów nawierzchni podatnych do sztywnych dla ruchu KR6 wynoszą odpowiednio: 1.41 (podbudowa z kruszywa), 1.72 (podbudowa z bet. asfaltowego) oraz 1.42 (podbudowa z mieszanki związanej spoiwem hydraulicznym), natomiast w stosunku do nawierzchni sztywnej dla ruchu KR7: 1.36 (podbudowa z kruszywa), 1.39 (podbudowa z bet. asfaltowego) oraz 1.33 (podbudowa z mieszanki związanej spoiwem hydraulicznym).



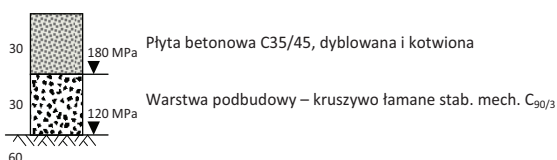
1. Konstrukcja podatna z podbudową z kruszywa łamanego stabilizowanego mechanicznie typ A1-KR7 na podłożu TYP1-G1



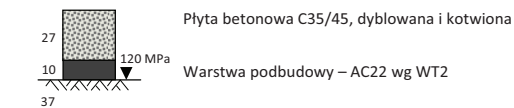
2. Konstrukcja podatna z podbudową z mieszanki mineralno-asfaltowej typu beton asfaltowy typ B-KR7 na podłożu TYP1-G1



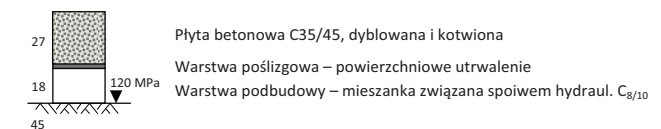
3. Konstrukcja podatna z podbudową z mieszanki związanej spoiwem cementowym typ C-KR7 na podłożu TYP1-G1



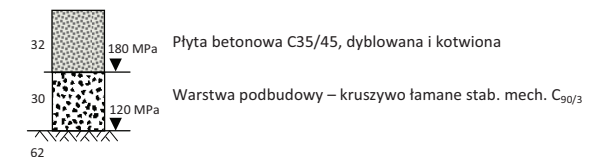
4. Konstrukcja sztywna z podbudową z kruszywa łamanego stabilizowanego mechanicznie typ I-KR6 na podłożu TYP1-G1



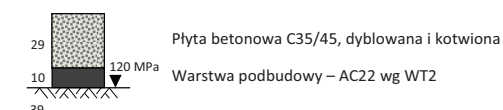
5. Konstrukcja sztywna z podbudową z mieszanki mineralno-asfaltowej typu beton asfaltowy typ II-KR6 na podłożu TYP1-G1



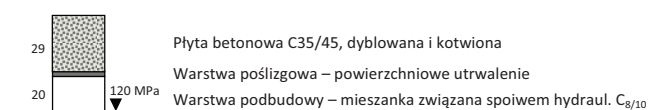
6. Konstrukcja sztywna z podbudową z mieszanki związanej spoiwem hydraulicznym typ III-KR6 na podłożu TYP1-G1



7. Konstrukcja sztywna z podbudową z kruszywa łamanego stabilizowanego mechanicznie typ I-KR7 na podłożu TYP1-G1



8. Konstrukcja sztywna z podbudową z mieszanki mineralno-asfaltowej typu beton asfaltowy typ II-KR7 na podłożu TYP1-G1



9. Konstrukcja sztywna z podbudową z mieszanki związanej spoiwem hydraulicznym typ III-KR7 na podłożu TYP1-G1

Utrzymanie nawierzchni

Zabiegi technologiczne (strategię utrzymania) przyjęto na podstawie doświadczeń krajowych i innych administracji drogowych której nawierzchnie pracują w podobnych warunkach klimatycznych jak Polska (Francja, Niemcy, USA).

