

Analiza wpływu technologii wykonania nawierzchni betonowych na wybrane cechy eksploatacyjne

Analysis of the impact of concrete pavement construction technology on selected operational characteristics



Piotr Mackiewicz

Dr hab. inż., Prof. PWR

Politechnika Wrocławska, Katedra
Dróg, Mostów, Kolei i Lotnisk

piotr.mackiewicz@pwr.edu.pl
ORCID: 0000-0002-3170-6415



Antoni Szydło

Prof. dr hab. inż.

Politechnika Wrocławska, Katedra
Dróg, Mostów, Kolei i Lotnisk

antoni.szydlo@pwr.edu.pl
ORCID: 0000-0002-3363-9391

Streszczenie: Na przykładzie ulicy Fieldorfa we Wrocławiu przeanalizowano wpływ rodzaju technologii wykonania nawierzchni betonowych na wybrane jej cechy eksploatacyjne. Przedmiotowa ulica wykonywana była w dwóch odcinkach. Pierwszy odcinek wykonany był w technologii gospodarczej bez użycia maszyn dedykowanych do układania nawierzchni betonowych. Drugi odcinek wykonany został z użyciem specjalnych rozkładarek do nawierzchni betonowych. Na podstawie pomiarów równości wskaźnika równości podłużnej IRI, wskaźnika makrotekstury MPD oraz współczynnika tarcia, stwierdzono, że pomiędzy odcinkami istnieje zróżnicowanie wyników, jednak znaczące dla wskaźnika równości.

Słowa kluczowe: Tekstura; Równość; Nawierzchnie betonowe, OBSI, IRI, MPD

Abstract: Using Fieldorfa Street in Wrocław as an example, the impact of concrete pavement construction technology on selected performance characteristics was analyzed. The street in question was constructed in two sections. The first section was constructed using commercial technology without the use of dedicated concrete paving machines. The second section was constructed using specialized concrete pavers. Based on measurements of the longitudinal evenness index (IRI), the macrotexture index (MPD), and the coefficient of friction, it was found that there was variation in results between the sections, but significant variation in the evenness index.

Keywords: Texture; Roughness; Concrete Pavement, OBSI, IRI, MPD

Wprowadzenie

Nawierzchnie betonowe swój „drugi” rozwój osiągnęły przy budowie dróg ekspresowych i autostrad. W 1995 roku na autostradzie A4 wybudowano odcinki dla ruchu o wyższej kategorii ruchu oraz dużego natężenia. W dalszej perspektywie wybudowano odcinek na A2 (2012 rok), a następnie drogę S8 (2015 rok). Ponadto zrealizowano dwa odcinki w technologii bezdylatacyjnej na A2 (2012 rok) i A4 (2004 rok). Zna- ne są też starsze odcinki o nawierzchni betonowej jak np. DK50 z 2002 roku oraz autostrada A18 z lat czterdziestych ubiegłego wieku. Aktualnie buduje się nawierzchnie poza terenem zabudowy dla dróg krajowych oraz także gmin- nych w tym w miastach. Jedną z takich ulic jest ul. Fieldorfa we Wrocławiu.

Kluczowym problemem przy budowie nawierzchni betonowych jest uzyskanie właściwych cech eksploatacyjnych

związanych z odpowiednim wykończe- niem górnej powierzchni płyty beto- nowej. Do kluczowych należą równość oraz cechy przeciwpoślizgowe. Aktu- alnie w ramach wielu projektów i prac badawczych analizowano zależności pomiędzy cechami eksploatacyjnymi i hałaśliwością nawierzchni [5], [7], [8], [10], [3], [2], [6].

Charakterystyka odcinka badawczego

Ulica Fieldorfa zlokalizowana jest w pół- nocnej części miasta Wrocławia (rys. 1). Łączy się od południa ulicą Kosmonau- tów skrzyżowaniem skanalizowanym oraz od północy z ulicą Wojnarowską w postaci ronda. Długość ulicy wynosi około 1 000 m.

Na przedmiotowej ulicy wyróżnio- no dwa odcinki pomiarowe 1 i 2, które były wykonywane w dwóch etapach. Pierwszy odcinek od ulicy Kosmonau-

tów o długości ok. 500 m wykonany był w technologii gospodarczej bez użycia maszyn do układania. Na odcinku tym występują znaczne nierówności. Drugi odcinek wykonany został z użyciem rozkładarek. Odcinek ten jest w znacz- nie lepszym stanie technicznym. Na rys. 2, 3, 4 zaprezentowano stan nawierzch- ni tych odcinków.

Odcinek pierwszy od ul. Kosmo- nautów 500 m oddano do eksploatacji



1. Lokalizacja odcinków pomiarowych – ul. Fieldorfa we Wrocławiu

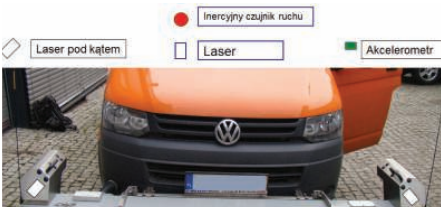


2. Widok nawierzchni odcinka pierwszego od ul. Kosmonautów 0+000 do 0+500

3. Widok nawierzchni ul. Fieldorfa odcinek drugi 0+500 do 1+000 (rondo)



4. Połączenie odcinka pierwszego i drugiego



5. Profilograf laserowy wykorzystany w pomiarach

w 2013 roku.

Dla tego odcinka (1) wykonano konstrukcję:

- płyty betonowe C35/45 dyblowane i kotwione, grubości 25 cm, beton układany ręcznie i zagęszczany listwami wibracyjnymi, dyble i kotwy na podpórkach.
- geowłóknina,
- chudy beton C8/10, grubości 18 cm, układany ręcznie,
- stabilizacja cementem, grubość 15 cm.
- warstwa mrozoochronna, grubość 15 cm.

Odcinek drugi od 0+500 do 1+000 (rondo), oddano do eksploatacji w 2017

roku. Dla tego odcinka (2) wykonano konstrukcję:

- płyty betonowe C35/45 dyblowane i kotwione, grubości 23 cm, beton układany maszynowo, dyble i kotwy wwibrowywane,
- beton asfaltowy, grubości 8 cm,
- stabilizacja cementem, grubości 18 cm,
- warstwa mrozoochronna, grubości 15 cm.

Należy zauważyć, że poza zróżnicowaną technologią układania, obie nawierzchnie różnią się grubościami płyty betonowej oraz rodzajami kolejnych warstw. Wstępna analiza wskazuje, że odcinek drugi może posiadać większą podatność odkształceniową od obciążenia. Jednakże należy zauważyć, że w obu konstrukcjach zastosowano wysoką klasę betonu oraz uwzględniono dyblowanie i kotwienie zapewniające właściwą współpracę płyt betonowych. Konstrukcje mogą odpowiadać nośności KR3/KR4.

Wyniki pomiarów cech powierzchniowych

Uwzględniając wymagania i zalecenia badań [1], [9], [11] z wykorzystaniem profilografu laserowego (rys. 5) przeprowadzono pomiary parametru IRI (International Roughness Index) oraz tekstury wyrażanej wskaźnikiem MPD (średnia głębokość profilu, Mean Profile Depth). Dodatkowo analizie poddano parametry przeciwpoślizgowe badając współczynnik tarcia. Parametry te stosowane są także w systemie DSN [4] służącym do oceny stanu nawierzchni w Polsce [4].

Ocenę równości podłużnej wykona-

no w śladzie prawego koła, zgodnie z projektowanym kierunkiem jazdy. Wartość wskaźnika IRI wyznaczano z krokiem co 50 m. Analizowano odcinki o długościach po 500 m.

Na rys. 6 i 7 zaprezentowano wyniki pomiarów wskaźnika IRI.