Strategie utrzymania nawierzchni podatnych są różne w różnych administracjach drogowych. Przykładem jest strategia stosowana we Francji [1], gdzie podano strategie utrzymania nawierzchni podatnych i półsztywnych dla różnych kategorii ruchu. Strategia utrzymania nawierzchni podatnych polega na wymianie warstw

ścieralnych i wiążących w okresach 8-9 lat. W katalogu niemieckim [5] zasygnalizowano również strategie utrzymaniowe polegające na stosowaniu nowych warstw.

W niniejszym artykule zaproponowano scenariusz utrzymania nawierzchni podatnych przedstawiony poniżej, korzystając z doświadczeń krajowych, głównie na autostradzie A4 w Polsce.

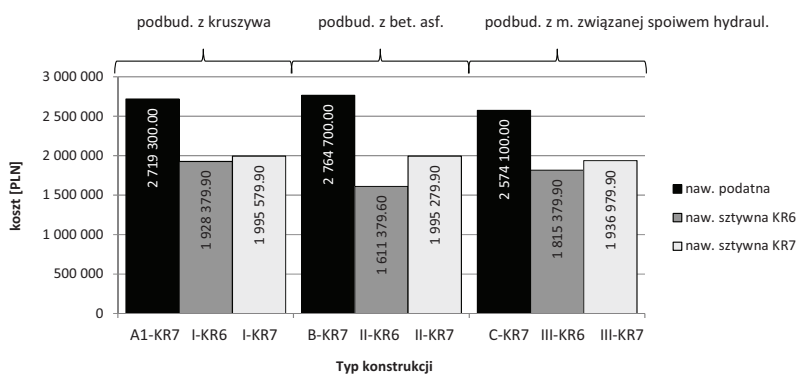
- Po 9 latach wymiana warstwy ścieralnej
- Po 18 latach 40% wymiana warstwy ścieralnej i wiążącej
- Po 18 latach wymiana 60% warstwy ścieralnej
- Po 27 latach wymiana 60% war-

- stwy wiążącej i ścieralnej
- Po 27 latach wymiana 40% warstwy ścieralnej
- Po 30 latach pozostała trwałość zmęczeniowa konstrukcji nawierzchni wg 1 opcji 23 mln osi 100 kN wg opcji 2 - 10 mln osi 100 kN

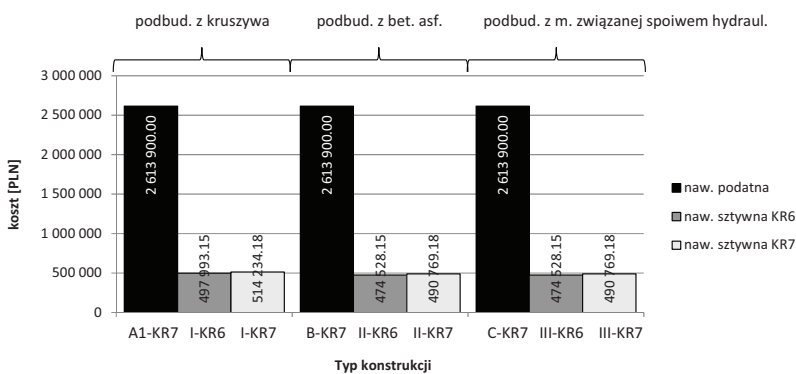
Podobnie jak w przypadku nawierzchni podatnych dla nawierzchni sztywnych opracowano również strategie utrzymania. Przykładem tego jest Francja [1] czy Niemcy [5]. W [6] podano różne zabiegi jakie są stosowane przy utrzymaniu nawierzchni betonowych. Niezbędnym zabiegiem utrzymaniowym dla nawierzchni betonowych jest wymiana materiałów zabezpieczających szczeliny. Zabiegi te przeprowadza się co 8-9 lat. Inne uszkodzenia to pęknięcia płyt, ubytki ziaren itp. Wg zaleceń AASHTO górna granica pękniętych płyt to 15%. Przy czym zakłada się, że na 90% poziomie ufności w ciągu 20 lat liczba pękniętych płyt nie może przekroczyć 5%. Pęknięcia w płytach mogą być zalewane masą zalewową i uszczelniane. Na potrzeby niniejszej pracy założono, że pęknięte płyty będą wymieniane. Oczywiście to podnosi koszty utrzymania i eksploatacji jednak jest się po stronie bezpiecznej jeżeli chodzi o analizę kosztów utrzymania. Poniżej przedstawiono przyjęty scenariusz utrzymania nawierzchni betonowych.