Uzyskano następujące wyniki wskaźnika IRI:

Kierunek do ronda:

Odcinek 1

IRI_{max} = 6.6 mm/m

IRI_{śr} = 3.9 mm/m

Odcinek 2

IRI_{max} = 1.9 mm/m

IRI_{śr} = 1.2 mm/m

Kierunek do ul. Kosmonautów:

Odcinek 1

IRI_{max} = 5.1 mm/m

IRI_{śr} = 3.9 mm/m

Odcinek 2

IRI_{max} = 1.8 mm/m

IRI_{śr} = 1.2 mm/m

Na podstawie pomiarów wskaźnika równości podłużnej stwierdzono, że dla odcinka 1 uzyskano wyższe wartości wskaźnika zarówno maksymalnego jak i średniego, niezależnie od pasa ruchu (kierunku jazdy). Są to wartości około trzy razy większe niż dla odcinka 2.

Badania tekstury przeprowadzono z krokiem co 100 mm. Dla wybranego pasa ruchu i odcinka drogi określono wartość średnią dla odcinków o długości 50 m oraz po 500 m.

W dalszym etapie w celu przeprowadzenia oceny klasyfikacji badanych odcinków wg na podstawie wskaźnika

MPD wyznaczono wskaźnik MTD stanowiący Średnią Głębokość Tekstury (Mean Texture Depth). Zastosowano zależności:

$$MPD_{60} = MPD_{pom} - 0,002 \cdot (60 - V_{pom})$$

$$MTD \approx ETD = 1,1 \cdot MPD_{60}$$

Na rys. 8 - 11 zaprezentowano wyniki pomiarów wskaźnika MPD. Uzyskano następujące wyniki wskaźnika MTD:

Kierunek do ronda:

Odcinek 1

MTD_{max} = 0.40 mm

MTD_{śr} = 0.27 mm

Odcinek 2

MTD_{max} = 0.23 mm

MTD_{śr} = 0.17 mm

Kierunek do ul. Kosmonautów:

Odcinek 1

MTD_{max} = 0.36 mm

MTD_{śr} = 0.24 mm

Odcinek 2

MTD_{max} = 0.20 mm

MTD_{śr} = 0.15 mm

Na podstawie pomiarów wskaźnika tekstury stwierdzono, że dla odcinka 1 uzyskano wyższe wartości wskaźnika zarówno maksymalnego jak i średniego, niezależnie od pasa ruchu (kierunku jazdy). Są to wartości około 1.5 raza większe niż dla odcinka 2.

Pomiar cech przeciypoślizgowych, tarcia wykonano się przy prędkości pomiarowej wynoszącej 60 km/h oraz 30 km/h. Wyniki pomiarów uśredniano dla kolejnych odcinków o długości 20 m. Długość ocenianego odcinka nawierzchni wykonano co 100 m. Wyniki pomiarów współczynników tarcia zostały skalibrowane do urządzenia DFT (projekt WR-D 64).

Miarą właściwości przeciypoślizgowych na ocenianym odcinku nawierzchni były: wartość średnia współczynnika tarcia μ_{sr} oraz wartość minimalna współczynnik tarcia μ_{min} .

Na rys. 12 - 15 zaprezentowano wyniki pomiarów tarcia dla ulicy Fieldorfa we

Wrocławiu. Dla analizowanych odcinków ulicy Fieldorfa we Wrocławiu użytkano następujące wartości współczynnika tarcia (sprowadzonych do DFT):

Kierunek do ronda:

Odcinek 1

$\mu_{min} = 0.25$ mm

$\mu_{sr} = 0.31$ mm

Odcinek 2

$\mu_{min} = 0.22$ mm

$\mu_{sr} = 0.26$ mm

Kierunek do ul. Kosmonautów:

Odcinek 1

$\mu_{min} = 0.22$ mm

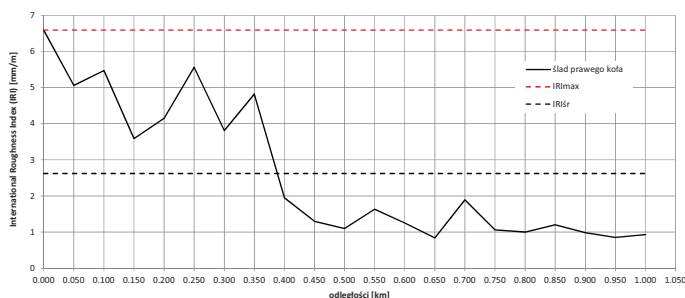
$\mu_{sr} = 0.26$ mm

Odcinek 2

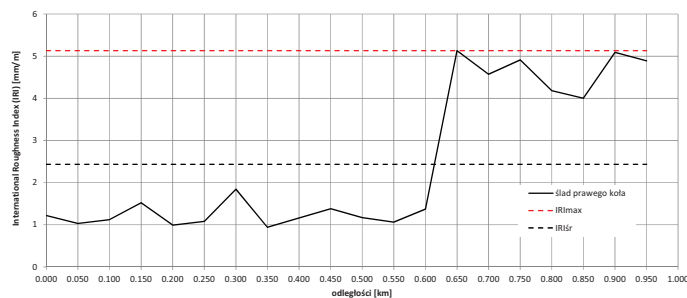
$\mu_{min} = 0.22$ mm

$\mu_{sr} = 0.25$ mm

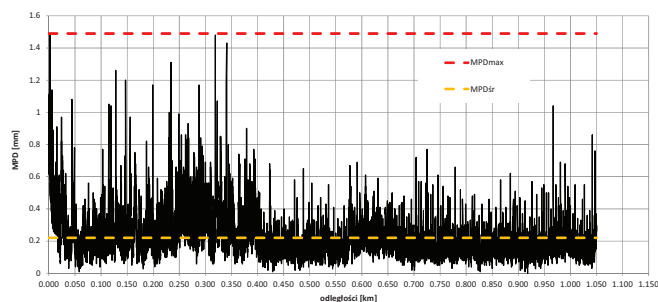
Na podstawie pomiarów współczynnika tarcia stwierdzono, że dla odcinka 1 uzyskano nieznacznie wyższe wartości wskaźnika zarówno minimalnego jak i średniego, niezależnie od pasa ruchu



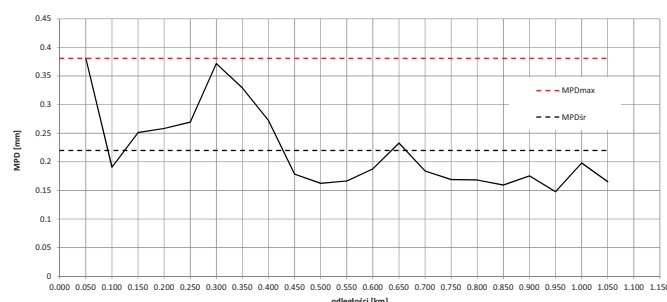
6. Wyniki pomiarów równości wskaźnika IRI (kier. do ronda)



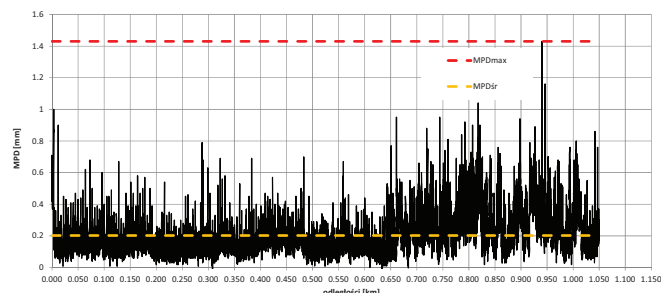
7. Wyniki pomiarów równości wskaźnika IRI (kier. do ul. Kosmonautów)



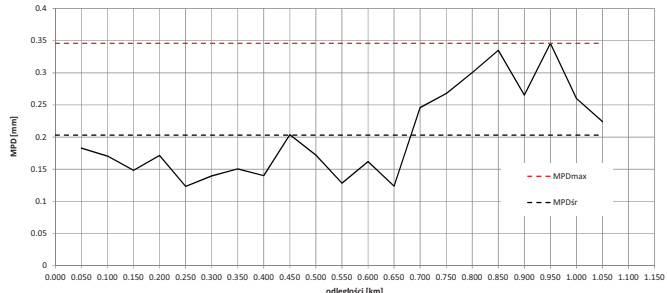
8. Wyniki pomiarów wskaźnika MPD (kier. do ronda, wyniki co 100 mm)