- Po 9 latach wymiana uszczelnień szczelin podłużnych i poprzecznych
- Po 18 latach wymiana 5% płyt
- Po 18 latach wymiana uszczelnień szczelin podłużnych i poprzecznych
- Po 24 latach wymiana 3% płyt
- Po 27 latach wymiana uszczelnień szczelin podłużnych i poprzecznych
- Po 27 latach wymiana 5% płyt
- Po 30 latach trwałość zmęczeniowa konstrukcji nawierzchni wg opcji 1 obciążenia ok. 12 mln osi 100 kN a wg opcji 2 - 70 mln osi 100 kN.

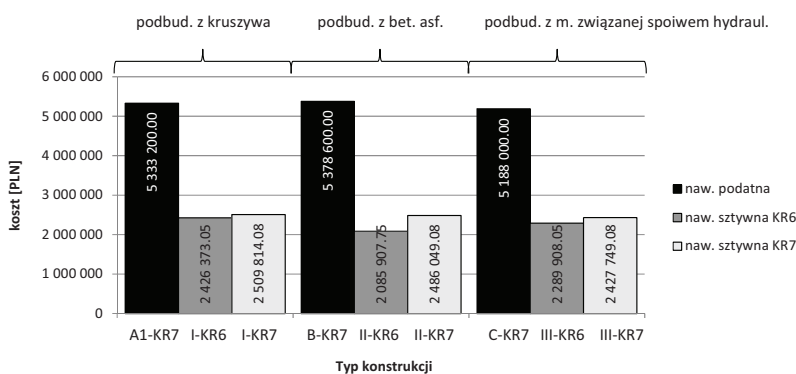
W artykule nie uwzględniono kosztów uszorstniania nawierzchni betonowych. Zrobiono to celowo z tego



10. Zestawienie kosztów budowy nawierzchni podatnych i sztywnych dla 2015 r.



11. Zestawienie łącznych kosztów utrzymania nawierzchni podatnych i sztywnych dla 2015 r.



12. Zestawienie całkowitych kosztów po 30 latach eksploatacji dla nawierzchni podatnych i sztywnych dla 2015 r.

względu, że brak jest w Europie i Polsce doświadczeń i konieczności uszorstnienia w przypadku wykonywania nawierzchni betonowych w

Na rysunku 11 zaprezentowano porównanie kosztów utrzymania analizowanych konstrukcji zestawiając je podobnymi rodzajami podbudów.

oraz 5.33 (podbudowa z mieszanki związanej spoiwem hydraulicznym).

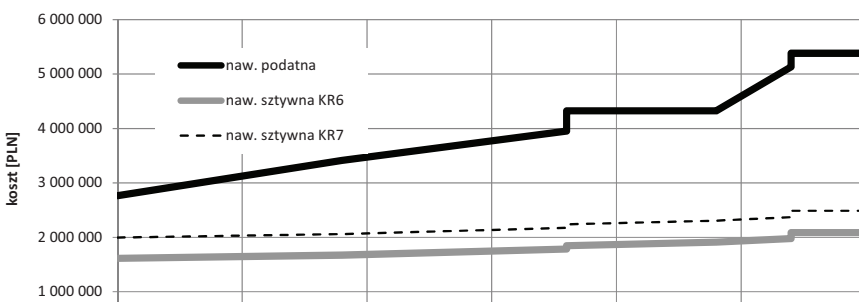
Koszty całkowite po 30 latach

Na rysunku 12 zaprezentowano porównanie całkowitych kosztów po 30 latach analizowanych konstrukcji zestawiając je podobnymi rodzajami podbudów dla roku początkowego 2015.

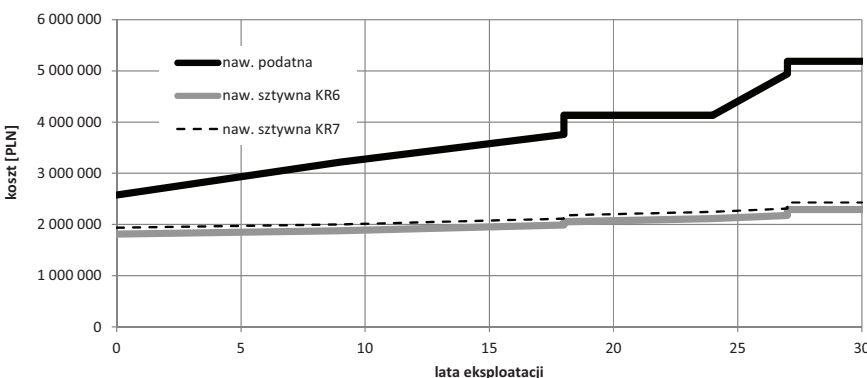
Na rysunkach 13, 14, 15 przedstawiono skumulowane koszty budowy i utrzymania. Uwzględniając zarówno koszty początkowe związane z budową oraz koszty w kolejnych latach eksploatacji stwierdzono, że wszystkie typy konstrukcji sztywnych przeznaczonych dla ruchu KR7 i KR6 są tańsze od odpowiednich typów nawierzchni podatnych. W dalszym okresie eksploatacji koszty utrzymaniowe nawierzchni podatnych znacząco wzrastają i różnice są stosunkowo większe. Dla nawierzchni na podbudowie z kruszywa koszty całkowite nawierzchni podatnych są ponad dwukrotnie większe od sztywnych dla ruchu KR6 (2.20) i KR7 (2.12). Dla nawierzchni na podbudowie z betonu asfaltowego różnica dla nawierzchni sztywnej dla ruchu KR6 także jest jeszcze większa (2.58), natomiast dla KR7 wynosi 2.16. W przypadku podbudowy z mieszanki związanej spoiwem hydraulicznym różnice wynoszą: dla nawierzchni sztywnej dla KR6 2.27, a dla KR7 2.14. Warto zaznaczyć, że decydujący wpływ mają tutaj koszty utrzymania nawierzchni, które są ponad pięciokrotnie większe dla nawierzchni podatnych w porównaniu do sztywnych. Mniejszy wpływ mają koszty budowy nawierzchni. Średni roczny koszt utrzymania nawierzchni podatnych wynosi około 87 tys. złotych na rok, natomiast nawierzchni sztywnych około 16 tys. złotych na rok. Różnica jest ponad pięciokrotna. Oczywiście dla poczynionych dla niniejszej analizy założeń.

Biorąc pod uwagę koszty typów nawierzchni aktualnie budowanych w Polsce tj. podatna – A1- KR7 – SMA+ AC + AC + KŁ oraz betonowa – KR6 – BC + C8/10 oraz – KR7 – BC+ C8/10,