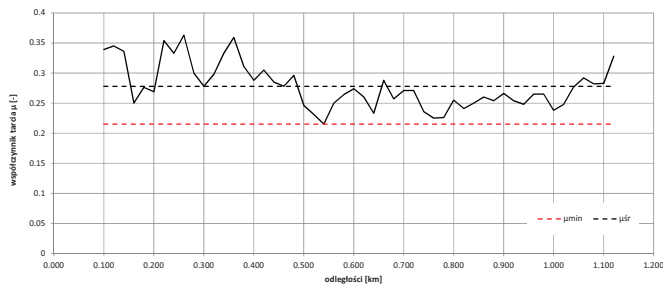
9. Wyniki pomiarów wskaźnika MPD (kier. do ronda, wyniki co 50 m)



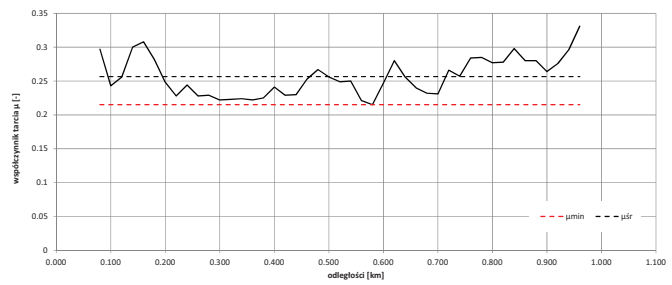
10. Wyniki pomiarów MPD (kier. do ul. Kosmonautów, wyniki co 100 mm)



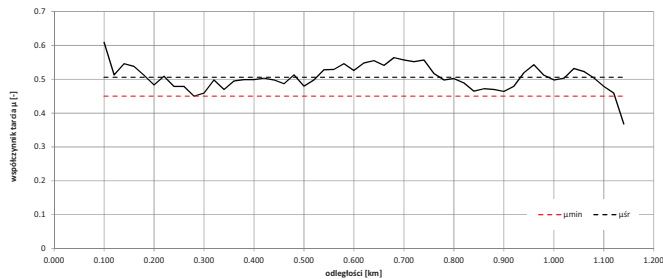
11. Wyniki pomiarów MPD (kier. do ul. Kosmonautów, wyniki co 50 m)



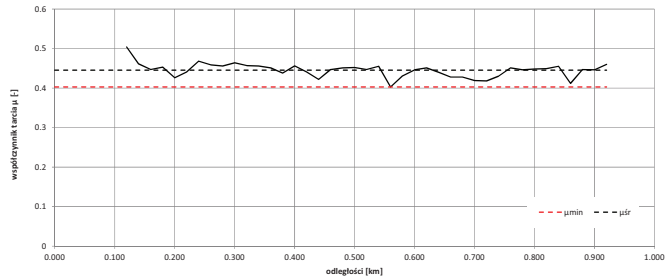
12. Wyniki pomiarów tarcia (kier. do ronda, dla $v = 60$ km/h, co 20 m)



13. Wyniki pomiarów tarcia (kier. do ul. Kosmonautów, dla $v = 60$ km/h, co 20 m)



14. Wyniki pomiarów tarcia (kier. do ronda, dla $v = 30$ km/h, co 20 m)



15. Wyniki pomiarów tarcia (kier. do ul. Kosmonautów, dla $v = 30$ km/h, co 20 m)

(kierunku jazdy). Są to wartości porównywalne różniące się o około 10%.

Podsumowanie

Analiza wyników badań nad parametrami cech eksploatacyjnych nawierzchni ulicy Fieldorfa (równość, tekstura, tarcie) wykazała, że w zależności od technologii wykonania oraz także okresu eksploatacji (różnica 4 lata) istnieje zróżnicowanie w badanych cechach nawierzchni.