13. Skumulowane koszty dla nawierzchni podatnych i sztywnych na podbudowie z kruszywa, 2015 r.



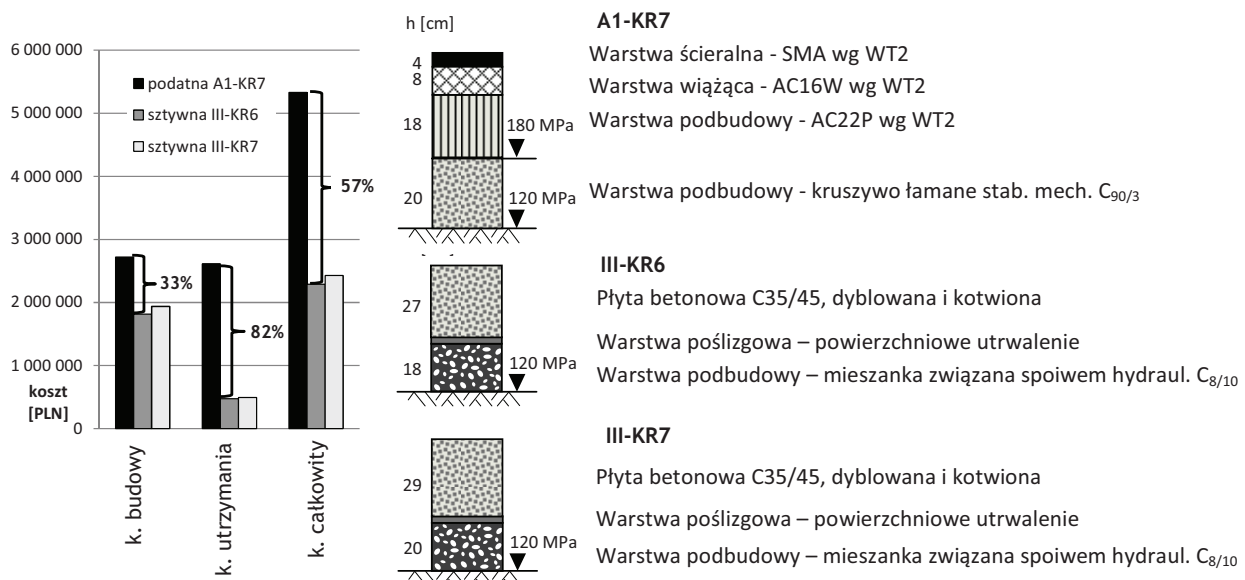
14. Skumulowane koszty dla nawierzchni podatnych i sztywnych na podbudowie z betonu asfaltowego, 2015 r.



15. Skumulowane koszty dla nawierzchni podatnych i sztywnych na podbudowie z mieszanki związanej cementem, 2015 r.

tw. technologii odkrytego kruszywa. Taką technologię rekomenduje się w niniejszej pracy jako skuteczną zarówno pod względem zapewnienia odpowiednich warunków tarcia jak i oddziaływania hałasu. Gdyby jednak zaistniała potrzeba wprowadzenia takiego zabiegu to można ją do podanych zestawień wprowadzić uwzględniając po okresie eksploatacji 18 lat kwotę 80 000 złotych na 10 000 m². Wprowadzenie jednak w/w kwoty nie zmienia ogólnych wniosków dotyczących utrzymania nawierzchni betonowych.

Warto zauważyć, że dla danego typu podbudowy koszty utrzymania nawierzchni podatnej są zdecydowanie większe w porównaniu do nawierzchni sztywnych dla KR6 i KR7. Stosunki kosztów nawierzchni podatnych do sztywnych dla ruchu KR6 wynoszą odpowiednio: 5.25 (podbudowa z kruszywa), 5.51 (podbudowa z bet. asfaltowego) oraz 5.51 (podbudowa z mieszanki związanej spoiwem hydraulicznym), natomiast w stosunku do nawierzchni sztywnej dla ruchu KR7: 5.08 (podbudowa z kruszywa), 5.33 (podbudowa z bet. asfaltowego)



16. Koszty budowy i utrzymania najczęściej budowanych w Polsce nawierzchni, 2015 r.

koszty budowy i całkowite z utrzymaniem kształtują się jak poniżej:

- Podatna, koszty budowy – 2 719 300 PLN – A1 KR7
- Betonowa, koszty budowy - 1 815 379,80 PLN - III KR6
- Betonowa, koszty budowy – 1 936 979,90 PLN – III KR7
- Podatna, koszty całkowite – 5 337 600,00 PLN - A1 KR7
- Betonowa, koszty całkowite - 2 287 919,66 PLN – III KR6
- Betonowa, koszty całkowite - 2 432 454,34 PLN – III KR7

Na rys. 16 przedstawiono interpretację graficzną powyższych obliczeń kosztów budowy i utrzymania nawierzchni podatnych i sztywnych najczęściej aktualnie budowanych w Polsce.

Analizując wyniki widać, że koszty budowy i utrzymania nawierzchni betonowych są znacznie niższe niż podatnych. Koszt budowy nawierzchni betonowych jest o ok. 30% niższy. Natomiast koszt utrzymania o ok. 80% niższy. Całkowity koszt jest niższy o ok. 50%.

Podsumowanie

Przedstawione w artykule analizy kosztów budowy i utrzymania nawierzchni podatnych i sztywnych wskazują, że koszty budowy obu nawierzchni są podobne, a drobne różnice mogą wynikać z wahań cenowych głównych materiałów (asfaltu i cementu) oraz

zmiennych sytuacji gospodarczych w kraju i na świecie. Znaczące różnice są w kwestii utrzymania. W tym przypadku nawierzchnie sztywne są zdecydowanie tańsze. Strategie utrzymania nawierzchni uwzględniono głównie na podstawie danych z autostrady A4, na której nawierzchnie zarówno podatne jak i betonowe są eksploatowane ok. 20 lat. Wprawdzie na nawierzchniach sztywnych nie wymieniano jeszcze płyt ale doświadczenia amerykańskie wskazują na potrzebę tego rodzaju czynności zabiegowych w sytuacjach znacznych degradacji. W przypadku typowych uszkodzeń nawierzchni podatnych wymieniane są zarówno warstwy ściernalne jak i wiążące mniej więcej w proporcjach określonych w artykule. Podobne doświadczenia posiada administracja francuska. Wg doświadczeń amerykańskich [2] trendy zmiany cen nawierzchni betonowych są stabilne i prawie niezmiennie w porównaniu do cen asfaltu, które są niestabilne. W USA ciągu ostatnich 50 lat ceny budowy nawierzchni betonowych spadły o 20 %, natomiast ceny asfaltu wzrosły 95%. W 2013 roku w USA koszty budowy nawierzchni betonowych były 10 do 20% niższe od nawierzchni podatnych.

Autorzy zdają sobie sprawę z niedociągnięć jakie występują w niniejszym opracowaniu w którym nie uwzględniono wielu czynników. W opracowaniu chcieli jednak zwrócić uwagę na

konieczność obiektywnego podejścia do stosowania różnych technologii bez wzajemnej ich eliminacji. Jedy- nym kryterium powinno być uzasadnienie techniczne i ekonomiczne stosowania wybranych technologii. ◀

Materiały źródłowe

- [1] French Design Manuel for Pavement Structures, Guide Technique. LCPC, SETRA, 1997
- [2] Guide for mechanistic-Empirical Design of New and Rehabilitated Pavement Structures. Final Reports. Part 3- Design and Analysis, NCHRP, TRB, NRC March 2004
- [3] Life Cycle Cost Analysis Procedures Manual State of California Department of Transportation Pavement Standards Team and Division of Design 2007-2010
- [4] Life Cycle Cost Analysis US287/US81. Montague County. Texas Department of Transportation.
- [5] RSTO 01 – Richtlinien für die Standardisierung des Oberbaues von Verkehrsflächen. FSV, Ausgabe 2001
- [6] Szydło A., Nawierzchnie z betonu cementowego. Teoria, wymiarowanie, realizacja. Polski cement, Kraków 2004