Największe zróżnicowanie wyników stwierdzono dla wskaźnika równości podłużnej. Dla odcinka 1 uzyskano wyższe (trzykrotnie) wartości wskaźnika zarówno maksymalnego jak i średniego, niezależnie od pasa ruchu (kierunku jazdy).

Mniejsze zróżnicowanie wykazały pomiary dla tekstury (wyższe 1.5 raza wartości wskaźnika MTD dla odcinka 1 względem odcinka 2) oraz dla tarcia (wyższe o 10% wartości współczynnika tarcia dla odcinka 1 względem odcinka 2).

W przypadku badanej ulicy wykonanej w dwóch technologiach należy zwrócić uwagę, że wykonywanie metodą gospodarczą bez użycia specjalnych maszyn do układania nawierzchni betonowej może istotnie pogarszać równość nawierzchni. Zaskakujące jest jednak to, że dla odcinka w tej technologii uzyskano większy wskaźnik tekstury i nieznacznie większy współczynnik tarcia mimo nawierzchni o 4 lata starszej. Może to być związane ze zwiększo-

ną degradacją powierzchni w wyniku złuszczeń i ubytków kruszywa. Nie wyklucza się w dalszej perspektywie eksploatacji nawierzchni ten efekt będzie niepożądany ze względu na zwiększoną emisję hałasu. W dalszym etapie prac autorzy przeprowadzą analizy związane z hałaśliwością tej nawierzchni.

Artykuł powstał w ramach projektu "Innowacyjne metody redukcji hałasu drogowego i zasady ich stosowania, Zadanie 6. Trwałość akustyczna i eksploatacyjna nawierzchni betonowych o różnych technologiach budowy i technikach teksturywania, RID II, (Ochrona przed hałasem drogowym)", który jest współfinansowany przez Narodowe Centrum Badań i Rozwoju oraz Generalną Dyрекję Dróg Krajowych i Autostrad. ◀

Materiały źródłowe

- [1] ASTM E 1926 – 08 Standard Practice for Computing International Roughness Index of Roads from Longitudinal Profile Measurements
- [2] Cackler E.T.: Evaluation of U.S. and European Concrete Pavement Noise Reduction Methods, National Concrete Pavement Technology Center, Part 1, Task 2, of the ISU-FHWA, July, 2006
- [3] Development and Implementation of the Next Generation Concrete Surface, IGGA, ACPA, Report, 2016
- [4] Diagnostyka stanu nawierzchni i jej elementów. Wytyczne stosowania,

GDDKiA, Warszawa kwiecień, 2015

- [5] Farnsworth E., Johnson M.: Reduction of Wet Pavement Accidents on Los Angeles Metropolitan Freeways, SAE Technical Paper 710574, 1971
- [6] Generalna Dyrekcja Dróg Krajowych i Autostrad. Rozwój Innowacji Drogowych, RID Ochrona przed hałasem drogowym. Zadanie 3. Ocena rozwiązań materiałowo-technologicznych górnych warstw nawierzchni betonowych i zalecenia w zakresie ich hałaśliwości. 2017
- [7] Hibbs O., Larson R.: Tire Pavement Noise and Safety Performance. PCC Surface Texture Technical Working Group, FHWA-SA-96-068, May, 1996
- [8] Noise and Texture on PCC Pavements – Results of a Multi-State Study, Report Number WI/SPR-08-99, Wisconsin Department of Transportation, June, 2000
- [9] PN-EN ISO 13473-1:2005E, Charakterystyka struktury nawierzchni przy użyciu profili powierzchniowych - Część 1: Określenie średniego profilu głębokości
- [10] Scofield L.: Transportation Noise and Concrete Pavements, Using Quiet Concrete Pavements as the Noise Solution, ACPA, 2009
- [11] WR-D-64. Wytyczne określania cech powierzchniowych nawierzchni jezdni i innych części dróg. Wzorce i standardy rekomendowane przez Ministra właściwego ds. transportu. 02-2025.12.09